



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA

**“ESTANCIAS PROFESIONALES E INTERCAMBIO
UNIVERSITARIO: VÍA A LA EXPERIENCIA EN
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA. PROPUESTA DE UNA
PRÁCTICA INTEGRAL, MULTIDISCIPLINARIA Y
GLOBAL”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O G E O F Í S I C O

P R E S E N T A N:

JOSÉ DAVID CARRILLO RANGEL

OSCAR VÁZQUEZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS: DRA. XYOLI PÉREZ CAMPOS



CIUDAD UNIVERSITARIA MÉXICO D.F.
MARZO DE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mis padres
Elena y Héctor*

Agradecimientos:

A mis padres, María Elena García Alazáñes y Héctor Vázquez Rosillo, por todo su esfuerzo, sacrificio y paciencia y a mi familia

A la Dra. Xyoli Pérez Campos por toda su dedicación y tiempo

Al Dr. Raúl Cabrera Garzón y al M.I. Domingo A. Saturno Napolita por todo su apoyo

Oscar Vázquez García

Agradecimientos:

A DIOS:

Por darme vida, salud y un poco de inteligencia para seguir avanzando en la carrera de la vida.

A MI MADRE ROSALINDA:

Por darme la vida y parte de tu vida misma, además de tu cariño, apoyo, comprensión y principalmente amor que han sido fundamentales para mí y que forman parte indispensable de mi vida. En verdad no pude haber recibido mejor mamá que tú.

EN MEMORIA DE MI PADRE:

Por darme el ejemplo de ser un hombre de estudio y de trabajo, espero algún día volver a estar juntos...

A MIS HERMANOS:

RAÚL. Que siempre has estado a mi lado en todo apoyándome, educándome,

aconsejándome y que en gran medida de lo que soy te lo debo a ti.

PRISCILA Por enseñarse la paciencia y tolerancia a las diferentes formas de pensar y darme a mi primer sobrino; Juan Pablo Josué (que siempre lo he visto como un hijo).

CLAUDIA Realmente deseo pronto el volver a verte y especialmente el estar juntos nuevamente.

A MI ABUELITA Y TÍA

Que hicieron posible el sueño de llegar hasta aquí: y por los años de su lucha por sacarme adelante.

A TODA LA FAMILIA:

Los quiero mucho y gracias por aquellos momentos que siempre llevo en mis recuerdos. Los menciono a todos con el afán de no olvidarme de nadie.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (LA CUNA DEL CONOCIMIENTO EN IBEROMÉRICA):

Por que a pesar de todos los esfuerzos por debilitarla siempre ofreces lo mejor que tienes; un desarrollo profesional y humano. (Gracias por existir)

A LA DRA. XYOLI PÉREZ CAMPOS

Por darme su apoyo y confianza incondicional dentro y fuera de las actividades escolares así como su gran conocimiento, esfuerzo y dedicación para el desarrollo de este trabajo.

A LOS SINODALES

A su gran empeño y conocimiento para la culminación de este trabajo.

A LOS COMPAÑEROS DE CLASE

Por su amistad y buenos momentos que pasamos en la universidad.

A LOS INGENIEROS

José Juan Flores Martínez y Roberto Uribe Afif, por haber creído en mí como alumno y ahora como profesionista por hacerme parte de su fuerza laboral...

A MI EQUIPO DE TRABAJO

Que a pesar del poco tiempo de conocernos me han apoyado y creído en mí...

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE

ME HAN APOYADO Y CREÍDO

EN MÍ....SINCERAMENTE

GRACIAS

José David Carrillo Rangel

ÍNDICE

Resumen

I. Introducción.....	1
Nuevas formas de titulación.....	1
Objetivos.....	2
Prospección geofísica.....	3
II. Estancia e intercambio.....	4
Objetivo general y personal.....	4
MASE.....	4
Objetivos generales.....	5
Descripción.....	5
Línea gravimétrica.....	5
SAGE.....	6
Objetivos generales.....	6
Descripción.....	7
Experiencia en prospección geofísica.....	8
III. Prospección gravimétrica.....	10
Objetivo.....	10
Marco Tectónico	10
Método Gravimétrico.....	11
Adquisición.....	12
Procesamiento.....	13
Interpretación.....	21
Conclusiones particulares.....	24
IV. Prospección Sísmica.....	25
Objetivo.....	25
Marco Tectónico.....	25
Marco Teórico.....	32
Adquisición.....	35
Procesamiento.....	37
Interpretación.....	45
Conclusiones particulares.....	48

V. Prospección electromagnética.....	51
Objetivo.....	51
Estudio electromagnético transitorio (TDEM).....	51
Marco Tectónico.....	52
Marco Teórico.....	52
Adquisición.....	53
Procesamiento.....	53
Interpretación.....	58
Conclusiones particulares.....	63
Radar de penetración terrestre (GPR).....	64
Marco Geológico.....	64
Marco Teórico.....	67
Adquisición.....	70
Procesamiento.....	75
Interpretación.....	83
Conclusiones particulares.....	86
VI. Discusión y propuesta.....	88
Ventajas vs. desventajas.....	89
Práctica integral.....	91
VII. Conclusiones.....	105
Conclusiones particulares de cada método de exploración.....	105
Conclusiones de nuestra experiencia en estancia profesional e intercambio internacional	106
Conclusiones generales.....	107
Bibliografía	
Anexos	

Resumen

En el presente trabajo se realiza una compilación de ideas y propuestas, tanto de ámbito general como particular, en lo referente a la organización y desarrollo de una práctica multidisciplinaria de exploración geofísica, en el marco de la aprobación del nuevo plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica (clave 1202), en donde se contempla la adecuación y la puesta en funcionamiento de prácticas de campo, que estén a la vanguardia de las necesidades de alto perfil en ingenieros en Ciencias de la Tierra. Basados en experiencias adquiridas en estancias nacionales e internacionales, se proponen diversos lineamientos para dicha adecuación a programas nacionales, como es el caso particular de Ingeniería Geofísica en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Adicionalmente, se presenta el análisis de tres casos de estudios geofísicos de exploración, donde se muestran los beneficios que los alumnos pueden adquirir con la participación en estancias. Los programas académicos y de investigación en los que se realizaron estos estudios son el *MesoAmerican Subduction Experiment* (MASE) y el *Summer of Applied Geophysical Experience* (SAGE), los cuales tienen por objeto el estudio geofísico de regiones tectónicamente activas, la zona de subducción de Mesoamérica y el rift Río Grande, respectivamente.

Durante la etapa de desarrollo de MASE, la *University of California at Los Angeles* (UCLA), en conjunto con el Instituto de Geofísica de la UNAM, llevaron a cabo un perfil gravimétrico desde el puerto de Acapulco, Gro., hasta el puerto de Tampico, Tmps., en 2005, con la finalidad de encontrar la anomalía de gravedad producida por la placa de Cocos en su proceso de subducción.

El trabajo realizado en SAGE 2006 comprendió una serie de estudios geofísicos en la cuenca “La Española”, región comprendida en la provincia tectónica del rift Río Grande, Nuevo México, EE.UU. El núcleo central de SAGE fue la adquisición, procesamiento e interpretación de una línea sísmica de reflexión de 2.6 km, con el propósito de establecer la estratigrafía local y la profundidad del basamento en la zona de estudio. Paralelamente, se efectuaron una prospección de radar de penetración terrestre (GPR, por sus siglas en inglés) en el área arqueológica del pueblo de San Marcos, Nuevo México, cuyo objeto fue la definición de estructuras de adobe; así como un estudio electromagnético transitorio (TDEM, por sus siglas en inglés) de carácter hidrogeológico, en la cuenca de Santo Domingo, Nuevo México.

Ambos proyectos, caracterizados por la experiencia de trabajo no convencional, marcan un antecedente para nuestra propuesta de la práctica final integral de prospección geofísica impartida entre el noveno y décimo semestre de la carrera de Ingeniería Geofísica, de acuerdo al plan de estudios 1202 de la UNAM, incluyendo el perfil de alumnos, profesores y el posible lugar de estudio. Dicha propuesta incluye un calendario de actividades, cuyo objetivo es cubrir los aspectos más relevante en el área de la geofísica de exploración: planeación, adquisición, procesamiento e interpretación. Se aborda además el tema del financiamiento por parte de empresas dedicadas a la geofísica, en conjunto con un análisis de los requerimientos financieros, así como infraestructura, instalaciones y software necesarios para la óptima realización de dicha práctica.

I. Introducción

I. 1. Nuevas formas de titulación

El reglamento actual de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), contempla diversas vías mediante las cuales el alumno puede adquirir el título de licenciatura. Dichos caminos, fundamentados en las modificaciones al Reglamento General de Exámenes aprobadas por el Consejo Universitario el 28 de octubre de 2004 y aprobadas por el Consejo Técnico de la FI (sesión celebrada el 17 de marzo de 2005), son:

- I. Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional
- II. Titulación por actividad de investigación
- III. Titulación por seminario de tesis o tesina
- IV. Titulación mediante examen general de conocimientos
- V. Titulación por totalidad de créditos y alto nivel académico
- VI. Titulación por trabajo profesional
- VII. Titulación por estudios de posgrado
- VIII. Titulación por ampliación y profundización de conocimientos
- IX. Titulación por servicio social

El objetivo de tales modificaciones está relacionado directamente con los planes de estudio aprobados por el Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías en junio, julio y agosto de 2005 (Facultad de Ingeniería, 2005). La revisión y modificación del plan previo de la carrera de Ingeniería Geofísica, tuvo como origen la demanda social y económica de profesionistas altamente calificados, que enfrenten los nuevos retos en la exploración de los recursos naturales del país.

Entre las formas de titulación propuestas, resaltan aquellas enfocadas a la titulación mediante estancias y/o trabajo profesional, permitiendo al alumno cumplir con el requisito de una tesis o tesina basada en las actividades que desarrolle durante un mínimo de seis meses, como parte integral de un proyecto afín a la carrera en cuestión.

Las modificaciones realizadas al plan de estudio y los nuevos procesos de titulación aumentarán la eficiencia terminal de Ingeniería Geofísica.

Bajo tal contexto, en este trabajo exponemos las experiencias adquiridas en los proyectos *MesoAmerican Subduction Experiment* (MASE) y *Summer of Applied Geophysical Experience* (SAGE), como son las técnicas de trabajo no convencional e integración multidisciplinaria, las cuales, además de proporcionarnos experiencia en aspectos medulares de la Ingeniería Geofísica, nos llevan a un análisis de una propuesta para la logística, evaluación y desarrollo de una práctica de prospección geofísica de carácter integral, como la planteada en el nuevo plan de estudios.

I. 2. Objetivos

En la reciente aprobación del nuevo plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica, se tiene contemplada la realización de una práctica final de campo, entre el noveno y décimo semestre, en la cual el alumno, en un plazo de aproximadamente un mes, proyectará y desarrollará el diseño y la adquisición de datos geofísicos con los métodos impartidos en el plan curricular aprobado: estudios sísmicos, potenciales, eléctricos y electromagnéticos. La información recolectada durante esta práctica será procesada e interpretada a detalle en el siguiente semestre escolar a la realización de la misma, en la asignatura recién creada, “Procesamiento de Datos Geofísicos”. Con ello, el alumno tendrá también la oportunidad de adquirir información geofísica para su proyecto terminal.

No obstante, debido a que es la primera vez que se llevará a cabo una práctica de este tipo, no existe un antecedente para el marco académico y logístico en la ejecución exitosa y bienaventurada de la misma. Por lo anterior, en este trabajo, se plantea una posible tutela en el capítulo V que incluye los aspectos más sobresalientes: perfil del alumno, del personal técnico y del académico; la infraestructura necesaria; el posible sitio de investigación y un esquema de las actividades a realizar; adicionalmente se presenta un presupuesto económico viable.

El objetivo principal, descrito en el párrafo anterior, se logra a través de nuestro objetivo secundario que es la descripción técnica y académica de las prácticas de campo en el área de la prospección geofísica, a saber, prospección sísmica, gravimétrica y electromagnética y un análisis de esas experiencias. En el Capítulo II se presenta un estudio minucioso de los programas en los cuales se llevó a cabo cada método, así mismo, en los Capítulos III, IV y V se describen los estudios técnicos con su respectiva interpretación geológica deducida a partir de los datos geofísicos recolectados. Dicha experiencia nos permitió tener un panorama amplio y vivificador de la exploración geofísica en un esquema de diseño y desarrollo disímil al acostumbrado en la realización de tales prácticas por parte de la Facultad de Ingeniería.

Los eventos en los cuales se llevaron a cabo tales prácticas, corresponden a MASE, para el cual un perfil gravimétrico fue realizado y SAGE, en donde se realizaron estudios

electromagnéticos transitorios (TDEM, por sus siglas en inglés) y radar de penetración terrestre (GPR, por sus siglas en inglés), así mismo se incluye una descripción detallada de la adquisición y procesamiento de la línea sísmica de reflexión desarrollada como parte de SAGE.

I.3. Prospección Geofísica

La necesidad de recursos naturales y de energía ha impulsado a la humanidad al desarrollo de nuevas técnicas de exploración, tales como los métodos geofísicos.

Los métodos geofísicos pueden ser clasificados de acuerdo al campo físico necesario para crear una respuesta del sistema Tierra. Así es posible dividir los campos de excitación –por tanto, los métodos– en artificiales y naturales (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Clasificación de los métodos geofísicos.

<i>Campos Artificiales</i>	<i>Campos Naturales</i>
Métodos Sísmicos (Reflexión y Refracción)	Métodos Potenciales (Gravimetría y Magnetometría)
Métodos Electromagnéticos (TDEM, FDEM, GPR)	Métodos Electromagnéticos (Magnetotelúrica MT)
Métodos Eléctricos DC (SEV, Tomografía)	

A fin de registrar una señal con buena calidad (alta relación señal/ruido) debe existir un contraste en las propiedades físicas del subsuelo.

La selección del método geofísico a emplear dependerá enteramente de las condiciones del subsuelo y por el objetivo de interés, por lo que ciertos métodos no tendrán una respuesta que muestre una anomalía directamente relacionada con el objetivo. Las dimensiones del objetivo y la profundidad de investigación del método, restringirán la utilización del mismo.

Debido a la importancia de los métodos geofísicos en la exploración de los recursos naturales del país, existe la necesidad de contar con profesionistas de alto nivel cuya formación permita el pleno cumplimiento de dicho objetivo, por tanto, los estudiantes en la carrera de Ingeniería Geofísica, se verán favorecidos por la realización de una práctica multidisciplinaria inmersa en un ambiente de trabajo no convencional como la propuesta en este estudio.

II. Estancia e Intercambio

II. 1. Objetivo general y personal

Las prácticas profesionales y académicas en prospección geofísica, realizadas por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, tienen por objeto la integración de los fundamentos teóricos con el conocimiento de campo, aplicados a un problema real de exploración y/o investigación. De acuerdo con el plan de estudios clave 1202 (Cardenas y Cabrera, 2005; Anexo K), el alumno cursa una clase de teoría de 480 horas al semestre, que incluye una serie de salidas a campo, afinada con una práctica final que encierra los conocimientos adquiridos durante el semestre, en un ambiente de trabajo profesional.

La principal institución encargada de llevar a cabo el desarrollo pleno de las actividades de campo es la Facultad de Ingeniería; sin embargo, el alumno puede efectuar tales actividades en instituciones de carácter análogo, como son institutos de investigación, empresas públicas y privadas, o como en este caso en particular, con entidades académicas internacionales.

Los esquemas MASE y SAGE proponen una serie de actividades de exploración geofísica, paralelas a las realizadas en la UNAM, por lo que el alumno es capaz de cubrir el requisito académico de estancias y prácticas de campo en un ámbito internacional, empleando diferentes metodologías de trabajo; igualmente la experiencia de trabajar con personal académico de universidades extranjeras permite un intercambio técnico y cultural de gran relevancia institucional y personal. Dicho contacto personal, permite que el alumno desarrolle diversas habilidades técnicas y personales, tales como comunicación y trabajo en equipo, entre otras, reforzando las bases teóricas, consintiendo el pleno progreso personal del alumno.

II. 2. MesoAmerican Subduction Experiment

El proyecto MASE comenzó a principios de 2005, es un estudio multidisciplinario que involucra sismología, geodesia, geología, geoquímica, modelado geodinámico y métodos eléctricos. Las instituciones que participan en este proyecto son el *Tectonics Observatory* (TO) del *California Institute of Technology* (CalTech), los Institutos de Geofísica y de Geología, y el Centro de Geociencias de la UNAM y el *Center for*

Embedded Network Systems (CENS) en UCLA. Los esfuerzos iniciales se han centrado en el estudio de la placa de Cocos en el transecto de Acapulco-Tampico. Los planes futuros incluyen el traslado de las estaciones que forman el arreglo TO a una nueva línea de investigación entre Oaxaca y Veracruz.

II.2.1. Objetivos Generales

El objetivo de MASE es la creación de un modelo geodinámico de los procesos de subducción. Para tal fin, se escogió la zona de subducción de Mesoamérica debido a su geometría, su interesante actividad sísmica y volcánica, y sus implicaciones. Además, los experimentos de campo están diseñados para la determinación de parámetros esenciales, entre ellos, la geometría de la placa, la temperatura de la cuña del manto y la placa, la viscosidad de la cuña del manto y el acoplamiento entre la placa subducida y la cabalgante (Clayton, 2006).

II.2.2. Descripción

Como componente central de MASE, se ha extendido, desde finales de 2004, un arreglo de 100 estaciones sísmicas de banda ancha a lo largo del transecto Acapulco-Tampico, con una separación aproximada entre estaciones de 5 a 6 km. La mitad de los instrumentos pertenece al TO y las otras 50 al proyecto CENS de UCLA. A partir del análisis de los datos recabados de estas estaciones, es posible definir los límites de estructuras como de la corteza continental, de la placa subducida y del manto, inclusive estimar la viscosidad del manto.

La red existente de GPS (*Global Positioning System*) del Instituto de Geofísica de la UNAM, está siendo una parte fundamental para determinar el acoplamiento la placa continental y la placa en subducción.

Además, se cuenta con estudios preliminares, entre ellos, estudios magnetoteléuricos realizados por científicos alemanes y mexicanos, los cuales han revelado información importante de los fluidos y de la fusión en el proceso de subducción.

II.2.3. Línea gravimétrica

Con el objetivo de proporcionar información geofísica adicional sobre las condiciones del proceso de subducción de la placa de Cocos y de instruir a un grupo de

estudiantes de la UCLA, ésta y el Instituto de Geofísica de la UNAM, realizaron conjuntamente un levantamiento gravimétrico, que inició en el puerto de Acapulco, Gro. y finalizó en el puerto de Tampico, Tmps. Durante la realización de dicho perfil, personal académico y técnico de la UCLA participó de manera activa en la adquisición de los datos, en asociación con estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

El Capítulo III comprende el análisis e interpretación de los datos gravimétricos adquiridos a lo largo de un perfil de más de 600 km de largo. El trabajo de campo se llevó al cabo en el periodo del 16 al 22 de noviembre de 2005. El equipo utilizado fue proporcionado por el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Geofísica de la UNAM.

El objetivo de este estudio fue de carácter regional por lo que ciertas características tectónicas pudieron ser estudiadas.

II.3. Summer of Applied Geophysical Experience

II.3.1. Objetivos Generales

La práctica de campo anual llamada *Summer of Applied Geophysical Experience* (SAGE), realizada en Santa Fe, Nuevo México, EE.UU., es patrocinada por *Los Alamos National Laboratory* (LANL), rama del *Institute of Geophysics and Planetary Physics* (IGPP) de la Universidad de California, en conjunto con alianzas industriales. SAGE tiene por objeto reunir a estudiantes de geofísica, geología, física o matemáticas de licenciatura o posgrado, para realizar diversos estudios geofísicos a fin de comprender las características tectónicas y evolución geológica del rift Río Grande, conjuntamente con la realización de estudios paralelos de carácter ambiental, hidrogeológico y arqueológico en zonas adyacentes. Los estudios hidrológicos son apoyados por la cooperación de agencias federales, estatales y locales.

Entre los objetivos más relevantes se encuentra establecer la profundidad del basamento, el marco estructural de la falla La Bajada y la estratigrafía secuencial, entre otros.

Desde su inicio en 1983, SAGE ha conjuntado a más de 500 alumnos de universidades estadounidenses y del resto del mundo para la adquisición, procesamiento, modelado e interpretación de datos potenciales, sísmicos, eléctricos y electromagnéticos. El trabajo en equipo, durante la integración de toda la información recolectada, permite una relación laboral cercana a los profesores, asistentes técnicos y alumnos. Mediante un reporte escrito y una presentación final, el alumno prueba sus habilidades y demuestra lo aprendido en tres semanas de trabajo de campo y de gabinete.

II.3.2. Descripción

El programa académico de SAGE está compuesto de varios elementos citados a continuación:

I. – Juntas de orientación y seguridad

Una plática orientada a los posibles riesgos y enfermedades presentes en Nuevo México, a los que pueden estar expuestos los estudiantes (incendios forestales, problemas de salud debido a la altitud, picaduras de insectos y animales, guía de primeros auxilios y procedimientos de emergencia).

II. – Clases teóricas, resultados de análisis previos y objetivos actuales

Las clases teóricas, ofrecidas por personal académico capacitado de diversas universidades, aportan elementos necesarios fundamentales para la renovación y comprensión física y matemática de los diversos métodos en prospección geofísica. Esto es debido al carácter heterogéneo en antecedentes y nivel académico de los estudiantes. Además de clases correspondientes a cada método, se imparten cursos sobre procesamiento digital de señales, inversión, etc. Simultáneamente, los cursos de geología del área de estudio, brindan al alumno un marco histórico y estructural del rift Río Grande, a fin de conocer el contexto y los objetivos del estudio anual, en comparación con estudios previamente realizados. La duración total de clases teóricas es de una semana. Las clases impartidas son:

- a. Geología y tectónica del rift Río Grande
- b. Introducción al sitio arqueológico de San Marcos
- c. Análisis sísmico de cuencas
- d. Reflexión y refracción sísmica
- e. Sistema de posicionamiento global (GPS)
- f. Estudios electromagnéticos transitorios (TDEM) y en el dominio de la frecuencia (FDEM)
- g. Métodos magnetotelúricos
- h. Gravimetría y magnetometría
- i. Radar de penetración terrestre (GPR)
- j. Diseño experimental
- k. Inversión

III. – Trabajo de campo

El trabajo de campo es supervisado por personal académico y técnico de universidades, así como de la industria. En particular, para el año 2006, se realizaron:

- a. Dos viajes de geología
- b. Línea sísmica de reflexión y estudios de refracción de 2.6 kilómetros de largo
- c. Estudios potenciales, gravimetría y magnetometría en el área
- d. Estudios magnetotelúricos (MT) a lo largo de la línea sísmica
- e. Estudios de MT y TDEM en Vulcan Site
- f. Magnetometría, GPR, FDEM en el pueblo de San Marcos

IV. – Procesamiento de datos geofísicos recolectados y generación de modelos geofísicos

Los datos adquiridos son procesados. Su procesamiento se lleva a cabo en computadoras personales y en estaciones de trabajo con sistema LINUX. Los estudiantes obtienen modelos geofísicos con restricciones geológicas apoyadas en observaciones de campo y estudios previos. Esto lo realizan en grupos de trabajo, cada miembro del equipo trabaja en la interpretación de los datos de un método, para después, en conjunto llegar a un modelo congruente e integrado regionalmente.

VI. – Reportes orales y escritos

Cada alumno escribe un resumen extenso (*expanded abstract*) siguiendo el modelo de la revista *Geophysics* y presenta una plática de 15 minutos, de los cuales 3 son de preguntas y comentarios, de acuerdo al modelo de la Reunión Anual de la Sociedad de Geofísicos de Exploración.

II.3.3. Experiencia en prospección geofísica

El modelo de SAGE, en el cual se lleva a cabo la aplicación de diversos métodos de exploración con objetivos comunes, permite una integración plena y cabal del conocimiento adquirido. La interpretación realizada a partir de un estudio conjunto es de mayor confianza y resolución, logrando que los objetivos predefinidos sean alcanzados de manera

satisfactoria. Además, este esquema es similar a lo que se enfrentará el egresado de la carrera de Ingeniería Geofísica en su ambiente laboral.

Por otro lado, el contacto profesional y personal con estudiantes de licenciatura y posgrado crea un ambiente variado de opiniones, preguntas y discusiones sobre los temas abordados, lo que permite una retroalimentación entre todos los participantes.

Durante el trabajo de campo se forman equipos de trabajo de tres personas, su reducido tamaño ayuda al rápido y eficaz aprendizaje de los instrumentos de medición. Después de concluido el trabajo de campo, el alumno expresa su interés por un tema o método en especial, permitiéndole explorarlo más a fondo. Además, se forman grupos de integración al finalizar las actividades de campo, lo cual permite la composición final de la información; dentro de este grupo de trabajo cada alumno estudia y analiza exclusivamente la técnica de estudio seleccionada, cuyos resultados son integrados a los del resto de su equipo. Este procedimiento permite que el alumno trabaje de manera cercana al personal académico y técnico de la especialidad seleccionada, así como con los demás integrantes del equipo para sintetizar los resultados combinados.

El trabajo específico realizado desde la adquisición hasta la interpretación, guía al alumno a una evaluación de la calidad de los datos, para la generación de modelos geológicos útiles en la validación del resultado obtenido.

El programa incluye también, pláticas y discusiones por parte de geólogos y geofísicos. Representantes de las tres mayores disciplinas de la geofísica aplicada (exploración petrolera, minera y ambiental) son parte importante de SAGE. Este personal adjunto describe el trabajo de un geofísico a los estudiantes y apoya el trabajo de campo, divulgando la experiencia laboral dentro del organismo que los acogen.

III. Prospección Gravimétrica

III.1. Objetivo

La red sismológica especialmente instalada para el proyecto MASE comprende 100 estaciones, ubicadas a lo largo del trayecto Acapulco-Tampico. El presente estudio se realizó con el fin de analizar la repuesta gravimétrica de la placa de Cocos que subduce a la Placa de Norte América. Las características tectónicas observadas serán una pauta de comparación con otros estudios que se están llevando a cabo como parte de dicho experimento.

El levantamiento formó parte de una práctica de campo de estudiantes de la UCLA, además de servir como intercambio académico entre la UNAM y UCLA, permitiendo una interacción con estudiantes y profesores. El ambiente de trabajo se caracterizó por la dinámica de trabajo no convencional, la cual consistió en un esquema de organización predefinido y de ejecución meticulosa, y en el intercambio cultural.

III.2. Marco Tectónico

Dado que la gravimetría nos proporciona información tanto sobre las estructuras someras como profundas, locales y regionales. A continuación se hace una descripción general de las características geológicas superficiales por las que atravesó el perfil gravimétrico realizado, así como de la tectónica de subducción que afecta nuestros datos.

México está compuesto por una Meseta Central, elevada originalmente durante la Orogenia Laramide al norte de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) ocurrió del Cretácico superior al Terciario temprano (hasta Eoceno inferior por lo menos). La Meseta está formada por rocas mesozoicas deformadas y rocas volcánicas terciarias afectadas por tectónica extensional. La FVTM es una provincia Plio-Cuaternaria calco-alcalina que atraviesa el país de oeste a este entre los 19 y 21° N, la cual contiene la mayor actividad volcánica moderna de México y ha sido interpretada como un arco volcánico relacionado con la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa de Norte América (Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora, 2000), aunque existe debate y discusión sobre un modelo tectónico adecuado para explicar la gran diversidad magmática emplazada (Gómez-Tunea et al., 2005). El bloque de la Meseta Central está limitado al Este por la Sierra Madre Oriental, compuesta por una secuencia de carbonatos del Jurásico tardío y del Cretácico altamente deformados durante la Orogenia Laramide. Las rocas pre-Jurásicas incluyen

gneiss Grenville, rocas metasedimentarias paleozoicas y secuencias flysh del Pérmico temprano. Al sur de dicha área se encuentra la Sierra Madre del Sur compuesta por secuencias volcano-sedimentarias de edad jurásica a cretácica que sobreyacen rocas metamórficas fuertemente deformadas. Estas secuencias subyacen discordantemente secuencias Terciarias de rocas volcánicas, las cuales han sido deformadas por tectónica transcurrente y/o extensional (Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora, 2000; Ferrari, comunicación personal, 2007).

La sismotectónica en México es dominada por la interacción de 4 placas, las cuales son: Norteamérica, Pacífico, Rivera y Cocos, en éstas existen tres tipos de frontera: divergentes, transformante y convergente. México se encuentra en su mayoría sobre la placa de Norteamérica, la cual está en interacción con las otras tres. El régimen tectónico de México está predominantemente controlado por la subducción de la placa de Cocos a lo largo del margen oeste de la placa de Norteamérica, la edad de la placa de Cocos varía entre los 12.7 y 16 Ma, mostrando un incremento gradual hacia la porción oriental de la trinchera. La velocidad de convergencia también se incrementa hacia el oriente desde ~ 4.7 hasta ~ 6.7 cm/año. El ángulo de subsidencia de la placa de Cocos es variable, los epicentros sísmicos se limitan a profundidades menores a 70 km. Los datos sísmicos indican que la placa de Cocos disminuye paulatinamente su inclinación desde su límite con la placa de Rivera hasta aproximadamente la longitud 101°W para volverse posteriormente subhorizontal debajo de una parte de la porción central y la porción oriental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Hacia el sur, la placa de Cocos aumenta rápidamente su inclinación para alcanzar otra vez un ángulo de $45\text{-}50^{\circ}$ (Pardo y Suárez, 1995; Gómez-Tunea et al., 2005).

Los modelos sobre la geometría de la zona de subducción indican una amplia área de contacto de la base de la corteza con el segmento subducido de la placa de Cocos por los menos hasta una distancia de 250 km de la costa (MASE, 2007). La disminución en el ángulo de subducción y el desplazamiento de la trinchera hacia el continente, también implican la posible remoción de un segmento de la cuña del manto y la parte inferior de la corteza continental en la zona de la margen continental actual (Moran-Zenteno et al., 2005).

La característica más importante en la zona de subducción de México es una interfaz somera subhorizontal en la parte central debajo del estado de Guerrero (Kostoglodov et al., 1996). Esta configuración particular de la placa de Cocos subducida tiene consecuencias geodinámicas tales como una litosfera continental muy delgada, entre otras (Manea et al., 2004).

III. 3. Método Gravimétrico

El levantamiento realizado fue utilizando el método gravimétrico, el cual está basado en la Ley de Gravitación Universal de Isaac Newton; ésta establece que la fuerza

ejercida por un elemento diferencial de masa M , en el origen de un sistema coordenado, y otro punto de masa, m , separados por una distancia d , es directamente proporcional a sus masa e inversamente al cuadrado de la distancia entre ellos.

A partir de mediciones realizadas en la superficie, es posible inferir la distribución de densidad (consecuencia indirecta de la ley de Newton), en el subsuelo. En un modelo estratificado de la Tierra, la distribución espacial de masa ha de ser tal que exista un contraste lateral de densidad, a fin de obtener una respuesta gravimétrica de posible interés.

En la práctica se mide la componente vertical de la gravedad, es decir, la derivada vertical del potencial de gravedad, debida a su mayor magnitud, en comparación con los componentes horizontales. Para utilizar eficazmente las observaciones de gravedad es necesario calcular las anomalías que representan la diferencia entre el valor observado de la gravedad y el calculado, teniendo en cuenta los diferentes factores que se sabe influyen en la gravedad y que pueden ser realmente evaluados. Para hacerlo, se usa un modelo matemático definido (esferoide) que tiene más o menos la misma forma que la Tierra, para que pueda tenerse en cuenta el efecto gravitacional debido a los cambios en latitud, incorporando el efecto de la variación tanto del radio de la Tierra como de la fuerza centrífuga; no obstante, las mediciones realizadas en la superficie son afectadas por una serie de factores no considerados en el modelo, que sumados de forma escalar, constituyen el valor de gravedad observado. El proceso por el cual los elementos no considerados en el modelo matemático, son removidos del valor medido, es denominado reducción.

Los datos reducidos muestran la superposición de los efectos locales y regionales de diversos cuerpos; así, de acuerdo a los objetivos pretendidos, es posible separar dichos efectos analíticamente.

Los datos corregidos pueden ser interpretados en forma de perfiles o mapas de contorno. En una interpretación cualitativa, los valores extremos, mínimos o máximos, pueden representar variaciones en la distribución espacial y geométrica de la densidad; es decir, el contraste relativo indica una disminución o un aumento, respectivamente, de la densidad en el subsuelo. La amplitud de la anomalía puede ser indicio de la profundidad y la geometría del cuerpo anómalo, previo modelo directo.

III. 4. Adquisición

Los datos recolectados fueron obtenidos utilizando el gravímetro Scintrex CG-3 de Geometrics, así como con el gravímetro Lacoste & Romberg. El perfil comprendió una distancia mayor a 600 km desde el puerto de Acapulco hasta el puerto de Tampico. Las figuras III.1 y III.2 muestran la localización geográfica de las estaciones del transecto realizado. La tabla III.I indica el número de estación, las coordenadas geográficas, el valor

de gravedad observado y la corrección por marea, esta última calculada internamente por el gravímetro Scintrex.

La figura III.3 muestra la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) del perfil estudiado, dicha elevación fue el promedio lineal de dos sistemas de GPS independientes.



Figura III.1. Ubicación general de las estaciones gravimétricas del Transecto Acapulco–Tampico. Las marcas rojas representan las estaciones. Los puntos inicial y final están marcados por círculos verdes.

III. 5. Procesamiento

Una vez tomados los datos gravimétricos en campo se procede a su procesamiento. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que los valores adquiridos están influenciados por diversos factores, produciendo variaciones resultantes primordialmente de:

- 1) La divergencia entre la forma del geode y la de una esfera achatada en sus polos.
- 2) La disminución progresiva de la fuerza centrífuga desde el ecuador hacia el eje de rotación en los polos.
- 3) La altura del punto de observación con relación a la superficie media del geode (nivel del mar).

4) La masa incluida entre el punto de observación y el datum del nivel del mar.

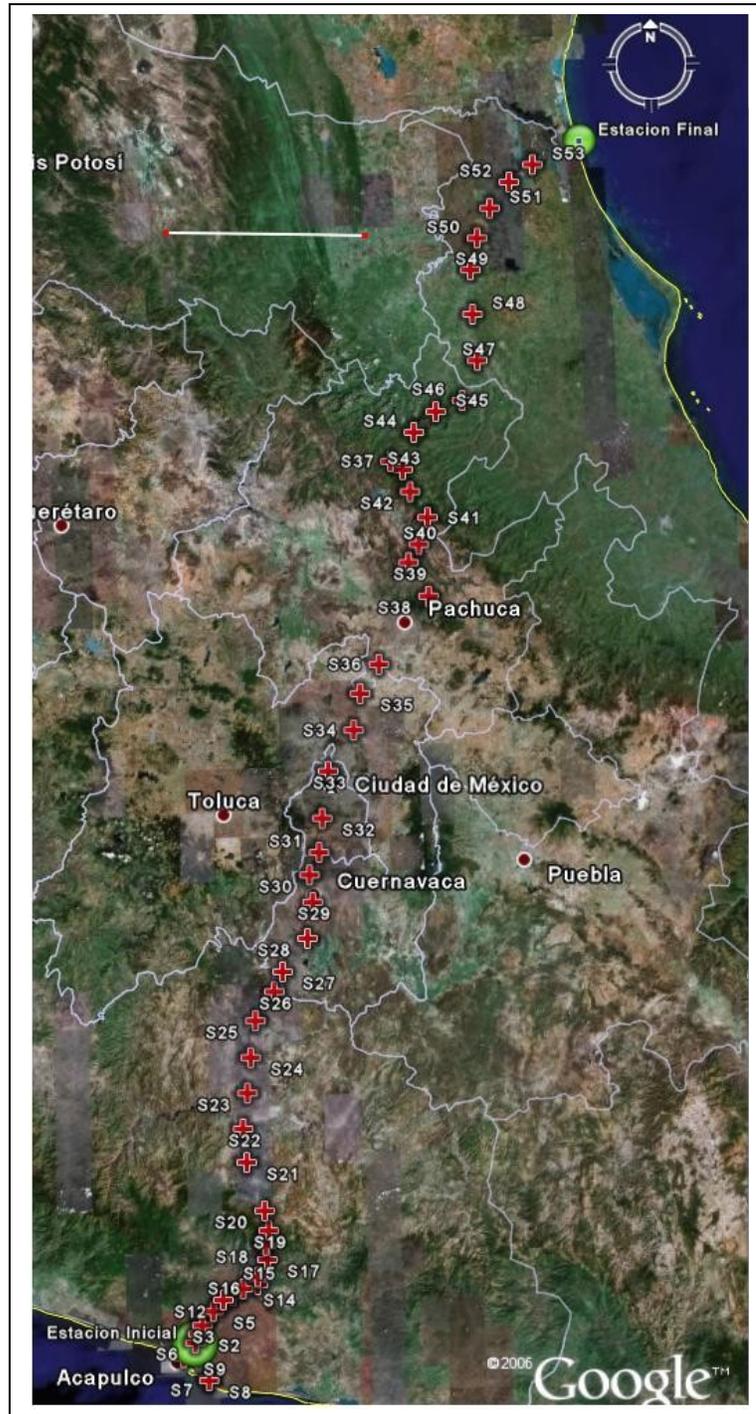


Figura III.2. Vista regional de las estaciones gravimétricas del Transecto Acapulco – Tampico (cruces rojas). Las estaciones inicial y final están indicadas por círculos verdes. La línea blanca representa una distancia de 100 km.

Tabla III.1. Datos gravimétricos recolectados, coordenadas, elevación y corrección por marea.

<i>Estación</i>	<i>Latitud [°]</i>	<i>Longitud [°]</i>	<i>Elevación n 1 [m]</i>	<i>Elevación n 2 [m]</i>	<i>Elevación n promedio [m]</i>	<i>Hora local</i>	<i>Gravedad observada Scintrex [mgal]</i>	<i>Corrección por marea [mgal]</i>
1	16.55675	99.49059	50	Nan	50	11.25	2016.475	0.135
2	nan	Nan	nan	nan	nan	nan	nan	0.177
3	16.58524	99.48591	123	128	125.5	12.48	1996.565	0.184
4	17.00508	99.78502	250	246	248	13.35	1968.23	0.181
5	17.04404	99.77636	417	404	410.5	14.53	1929.042	0.14
6	17.08088	99.73082	482	470	476	15.21	1909.62	0.114
7	16.92795	99.81757	32	63	47.5	16.15	2016.42	0.062
8	16.76116	99.75284	1.641	4	2.8205	18.48	2020.608	-0.072
9	16.76247	99.75436	1	nan	1	19	2020.528	nan
10	16.86082	99.87455	2	nan	2	7.39	2028.98	-0.092
11	16.88049	99.8465	nan	167	167	8.19	1993.85	-0.066
12	16.92801	99.81762	46	50	48	9.33	2016.08	-0.011
13	17.12384	99.68231	420	nan	420	10.32	1901.15	0.052
14	17.14277	99.63608	264	nan	264	11.04	1918.12	0.082
15	17.16871	99.58708	214	166	190	12	1932.345	0.151
16	17.18237	99.51762	393	407	400	12.32	1886.514	0.167
17	17.2263	99.51874	662	380.7594	650	13.03	1827.252	0.192
18	17.29414	99.47156	843	840	841.5	13.33	1782.41	0.199
19	17.35987	99.47851	1006	nan	1006	13.58	1744.28	0.198
20	17.42538	99.46371	1242	1236	1239	14.26	1701.565	0.19
21	17.51657	99.48153	1202	1200	1201	15.15	1707.98	0.161
22	17.73646	99.56255	798	805	801.5	12.4	1790.1	0.154
23	17.88806	99.57708	577	560	568.5	13.53	1835.93	0.198
24	18.04727	99.55394	626	640	633	14.23	1821.03	0.204
25	18.20642	99.53645	940	943	941.5	15.5	1755.85	0.178
26	18.3694	99.50962	778	784	781	16.55	1767.84	0.108
27	18.49625	99.41883	1132	1143	1137.5	17.35	1692.89	0.064
28	18.58479	99.37693	934	935	934.5	10.17	1752.195	-0.048
29	18.7294	99.25468	1022	1024	1023	10.55	1741.2	-0.011
30	18.89063	99.22704	1392	1399	1395.5	11.27	1661.085	0.024
31	19.01109	99.23391	2327	2279	2303	12.51	1469.346	0.132
32	19.10959	99.19066	3006	2972	2989	13.28	1328.223	0.159
33	19.26086	99.17239	2403	2408	2405.5	14.24	1450.665	0.193
34	19.46903	99.1378	2313	2303	2308	16.07	1494.93	0.18
35	19.63005	99.00324	2238	2258	2248	14.01	1519.132	0.142
36	19.80955	98.97456	2264	2266	2265	15.15	1524.439	0.182

Tabla III.1. cont. Datos gravimétricos recolectados, coordenadas, elevación y corrección por marea.

<i>Estació n</i>	<i>Latitud [°]</i>	<i>Longitu d [°]</i>	<i>Elevació n 1 [m]</i>	<i>Elevació n 2 [m]</i>	<i>Elevació n promedio [m]</i>	<i>Hor a local</i>	<i>Gravedad observad a Scintrex [mgal]</i>	<i>Corrección por marea [mgal]</i>
37	19.93699	98.88124	2330	2318	2324	15.52	1516.445	0.184
38	20.08828	98.79221	2380	2420	2400	17.56	1489.665	0.12
39	20.23364	98.6307	2248	2305	2276.5	8.25	1563.093	-0.039
40	20.38549	98.72132	1953	1954	1953.5	9.01	1649.57	-0.06
41	20.46506	98.66998	1321	1322	1321.5	9.45	1786.672	-0.072
42	20.58307	98.6218	1947	1952	1949.5	11.12	1694.85	nan
43	20.70101	98.70236	1870	1873	1871.5	11.58	1724.92	nan
44	20.80001	98.73498	1550	1558	1554	13.09	1804.57	nan
45	20.96516	98.67321	1474	1478	1476	14.2	1853.225	nan
46	21.05522	98.56311	804	815	809.5	15.15	2005.26	nan
47	21.10214	98.43076	181	191	186	16.1	2138.785	nan
48	21.28066	98.34824	40	52	46	8.18	2192.555	nan
49	21.48949	98.36242	65	62	63.5	8.52	2207.93	nan
50	21.68921	98.35815	64	57	60.5	9.28	2227.524	nan
51	21.83263	98.32295	55	52	53.5	10.04	2256.505	nan
52	21.96861	98.25214	37	31	34	10.25	2276.247	nan
53	22.08596	98.15002	23	15	19	11.03	2283.954	nan
54	22.16341	98.02808	5	3	4	11.53	2282.415	nan
55	22.27092	97.79013	1	1	1	13.17	2288.74	nan

III.5.2. Reducción de datos

Fórmula Internacional de Gravedad

El valor teórico o normal de gravedad, o el campo de gravedad de referencia, es el efecto de la gravedad debido a un elipsoide equipotencial de revolución. Existen fórmulas aproximadas de uso extensivo. En este análisis se utilizó la Fórmula Internacional de Gravedad de 1980 (Moritz, 1980):

$$IGF80 = 978032.7(1 + 0.0053024\text{sen}^2\theta - 0.0000058\text{sen}^2 2\theta), \quad \text{Ec. (3.1)}$$

donde θ es la latitud.

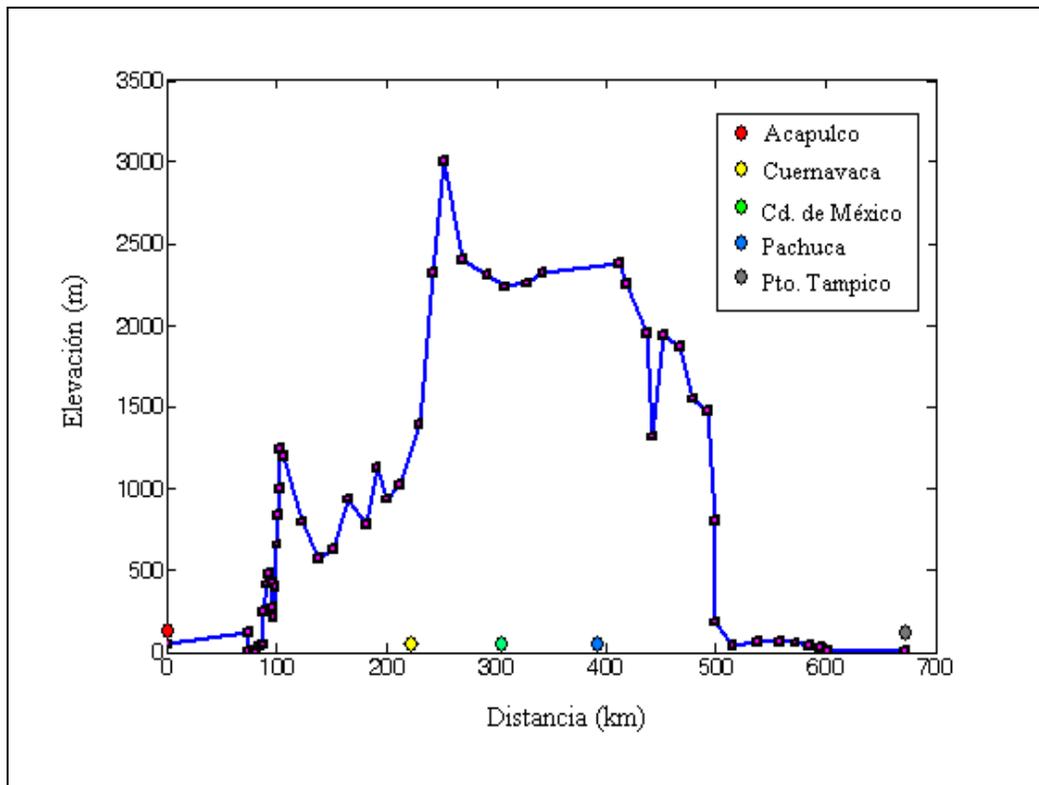


Figura. III.3. Elevación sobre el nivel medio del mar del perfil Acapulco – Tampico. La distancia vertical presenta una exageración de cinco veces con respecto a la horizontal. Se muestran la ubicación relativa al perfil de las principales ciudades comprendidas en el estudio.

Corrección por Marea y Deriva

El movimiento de la Luna y del Sol relativos a la Tierra crea no sólo la oscilación o marea en el océano, sino también la oscilación de los continentes. Debido a que la posición de la Luna y el Sol puede ser determinada, el efecto por marea puede ser evaluado y removido de los datos de gravedad observados.

El efecto de las variaciones en la marea debido a la atracción del Sol y de la Luna también puede ser calculado directamente usando tablas especialmente preparadas (Sheriff, 2002), la variación por mareas es aproximadamente $360 \mu\text{gals} / 6 \text{ hr}$ o $1 \mu\text{gal} / \text{minuto}$.

Durante la operación en campo, el resorte u otros componentes del gravímetro experimentan fatiga, produciendo que la medición de gravedad derive en función del tiempo, aún para una misma ubicación. El cambio en las lecturas de gravedad refleja la deriva del instrumento así como el efecto de las mareas.

Debido al carácter regional del estudio las variaciones por deriva no fueron realizadas.

Corrección por latitud

La gravedad cambia con la latitud, aumentando desde el ecuador hacia los polos. La variación por latitud en un punto determinado, puede ser calculada mediante la primera derivada de la fórmula internacional de gravedad respecto a la latitud,

$$\frac{dIGF80}{d\theta} = 9.780327(0.0106\sin\theta \cos\theta - 2.32 \times 10^{-5} \sin 2\theta \cos 2\theta) \quad \text{Ec. (3.2)}$$

El valor observado, $g_{observada}$, puede ser comparado también con el valor teórico calculado a partir de la fórmula internacional de gravedad (IGF), g_{IGF} , en la misma latitud; es decir,

$$\Delta g = g_{observada} - g_{IGF} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Aproximadamente esta corrección comprende valores de 2 $\mu\text{gals/m}$, en dirección N-S.

Corrección por Elevación y Anomalía de Aire Libre

La gravedad varía con la elevación, es decir, con la distancia radial de la Tierra, r . Como primera aproximación, la variación puede expresarse como

$$\frac{dg}{dr} = \frac{d}{dr} \left(-K \frac{M}{r^2} \right) = 2K \frac{M}{r^3} = \frac{2g}{r}, \quad \text{Ec. (3.4)}$$

donde K es la constante gravitacional. Esta variación ha de restarse del valor de referencia si la estación de campo está ubicada por arriba del datum. La corrección por aire libre, con referencia al nivel del mar, está dada por

$$\Delta g_{cal} = \frac{2g}{r} \Delta r = 0.3086 \Delta r, \quad \text{Ec. (3.5)}$$

donde Δr está en metros y Δg en mgals. La anomalía de aire libre se define como

$$\Delta g_{aal} = g_{obs} - g_{IGF} + \Delta g_{cal}, \quad \text{Ec. (3.6)}$$

que también puede escribirse como

$$\Delta g_{aal} = g_{obs} - (g_{IGF} - \Delta g_{cal}) \quad \text{Ec. (3.7)}$$

La cantidad entre paréntesis puede ser vista como el valor teórico a cierta latitud y elevación. La anomalía de aire libre, por tanto, representa la diferencia entre los valores observados y teóricos a la misma latitud y elevación.

Corrección de Bouguer y Anomalía de Bouguer

La concentración de masa localizada entre la estación de gravedad y la elevación de referencia (el nivel del mar) tenderá a jalar el gravímetro hacia abajo. Debido al interés por conocer la distribución de masa por debajo de la elevación de referencia, es deseable remover la contribución de dicha masa. Aproximando la concentración de masa a una placa de longitud infinita, se tiene

$$\Delta g_{cb} = 2\pi K\rho h, \quad \text{Ec. (3.8)}$$

donde K es la constante de gravedad, ρ , la densidad de la placa y h es el espesor de la placa o elevación desde el elipsoide, lo que equivale a aproximadamente 0.04185ρ mgals/m.

Después de que Δg_{cb} es removida de la anomalía de aire libre, el residuo es llamado anomalía de Bouguer, esto es

$$\begin{aligned} \Delta g_{ab} &= \Delta g_{aal} - \Delta g_{cb}, \\ \Delta g_{ab} &= \Delta g_{obs} - (\Delta g_{IGF} - \Delta g_{cal} + \Delta g_{cb}). \end{aligned} \quad \text{Ec. (3.9)}$$

La cantidad entre paréntesis representa el valor teórico en la estación. La anomalía de Bouguer refleja la distribución de masa debajo de la elevación de referencia si la densidad de la placa es uniforme y la elevación del terreno es plana. De otro modo, parte de la anomalía de Bouguer todavía es atribuible a la distribución de masa en la placa.

Corrección Topográfica y Anomalía Completa de Bouguer

En condiciones de topografía con relieve, la corrección de Bouguer sobreestima la contribución de la masa ficticia que yace entre la altura de la estación de campo y la superficie del terreno. Así la contribución de la masa de roca virtual debe ser agregada de nuevo a la anomalía de Bouguer.

Además, la masa de roca arriba de la altura de la estación tiende a jalar hacia arriba el gravímetro, reduciendo las lecturas de gravedad. La contribución adicional de la masa de roca se agrega a la anomalía de Bouguer.

A fin de compensar el efecto de vacío y de relleno causado por la aproximación a una placa infinita, la contribución a de ser sumada a la anomalía de Bouguer para obtener la anomalía completa de Bouguer:

$$\Delta g_{acb} = \Delta g_{ab} + \Delta g_{\text{corrección_topográfica}} \cdot \quad \text{Ec. (3.10)}$$

El resultado neto de la corrección de Bouguer y la corrección por topografía es equivalente a corregir la atracción gravitacional en la estación debido a todo el cuerpo de roca entre la superficie del terreno y el nivel de referencia, asumiendo una densidad uniforme de la masa de roca.

Corrección Isostática

Es la corrección realizada para compensar los efectos de variación lateral o las variaciones de espesor entre elementos de carga en la corteza terrestre. La corrección realizada asume el modelo de Airy de 1855, la cual se calcula a partir de los datos de elevación. El modelo isostático utilizado asume polígonos rectangulares verticales de densidad constante, las dimensiones horizontales y verticales están dadas por a) la distancia media entre estaciones gravimétricas (5 km) y b) la profundidad teórica calculada en el modelo de Airy, respectivamente.

En este reporte se utilizaron valores de densidad de la corteza terrestre (ρ_c) de 2,670 kg/m³ y de 3,070 kg/m³ para la densidad del manto superior (ρ_m) (Blakely, 1996). Debido al aumento en los valores de la densidad en las rocas sedimentarias con la profundidad, resultante de la consolidación causada por el peso estático y la cementación que es mayor en rocas profundas y más antiguas aún en cuencas sedimentarias muy profundas (5 a 6 km), la corrección geológica raras veces excederá de 25 a 30 mgals (Woollard, 1956). En el Anexo A se presenta el programa escrito en MATLAB 7.0 que incluye las correcciones descritas anteriormente, salvo por deriva y topografía.

Las anomalías resultantes de diferencias entre los valores observados de gravedad referidos a una base absoluta y los valores teóricos de la gravedad, calculados sobre la base anteriormente indicada, se conocen por anomalías de Bouguer. Aunque se reconoce el efecto topográfico como cierto, en las anomalías resultantes de los datos analizados no se tomó en cuenta el efecto de la distribución topográfica debido al carácter regional del estudio.

En vista de que el modo en que se presentan las anomalías de Bouguer está controlado por la distribución compensadora de masa en la profundidad por cambios en el relieve superficial, efectos "heredados" de facies aún existentes de antiguos sistemas de montañas ya desaparecidos y variaciones en densidad de las masas de rocas superficiales y cercanas a la superficie, es necesario usar algún procedimiento para separar los efectos de la gravedad debidos a los diversos componentes. Esto comúnmente se hace por medio de un proceso empírico de alisamiento basado en perfiles seccionales o de una premediación analítica del tipo de rejilla, para determinar el efecto llamado "regional" que puede abstraerse de las anomalías de Bouguer para obtener efectos residuales. Dado los objetivos

tectónicos del presente estudio, no se calculó ninguna separación analítica entre los efectos regionales y residuales.

La figura III.4 muestra la anomalía de Bouguer a lo largo del perfil; es decir, el resultado final de aplicar las correcciones mencionadas anteriormente.

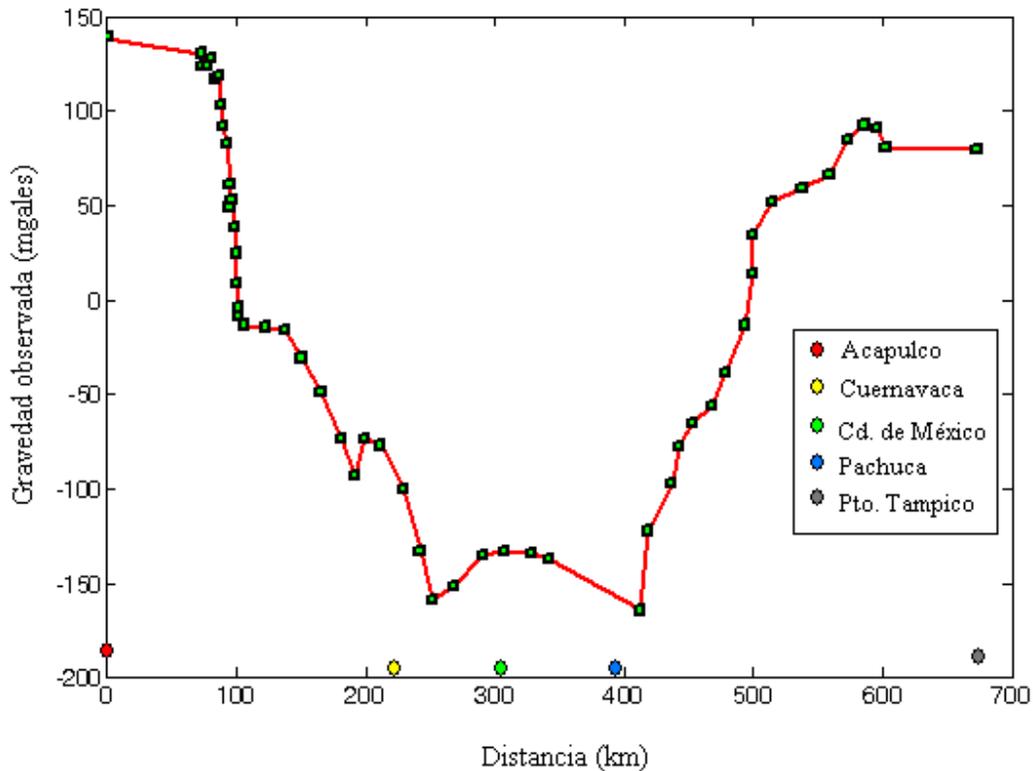


Fig. III.4. Anomalía de Bouguer. Transecto Acapulco – Tampico. Se muestran la ubicación relativa al perfil de las ciudades principales comprendidas dentro del estudio.

III.6. Interpretación

El perfil obtenido concuerda con estudios previos realizados (Woollard, 1956; Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi, 1993; Kostoglodov et al., 1996; Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora, 2000; Manea et al., 2004); sin embargo, excepto por los trabajos de Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi (1993) y de Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora (2000), dichos análisis no cubren la totalidad del perfil analizado, por lo que exclusivamente son de relevancia en la primera mitad del levantamiento, hasta la Ciudad de

México; adjuntamente dichos análisis incluyen datos de gravedad marinos, no contemplados en el levantamiento realizado. En el caso de Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi (1993), los perfiles se llevaron a cabo a lo largo de un trayecto similar y los resultados obtenidos en ese trabajo y en el presente son análogos. El estudio de Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora (2000) es de carácter regional, extendiéndose desde la zona de trincheras hasta el Golfo de México, representando el perfil G-G' de ese trabajo un transecto colineal al correspondiente realizado en MASE.

El intervalo no regular de muestreo afecta notoriamente la anomalía de Bouguer obtenida en los primeros 100 km del estudio. No obstante, los datos muestran la tendencia regional presente en los estudios mencionados.

Las reducciones calculadas, incluyendo la isostática, permiten una interpretación cualitativa de la variación lateral de densidad en la corteza continental y la litósfera oceánica. Por efecto del intervalo de muestreo, en conjunto con la extensión regional del levantamiento, las variaciones locales debidas a la geología somera contribuyen parcialmente a la anomalía registrada, causada por contrastes grandes de densidad en la litósfera oceánica subducida, es decir, por los efectos producidos por la placa de Cocos en su proceso de subducción.

El rango de valores de la anomalía de gravedad es de -200 a 150 mGals (Fig. III.4). Los valores de densidad utilizados para las reducciones gravimétricas concuerdan con los modelos previos. La no aplicación de la reducción por marea y topográfica es reflejada como una anomalía no suavizada; no obstante dicho efecto es mínimo.

El perfil muestra un máximo local positivo en la zona costera adyacente al eje de la trincheras. Conjuntamente, la variación de gravedad en dirección noreste se refleja como un descenso en la misma, hasta llegar a una anomalía nula, pasando por un cambio de signo. El mínimo local negativo registrado se encuentra localizado entre 19° y 20° de latitud norte. En latitudes mayores a 20° se observa un incremento gradual de la anomalía de gravedad.

La conducta descrita anteriormente puede ser interpretada, de manera cualitativa, como la variación en la inclinación del plano de Benioff de la placa de Cocos (Kostoglodov et al., 1996). En distancias cercanas a la trincheras y a la costa, la distancia vertical entre la superficie de referencia o geoide hasta el plano de inclinación de la placa es mínima, explicando así, el máximo gravimétrico observado. Al incrementarse la distancia desde la costa, la placa comienza a inclinarse, reflejándose como un decremento de gravedad progresivo. Así mismo, la pendiente del perfil gravimétrico puede indicar de manera indirecta la posible inclinación del plano. En efecto, los estudios de registros sísmicos (Pardo y Suárez, 1995) y de gravedad realizados por Kostoglodov (1996) en la red sismológica de Guerrero, indican que la inclinación de la placa es menor a 10° en la zona cercana a la trincheras y cambia abruptamente a una inclinación de 27° a 32° en la zona de interplaca (Fig. III.5). En anomalías de aire libre y Bouguer simple de extensión marina, se presenta un mínimo absoluto no coincidente con el mínimo batimétrico de la trincheras,

atribuido al relleno sedimentario de baja densidad (Manea et al., 2004; Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora, 2000).

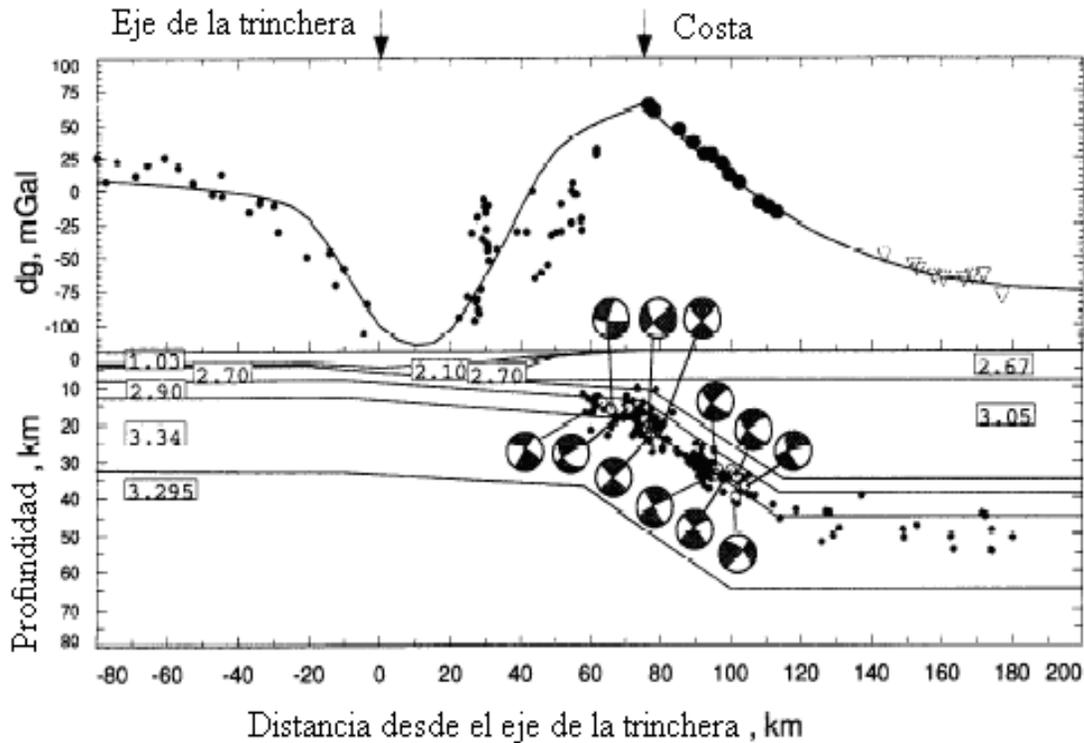


Figura III.5. Modelo propuesto para la subducción de la placa de Cocos en base a registros sísmicos y gravimétricos. Nótese los puntos extremos: la anomalía de Bouguer (puntos grandes) y la anomalía de aire libre (puntos pequeños). El modelo propuesto muestra la inclinación menor a 10° en la costa; la inclinación de la placa aumenta entre 27° y 32° . Los diagramas de esfuerzo muestran la localización de los hipocentros de los sismos registrados que muestran la geometría de la placa. (Figura modificada de Kostoglodov et al., 1996).

La zona central del perfil gravimétrico muestra un mínimo regional que puede estar asociado a densidades bajas del manto superior, por debajo de la FVTM (Fig. III.4). Campos-Enríquez y Sánchez-Zamora (2000) y Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi (1993) asocian este mínimo con la fusión parcial en esta parte del manto y con el volcanismo activo de la FVTM. Así mismo Jödicek et al. (2006) presentan un estudio magnetotélúrico (perfil B-B') a través de la parte central del país, desde Acapulco hasta Tampico, en concordancia con el perfil gravimétrico de MASE. Dicho perfil muestra una zona elongada de alta conductividad, que empieza cerca de 40 km al Sur de la FVTM, extendiéndose aproximadamente 40 km al Norte de la misma, tal anomalía de alta conductividad es interpretada como una zona de fusión parcial de diverso origen causado por migmatización y desarrollo de cuerpos intrusivos, así como de fluidos metamórficos residuales (Jödicek et

al., 2006). Ambos estudios concuerdan con la información recolectada en el perfil gravimétrico de MASE.

Resultados preliminares con datos sismológicos a lo largo del transecto de MASE muestran la placa de Cocos subduciendo con un ángulo inicial de $\sim 15^\circ$ hasta ~ 150 km de la trinchera, a partir de donde continua casi horizontal por otros ~ 210 km. Después de esto, la placa aumenta su ángulo de subducción y se puede seguir hasta el límite sur de la FVTM (Greene Gondi y Espejo Arellano, 2007). Debajo de esta zona, la resolución de los datos sísmicos, así como de los gravimétricos, disminuye, no permitiendo concluir acerca del destino de la placa.

El incremento positivo en la anomalía de Bouguer hacia Tampico es debido principalmente a la intrusión de cuerpos ígneos y a los levantamientos regionales de rocas plegadas expuestas del Mesozoico (Molina-Garza y Urrutia-Fucugauchi, 1993).

III.7. Conclusiones particulares

La interpretación cualitativa del perfil gravimétrico adquirido durante la etapa de desarrollo de MASE proporcionó información adicional, así como confirmó el comportamiento esperado para la placa subducida. La resolución del estudio está limitada por el intervalo de muestreo aplicado, cercano a 10 km, por lo que las anomalías de interés se encuentran a profundidades mayores a los 40 km (espesor mínimo esperado de la corteza continental en la parte central del perfil). La tendencia de la anomalía de Bouguer refleja indirectamente la geometría de la placa de Cocos, hasta una distancia poco mayor de la FVTM, donde la información gravimétrica no permite resolver los eventos tectónicos. Los puntos extremos del perfil, antes de la FVTM, están ligados a la distancia vertical entre la superficie y el plano de Benioff, a menor distancia mayor gravedad y viceversa, lo anterior es debido a la mayor densidad de la placa de Cocos, así como de la inclinación de la misma. La pendiente del perfil muestra una inclinación acorde con estudios previos. El segmento central negativo de la anomalía de Bouguer, es causado posiblemente por la fusión parcial de material ascendente. Las posibles causas del incremento gradual de gravedad hacia el puerto de Tampico pueden estar relacionadas con la geología superficial. No obstante, debido a la falta de un modelo geológico extensivo, la conclusión anterior es reservada. En general, el levantamiento gravimétrico demuestra la compleja relación entre los factores tectónicos que moldean los procesos geológicos presentes.

A fin de comprender y complementar los modelos geológicos existentes, es necesaria la realización de estudios extensivos que delimiten el número de variables físicas de interés y determinen de manera más precisa la geometría de la placa a lo largo de toda la línea de costa.

IV. Prospección Sísmica

IV.1. Objetivos

La línea sísmica de reflexión adquirida y procesada por SAGE 2006, tuvo por objeto definir, en primera instancia, la profundidad del basamento en la cuenca de Hagan, ubicada en la parte norte de la cuenca de Albuquerque, EE. UU., en la cuenca La Española comprendida dentro de la provincia tectónica del rift Río Grande. La interpretación sismoestratigráfica, fue desarrollada con la intención de resolver las unidades litoestratigráficas de manera regional, incluyendo la integración conjunta en un estudio hidrogeológico en el área de materiales Vulcan (ver Sección V.2 de esta tesis). La interpretación estructural de la línea permitió la correlación con diversa información geofísica, tal como estudios de electromagnéticos (EM) (Sección V.2.4 de esta tesis), magnetotélúricos (MT) y gravimétricos.

IV.2. Marco Tectónico

IV.2.1. Rift Río Grande

El rift Río Grande es parte de una extensa región del oeste de los Estados Unidos de América, incluyendo la cuenca y la provincia geológica, que ha experimentado adelgazamiento en la litosfera y extensión cortical desde el Cenozoico medio al tardío. La región completa está incluida en la cordillera oeste de Norte América. El sistema extensivo presente del rift está generalmente relacionado con los esfuerzos tectónicos a lo largo del límite suroeste de la placa de Norte América, donde existe desplazamiento lateral derecho (Baldrige et al., 1994a).

En contraste con el marco tectónico actual, la extensión inicial comenzó hace 30 Ma en el arco interior, durante la subducción de la placa de Farallón debajo de la placa de Norte América. Esta edad corresponde a aquella de la deposición más antigua de los sedimentos en cuencas de gran extensión, siendo este evento extensional diferente en las características y en la dirección de extensión a los sucesos extensionales posteriores.

La extensión a través de la cuenca y la provincia del rift Río Grande está superimpuesta sobre estructuras formadas durante el proceso compresional de la orogenia Laramide del Cretácico tardío al Terciario temprano, dando como resultado el levantamiento del basamento. El rift comprende una zona de deformación cortical formada

durante la orogenia Laramide (del Eoceno temprano, 50–40 Ma, en Nuevo México) y los eventos orogénicos del antecesor de las Montañas Rocallosas (Baldrige et al., 1994b).

IV.2.2. Marco Regional

El rift Río Grande se extiende como una serie de cuencas asimétricas interconectadas a partir de Leadville, Colorado, a Big Bend, Texas, y Chihuahua, México, a una distancia de más de 1,000 km (Figura IV.1). A partir del centro de Colorado, al sureste de Nuevo México, el rift ocupa parte del eje de un levantamiento continental extenso, de al menos 2,500 km de ancho y 1,300 km de largo, incluyendo la Meseta de Colorado y el oeste de Great Plains. La región superior de este levantamiento excede 4.2 km de elevación, y fue relacionado con la provincia tectónica del sureste de las Montañas Rocallosas.

La parte norte del rift, dispuesta a lo largo de la parte central de las montañas Alvarado, es una característica tectónica y fisiográfica distintiva que separa la Meseta de Colorado en la pendiente oeste de las montañas de Great Plains, parte del cratón de Norte América, en la pendiente este (Chapin y Seager, 1975; Cordell, 1978; Baldrige et al., 1983, 1984b; Olsen et al., 1987).

La parte sur del rift, que yace a lo largo del eje al sur de las montañas Alvarado y más al sur en el oeste de Texas y en el norte de México, es fisiográficamente similar a la cuenca y provincia adyacente en el sur de Nuevo México y en el norte de México. Esta porción del rift puede ser diferenciada de la cuenca y la provincia mayor por una variedad de características geológicas y geofísicas, incluyendo un flujo de calor mayor, fallas numerosas del Cuaternario, adelgazamiento cortical, y mayor tamaño y profundidad de las cuencas (Seager y Morgan, 1979; Sinno et al., 1986). Sin embargo, una característica más importante, es la posición de su eje con respecto las montañas Alvarado.

La zona de transición a lo largo de la margen sureste de la Meseta de Colorado está separada del “núcleo” menos deformado de la Meseta al noroeste por un arreglo volcánico lineal del Cenozoico tardío, en dirección noreste, denominado zona o alineamiento Jemez (Baldrige et al., 1984a).

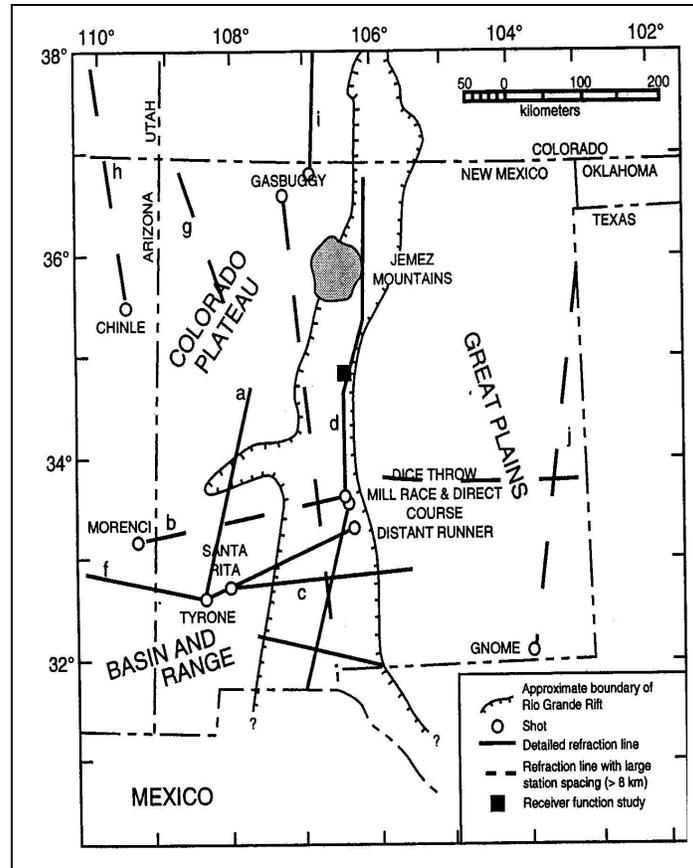


Figura IV.1. Localización de los perfiles de refracción realizados en el área del rift Río Grande (Figura tomada de Baldrige, et al., 1984b).

IV.2.3. Estudios geofísicos previos

Actualmente se realiza un experimento de tomografía sísmica profunda denominado LA RISTRA (Colorado Plateau/Rio Grande Rift Seismic Transec Experiment), el cual utiliza fuentes sísmicas naturales. El proyecto es coordinado entre New Mexico Tech, Nuevo México, Los Alamos National Laboratory, Dine College y la University of Texas at Austin. El objetivo principal de RISTRA es la generación de imágenes nítidas de las estructuras de la corteza continental profunda y del manto superior debajo de la Meseta de Colorado, el rift Río Grande y el suroeste de Great Plains mediante el procesamiento de señales sísmicas de terremotos a nivel mundial.

Los estudios de Wilson et al. (2004) mediante funciones receptor mostraron que el espesor cortical debajo de la Meseta Colorado es $\sim 45.6 \pm 1.1$ km. El adelgazamiento cortical debajo del rift Río Grande es simétrico con respecto al eje del rift; el espesor mínimo cortical se presenta debajo del mismo eje del rift ~ 35 km. La información adquirida por West et al. (2002) muestra una zona del manto de baja velocidad de ondas S y de alta temperatura cercana al rift Río Grande, extendiéndose a profundidades mayores de 200 km, dichos resultados son interpretados como una adelgazamiento cortical.

IV.2.3.1. Sísmica de refracción

La información adquirida por Baldrige et al. (1994b), mediante técnicas de refracción (Fig. IV.1), provee de un contexto general del adelgazamiento de la corteza continental en la región del rift Río Grande. Los perfiles en la parte oeste del centro de Nuevo México (a y b en la figura IV.1) fueron interpretados en un estudio integral con información gravimétrica por Schneider y Keller (1994). La interpretación muestra que la región que presenta adelgazamiento cortical asociada a la porción central del rift, es mayor que la expresión fisiográfica y que la zona de transición de la estructura cortical en los márgenes del rift es relativamente gradual (Adams y Keller, 1994). En la zona sur, los perfiles muestran buena correlación con las anomalías gravimétricas regionales y muestran una zona extensa que distingue al rift de la cuenca y de la provincia (Ramberg et al., 1978; Daggett et al., 1986). Al norte, en la región de Albuquerque, Santa Fe y las montañas Jemez (35°–36° N), los datos sísmicos se reducen a un perfil de refracción de baja resolución que se registró de la explosión nuclear GASBUGGY (Topozada y Sanford, 1976), a un perfil de refracción en el rift (Olsen et al., 1979) y a un estudio de funciones receptor en Albuquerque (Murphy, 1991). Estos resultados indican un adelgazamiento distintivo de la corteza debajo del rift (Fig. IV.2). En el segmento norte del rift, en las Montañas Jemez, no hay estudios previos de refracción.

Los estudios de refracción indican que la velocidad de las ondas P en el manto superior es aproximadamente 7.7 km/s. Los estudios sismológicos regionales en el norte de Nuevo México presentan una velocidad promedio del manto de aproximadamente 8.0 km/s (Baldrige et al., 1984b).

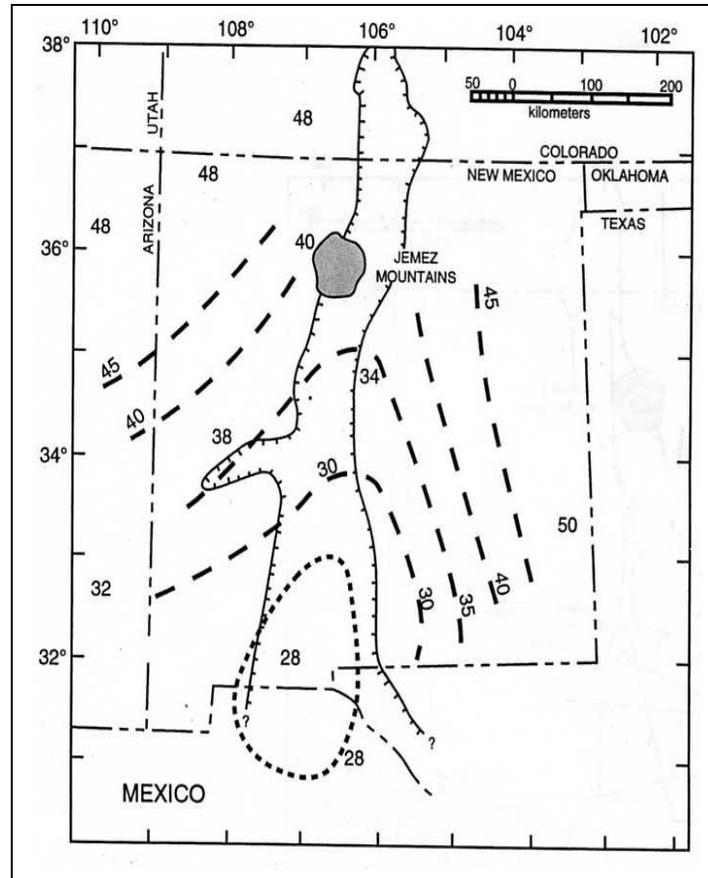


Figura IV.2. Mapa de contorno del espesor de la corteza continental en el área sur del rift Río Grande. Las líneas representan la profundidad al Moho, en kilómetros; el datum es el nivel del mar (Figura tomada de Baldrige, et al., 1984b).

IV.2.3.2. Perfiles de Reflexión

La compañía COCORP llevó a cabo estudios de sísmica de reflexión en la parte sur de la cuenca de Albuquerque–Belen (Brown et al., 1979, 1980). Se interpretó la anomalía del Moho, marcada por una reflexión discontinua a 11–12 s (tiempo de viaje doble), a una profundidad de 33–34 km que corresponde a la discontinuidad M mapeada por Olsen et al. (1979) a partir de la información de refracción. Un fuerte reflector localizado a 7 s se correlacionó con una cámara magmática a la mitad de la corteza descubierta con estudios sismológicos (Sanford et al., 1973, 1977; Rinehart et al., 1979).

Davis y Stoughton (1979), Kluth y Schaftenaar (1994), y Brister y Gries (1994) usaron datos sísmicos de reflexión adquiridos por AMOCO para determinar la estructura a profundidad de la cuenca de San Luis al sureste de Colorado. Keller et al. (1986) usaron

perfiles de la compañía Exxon para demostrar la extensión en el subsuelo del levantamiento creado por la orogenia Laramide y de algunas cuencas al sureste de Nuevo México.

La información de alta resolución proporcionada por diversas industrias petroleras en la cuenca Albuquerque–Belen, demostró que ésta consiste de dos subcuencas asimétricas separadas con un sentido estructural opuesto que fueron formadas por una falla normal listrica de bajo echado (Russell y Snelson, 1990, 1994).

IV.2.3.3. Estudios Gravimétricos

Los estudios de gravedad han sido utilizados para determinar la estructura del basamento, la ubicación de fallas de importancia y la estructura superior del manto del rift Río Grande.

La anomalía de Bouguer en el área del rift es compleja debido a la presencia de grandes variaciones en la elevación, que no están relacionadas genéticamente con el proceso del rift. Los cambios de elevación y algunas características corticales, como intrusiones terciarias, producen anomalías de aproximadamente 200 mGals. Las anomalías asociadas al rift son aquellas zonas de baja gravedad relacionadas con las cuencas (Cordell, 1978; Ramberg et al., 1978; Keller y Cordell 1984; Adams y Keller, 1994). La información gravimétrica concuerda con la expresión fisiográfica, mostrando una ampliación del rift en dirección Norte–Sur. Davis et al. (1993) interpretan un adelgazamiento de la litosfera a partir de un mínimo de gravedad de larga longitud de onda asociado con una extensa zona de baja velocidad sísmica en el manto superior.

IV.2.3.4. Estudios Aereomagnéticos

La base de datos aereomagnéticos en el área del rift Río Grande, provee información acerca de estructuras más antiguas. Los estudios realizados muestran una tendencia general al noroeste en las anomalías magnéticas al sur de Nuevo México, debido a las estructuras pre–rift del Precámbrico. Las fallas transformantes muestran una tendencia al noreste, debido al desplazamiento lateral (Baldrige et al., 1984b).

IV.2.3.5. Análisis Electromagnéticos

Los primeros estudios magnetoteléuricos (MT) en el rift Río Grande fueron realizados en 1970, en campañas de exploración geotérmica en las montañas Jemez por Schmucker (1964). No obstante, la información de baja calidad, demostró una anomalía de baja resistividad en la corteza baja a media.

Los estudios de MT más recientes confirman la existencia de un conductor presente en toda la extensión del rift en una latitud próxima a la de Santa Fe a una profundidad de 10 a 17 km (Jiracek et al., 1993).

IV.2.4. Cuenca Hagan, Vulcan Site

La zona de estudio, denominada Vulcan, se encuentra en la cuenca Hagan, formada por un bloque inclinado al este limitado por cuatro fallas normales: la falla La-Bajada al este; la falla de San Francisco al oeste; la falla Budaghers al norte y la falla Tanos de menor inclinación, ubicada al sur (Fig. IV.3). La columna estratigráfica está compuesta por el grupo Santa Fe Superior (UPS) del Cenozoico; el grupo Santa Fe Media (MSF), integrado por depósitos de cuenca de granos gruesos; y el grupo Santa Fe Inferior (LSF), compuesto por sedimentos parcialmente cementados. La mayor parte de las rocas de la MSF son arenas conglomeráticas y arenas limosas (Hawley, 2006). El grupo Santa Fe está subdividido en las formaciones Tesuque y Chamita y en varios miembros que reflejan los depósitos mezclados de abanicos aluviales de la cuenca La Española. El grupo Santa Fe está parcialmente cubierto por grava de abanicos aluviales y depósitos lacustres del Plioceno al Holoceno (formación Ancha y Puyé). En el área de estudio, el grupo Santa Fe está comprendido únicamente por la formación Tesuque. En el Anexo B se muestra la carta estratigráfica detallada de Nuevo México.

Las unidades que subyacen la formación Santa Fe incluyen la formación Espinazo del Terciario, Galisteo y Diamond Tail, así como formaciones de gran espesor del Cretácico, Jurásico y Triásico. Los tipos de roca en las unidades del Mesozoico incluyen areniscas, limolitas y lutitas terrígenas y marinas (Anexo C).

El fallamiento normal en esta zona es parte del proceso de extensión en la concavidad estructural del rift Río Grande. La actividad duradera en la falla La-Bajada ha causado una depresión en el margen este de la cuenca de Hagan, resultando en la exposición de las unidades con echado hacia el Este. El análisis de los perfiles de reflexión de la compañía Transocean muestra que las unidades subyacentes al grupo Santa Fe poseen un carácter estructural complejo que involucra un plegamiento en la vecindad del área Vulcan. La estratigrafía había sido interpretada previamente con una inclinación regional al este, así los depósitos de relleno del grupo Santa Fe experimentan un aumento de espesor en dirección Este (Rhodes, 2006).

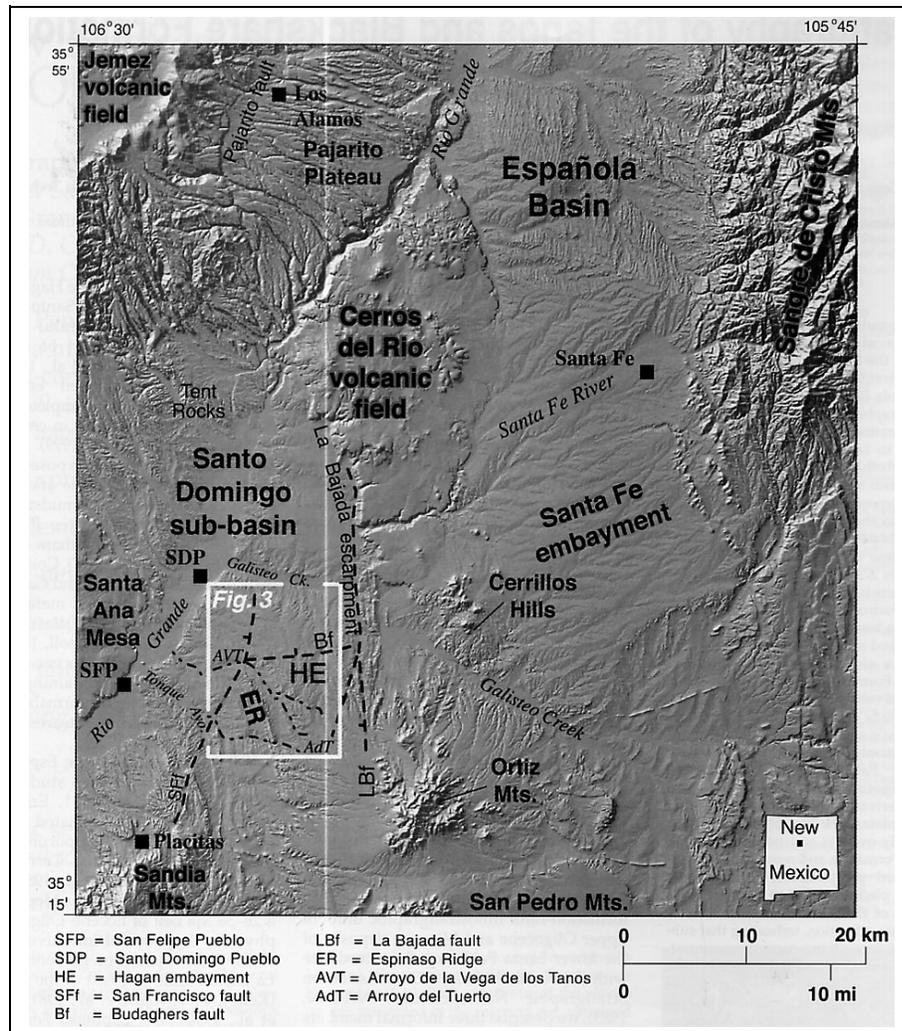


Figura IV.3. Ubicación de la subcuenca de Santo Domingo (cuenca de Albuquerque), cuenca de Hagan, Montañas Ortiz, San Felipe Pueblo y otras características del norte de la cuenca de Albuquerque y el sur de la cuenca de Española. La cuenca Hagan está limitada por las fallas San Francisco, La-Bajada, Budaghers y Tanos (Figura tomada de Conell et.al, 2002).

IV.3. Marco Teórico

Los métodos sísmicos están basados en la teoría de la elasticidad, la cual trata con las deformaciones que desaparecen cuando el esfuerzo aplicado es removido totalmente. Para deformaciones pequeñas, la ley de Hooke es válida y éstas son proporcionales al esfuerzo. Las propiedades de esfuerzo-deformación en medios isótropos son determinadas por los módulos elásticos: módulo volumétrico (k); constantes de Lamé: rigidez (μ) y lambda (λ); módulo de Young (E) y coeficiente de Poisson (σ).

Matemáticamente, la ecuación de onda establece la dependencia espacial y temporal de una perturbación que puede propagarse como tal. Dicha ecuación predice la existencia de ondas de cuerpo P y S . Las partículas perturbadas por una onda P , longitudinal o de compresión oscilan en la dirección de propagación de la onda. Las partículas perturbadas por una onda S , se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación.

Existen diversas soluciones de la ecuación de onda escalar: soluciones sinusoidales y para ondas no periódicas. La ecuación de onda escalar no contempla la conversión de modos, por lo que en la práctica, la adquisición y procesamiento de datos sísmicos es completamente acústico.

Los parámetros característicos de las rocas, que se determinan con los métodos sísmicos son la velocidad de las ondas P y S , el coeficiente de reflexión y la densidad. La variación de estas propiedades en la roca puede ser relacionada con un límite entre dos estratos litológicos, con una falla o una zona de fracturas, con un cambio en el fluido intersticial, con la presión de poro, etc.

IV.3.1. El método sísmico de reflexión

La técnica de reflexión se basa en la primera Ley de Snell que establece que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión. Cuando un frente de onda llega a un contacto entre dos capas de diferentes velocidades, parte de la energía es reflejada propagándose en el medio incidente.

El método de prospección sísmica determina de manera indirecta las características estructurales de capas estratificadas, de propiedades físicas contrastantes, a partir de los tiempos registrados en la superficie y de las trayectorias de movimientos ondulatorios que se propagan en el subsuelo, las cuales se generan de forma controlada en la superficie.

En el esquema general del método se identifican tres zonas importantes en la adquisición de la información necesaria para identificar las características de las capas del subsuelo.

De la figura IV.4, se tiene:

1) Mecanismo de fuente en donde se generan las ondas sísmicas mediante explosivos o sistemas mecánicos. Se tiene algún control sobre las características de la onda que se inyecta al subsuelo.

2) Zona del subsuelo en donde se propagan las ondas sísmicas, las que pueden regresar a la superficie en trayectorias reflejadas o refractadas, en interfases definidas por el contraste de propiedades elásticas. El comportamiento de las trayectorias depende de la distribución de propiedades físicas de los materiales que constituyen el paquete de

sedimentos, y puede ser tan complejo como lo sean las características estructurales y morfológicas.

3) Sistema de detección y registro de los eventos sísmicos que permiten registrar el componente vertical de movimiento de ondas *P*.



Figura IV.4. Zonas del subsuelo en la adquisición de información (Modificada de Del Valle, 2005).

La adquisición y procesamiento de datos sísmicos de reflexión se basa en la técnica del punto medio común (CMP, por sus siglas en inglés) propuesto por Harry Mayne, 1956 (Fig. IV.5). Puede observarse que es posible obtener reflejos en el mismo CMP desde diferentes fuentes y detectores que se encuentran en posiciones simétricas a la vertical que pasa por el punto de reflejo común, que en la superficie identifica el punto medio del tendido. De la figura IV.5 se tiene una multiplicidad de 300%.

En la práctica no interesa la multiplicidad en un solo punto sino en todo el tendido, que permita una adecuada calidad de los eventos reflejados a lo largo de una interfase, lo que requiere observar y registrar el mismo tendido con puntos de impacto desde diferentes posiciones, siendo indispensable llevar una relación de los desplazamientos de la fuente y los detectores que corresponden en cada caso a los puntos comunes de reflejo en la capa, para que posteriormente se puedan sumar los eventos registrados en cada CMP.

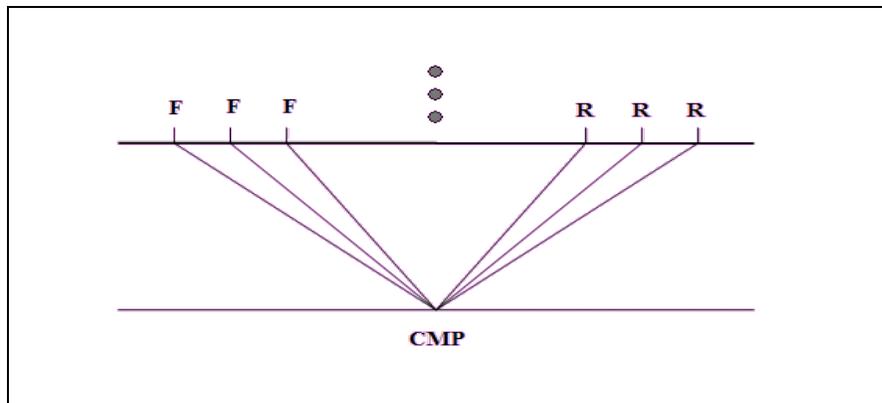


Figura IV.5. Esquema ideal del tendido de fuente y receptor para obtener reflejos del mismo punto. Las trazas que poseen un mismo CMP serán procesadas juntas como una familia. Los círculos grises indican el número de trazas (fold o multiplicidad) que será sumado en el apilamiento, después de la corrección NMO (Modificada de Liner, 1999).

IV.4. Adquisición

El proceso de adquisición de la línea sísmica de reflexión SAGE 2006 en el área de materiales Vulcan, fue registrada con un equipo StrataView de Geometrics de 48 canales; el tiempo de grabación fue de 12 s en conjunto con un *taper* de 0.25 ms. El intervalo de muestreo fue de 1 ms.

La fuente usada para tal fin fue un Vibroseis AHV-IV, el espaciamiento entre puntos de tiro fue de 20 m y el barrido consistió en un sweep o señal de 6–100 Hz. El equipo de control utilizado consistió en el sistema de control de vibración triaxial Vib Pro 3X.

Los receptores constituían un grupo de geófonos de 6 elementos, registrando a 4.5 Hz y un intervalo espacial entre geófonos de 3 m. El intervalo de grupo fue de 20 m. El registro comenzó en la bandera 101 y terminó en la 161. A fin de reducir el ruido aleatorio causado por las ondas superficiales, en cada par fuente-receptor, existió una brecha no activa de 7.5 canales o aproximadamente 150 m entre la fuente y el primer canal activado. Con el objeto de incrementar la relación señal/ruido (S/N), la fuente se desplazó de norte a sur y viceversa. La ubicación de la línea de reflexión sísmica se muestra en la figura IV.6.

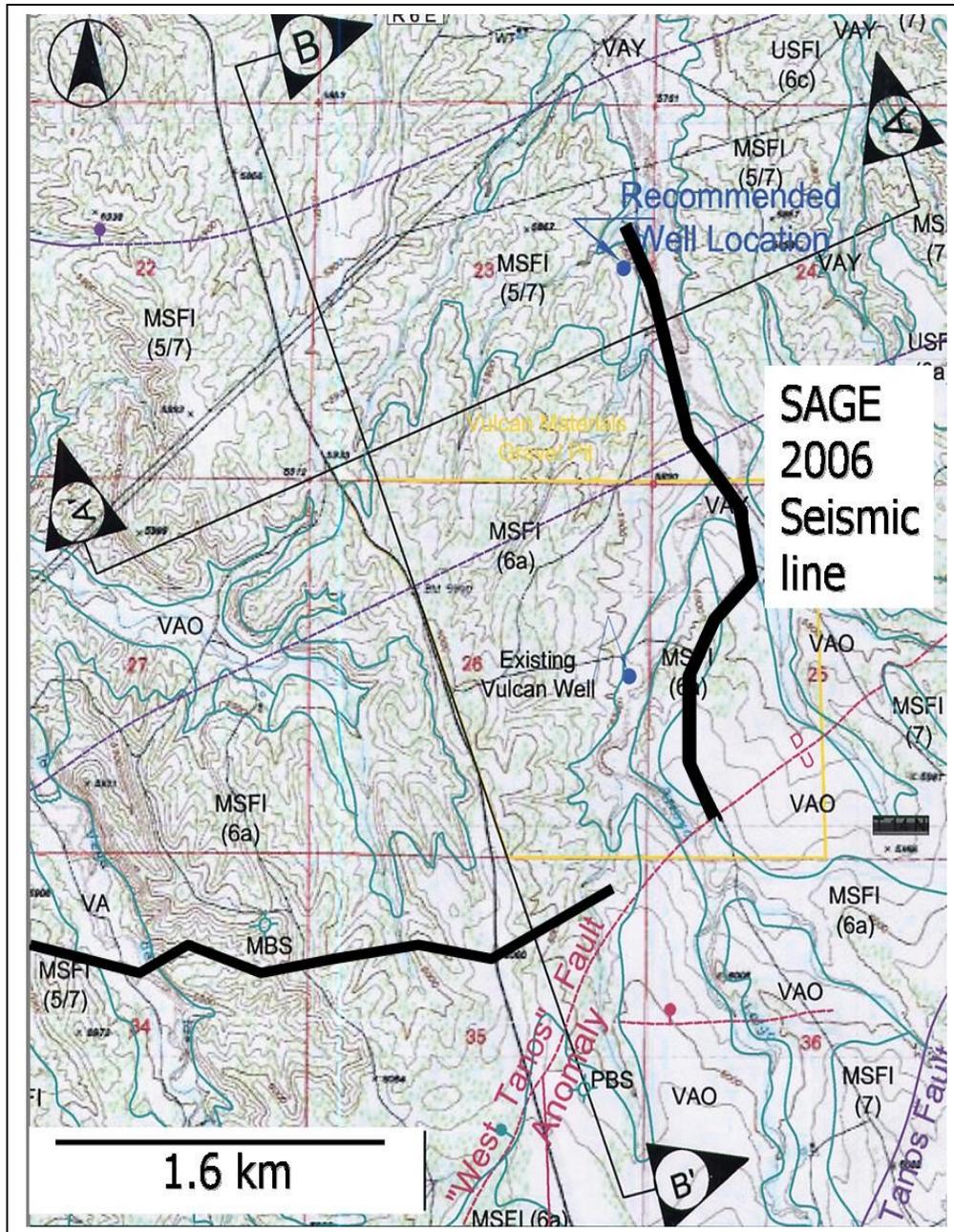


Figura IV.6. Ubicación geográfica del perfil sísmico de reflexión. La línea sísmica adquirida en SAGE 2006 se muestra en negro en la parte superior derecha.

IV. 5. Procesamiento

A fin de obtener una imagen clara del subsuelo es necesario aplicar ciertos procesos de corrección y reducción a los datos recolectados y registrados por CMP.

El procesamiento consiste en la elección y posterior aplicación de los parámetros y algoritmos de tratamiento adecuados a los datos sísmicos adquiridos en el campo con el fin de obtener secciones sísmicas de calidad. El objetivo fundamental de todo procesado multiseñal es aislar en los registros las reflexiones de los otros eventos sísmicos que se superponen a ellas (ruido ambiental, onda de aire, etc.). Actualmente, debido al gran incremento del volumen de datos (mayor capacidad instrumental) y al desarrollo de nuevos algoritmos (mayor potencia de cálculo), el dominio de las técnicas de procesado es el apilamiento básico de los datos sísmicos.

El software utilizado para el procesamiento sísmico fue SPW (Seismic Processing Workshop) de Parallel Geoscience. Por cuestiones de logística, tiempo y conocimiento, ningún proceso de migración fue aplicado a la línea sísmica en el Área Vulcan como parte de SAGE 2006.

IV.5.1. Secuencia de Procesamiento

Desde el momento en que los datos de campo (registros sísmicos) son introducidos en una estación de trabajo, la secuencia de procesado comienza su desarrollo, debido al gran volumen de datos, el procesado se realiza normalmente en estaciones de trabajo. Según Yilmaz (2001), hay tres etapas en el procesado de datos: 1) La etapa de pre-apilamiento (*pre-stack*); en donde una de las operaciones más significativas es la deconvolución, 2) la etapa de apilamiento (*stack*), el análisis de velocidad es el punto fundamental en esta etapa y 3) la etapa de post-apilamiento (*post-stack*); siendo la migración uno de los algoritmos finales que se aplican.

En cada una de estas etapas intervienen una serie de tratamientos fijos, mientras que hay otros algoritmos que se pueden aplicar en cualquier momento del procesado (filtrado, control de amplitud, etc.). En la figura IV.7 se presenta el esquema de la secuencia básica de procesado empleada.

IV.5.1 Etapa pre – apilamiento

I. Registro de campo

Los datos de campo son grabados en diferentes tipos de formatos, que deben ser compatibles con el software utilizado. Desde 1975 la grabación en cintas de campo de la

información sísmica se realiza en el formato de uso extensivo SEG-Y, propuesto por la *Society of Exploration Geophysicists*.

La grabación realizada consistió en registros de fuente común en formato SEG-Y.

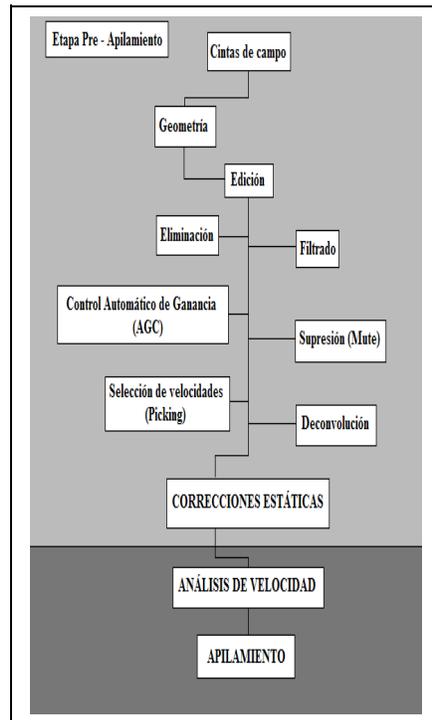


Figura IV. 7. *Secuencia básica de procesamiento de la línea sísmica SAGE 2006. Los tonos en gris representan las etapas pre-apilamiento y apilamiento, respectivamente. Según Yilmaz (2001).*

II. Definición y establecimiento de la geometría

En primer lugar, es esencial definir correctamente las coordenadas (X , Y , Z) de cada una de las estaciones (fuentes y receptores), así como algunas otras características como el *offset* y el azimuth. Algunos de estos datos deben ser introducidos manualmente, mientras que otros ya se encuentran en los encabezados de los ficheros de cada registro sísmico.

Una vez definida la geometría de la línea sísmica se procede a su implantación de manera que cada traza de cada uno de los tiros de campo quede perfectamente ubicada.

III. Edición de los registros

A continuación se presenta una descripción de las etapas más significativas de este paso. La figura IV.8 muestra los datos adquiridos en campo ordenados por CMP.

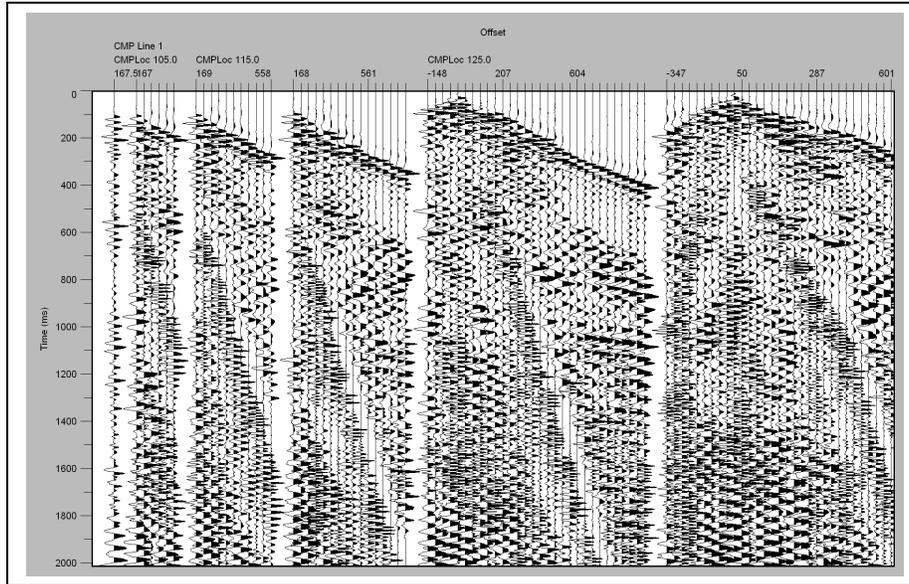


Figura IV.8. Registro de campo ordenado por CMP. Línea sísmica SAGE 2006. El eje vertical corresponde al tiempo en ms. Las trazas muestran la variación con el offset.

Eliminación de trazas

Se excluyen, total o parcialmente, aquellas trazas que presentan ruido o malas conexiones. En los datos registrados, la razón S/N fue muy baja dado que el contenido de ruido ambiental era alto. El malfuncionamiento del geófono implica la pérdida de una traza.

MUTE o supresión

Las señales de primeras llegadas correspondientes a las refracciones son eliminadas. La figura IV.9 muestra este proceso para los datos sísmicos de este trabajo.

IV. Lecturas de las primeras llegadas

En el estudio sísmico de reflexión se emplean las lecturas de las primeras llegadas para el cálculo de las correcciones estáticas. En el caso específico de la sísmica superficial realizada en este trabajo, el conjunto de estas lecturas también se utilizó para calcular el campo de velocidades de refracción y así obtener un primer modelo del subsuelo.

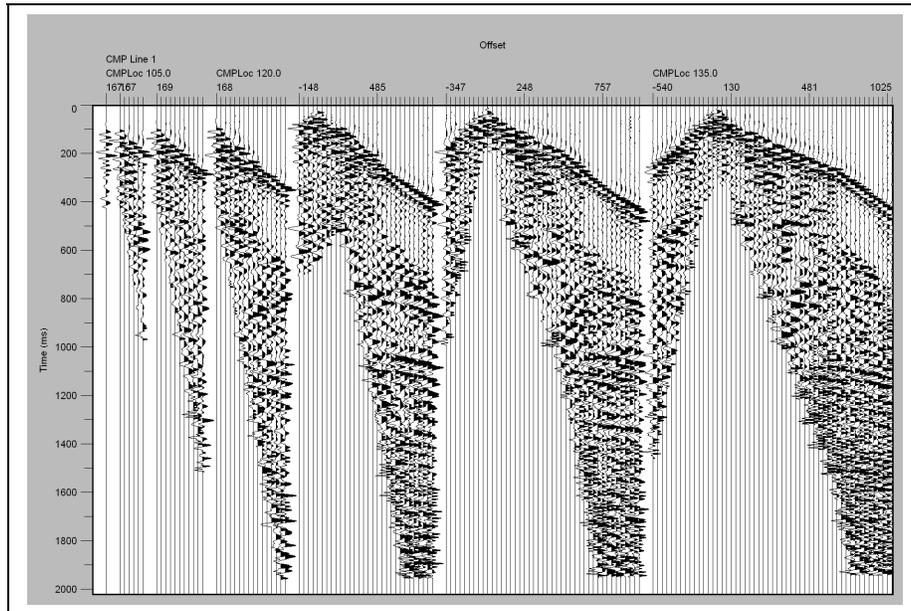


Figura. IV.9. *Proceso de MUTE o supresión, donde las trazas con una relación S/R muy baja son eliminadas. El eje vertical corresponde al tiempo en ms en un registro de CMP. El vacío en las trazas representa el ruido coherente.*

IV.5.1.2 Análisis espectral

Los análisis espectrales de los registros se utilizan para elegir los tipos de filtro y sus parámetros.

El objetivo del filtrado es eliminar el ruido y resaltar los eventos de reflexión. Los filtros, por lo general, operan sobre las bases de la frecuencia y la amplitud de las trazas, aunque también se pueden usar filtros que actúan sobre su coherencia o su longitud de onda.

En el procesamiento de la línea SAGE 2006, se aplicó un filtro pasa bandas para suprimir aquellas frecuencias demasiado bajas y demasiado altas. Éste es uno de los filtros más empleados, cuya finalidad es dejar pasar la señal en una banda limitada de frecuencias de manera que se aceptan las frecuencias que contienen energía de reflexión coherente y se rechazan aquellas frecuencias asociadas al ruido sísmico (ondas superficiales, aérea, ruido ambiental, etc.).

IV.5.1.3 Correcciones estáticas

En sísmica superficial, las frecuencias generadas son mucho más elevadas que las observadas en sísmica profunda, por tanto el tiempo de viaje a través de la capa meteorizada puede cubrir varios ciclos del tren de ondas sísmico. Normalmente esta primera capa está caracterizada por ser altamente heterogénea, por poseer bajas velocidades y por presentar un relieve irregular. Estas características influyen en las trayectorias de los rayos de manera que se hace preciso corregirlas a fin de obtener el buen emplazamiento, en profundidad, de los reflectores de interés.

El principal objetivo es ajustar el tiempo de viaje, al que se observaría si la fuente y los receptores estuvieran ubicados al mismo nivel, sobre el plano de referencia (*datum*) por debajo de la capa meteorizada (generalmente constituida por rocas y materiales no consolidados, de forma que su espesor varía desde cero hasta unos cuantos metros). Hay dos formas de determinar el espesor y la velocidad de la capa meteorizada, midiendo directamente a través de un tiro de verificación (*check-shot*) o, lo más usual en sísmica superficial y la aplicada en SAGE, calculándolos mediante refracciones estáticas. Los tiempos de primeras llegadas atribuidos a la capa meteorizada definen las curvas Distancia-Tiempo a partir de las cuales se calcula la profundidad y la velocidad de esta primera superficie. Una vez caracterizada esta superficie, se elige el nivel del datum y se calculan los intervalos de tiempo que deben corregirse para cada rayo de la línea sísmica.

IV.5.1.4 Correcciones de Amplitud

La amplitud de los datos sísmicos varía dentro de un amplio rango debido al efecto que sobre ella tienen los coeficientes de reflexión y el decaimiento de la energía con la distancia (divergencia esférica); sin mencionar las posibles pérdidas en la transmisión de los datos o la atenuación intrínseca. Para compensar todos estos factores se aplican varios tipos de algoritmos, basados cada uno de ellos en criterios específicos. Entre ellos los más usados en el procesamiento de la línea sísmica SAGE 2006 fueron:

I. Control de ganancia automática (Automatic Gain Control, AGC)

Es una de las funciones de control de ganancia más utilizadas. Se obtiene calculando el valor medio (o promedio absoluto) de la amplitud dentro de una ventana específica de tiempo, luego se obtiene la relación entre el valor RMS deseado y el promedio antes calculado. Este escalar es asignado a la función de ganancia la cual se aplica a cada muestra o traza dentro de la ventana temporal elegida.

II. Corrección de amplitud por divergencia esférica

El objetivo de esta corrección es reconstruir las amplitudes debido a la absorción de los materiales y al decaimiento del frente de ondas con la distancia.

IV.5.1.5 Deconvolución

En muchos problemas de propagación de onda, la respuesta obtenida es una forma de onda conocida, es estos casos es deseable conocer la respuesta del sistema. En los estudios de reflexión, se desea conocer las velocidades y los coeficientes de reflexión, así de conocer la respuesta de la Tierra, podrían relacionarse con la estructura de la misma. El proceso de determinar la respuesta sísmica de la Tierra es llamado deconvolución o filtro inverso. Este operador comprime la ondícula, por lo que mejora la resolución vertical y la forma de lo datos sísmicos.

I. Deconvolución impulsiva

El objetivo es la contracción de ondículas complicadas de larga duración en un impulso o en al menos una ondícula de corta duración. Este filtro es aplicado al sismograma y cada ondícula es contraída a una forma mas compacta. Esto amplía el ancho de banda de los datos. La figura IV.10 muestra la aplicación de la deconvolución en uno de los registros de fuente común.

IV.5.2 Etapa de Apilamiento

Una vez editados los tiros de campos, se procedió a realizar un reordenamiento de las trazas sísmicas en conjuntos de punto reflector común o CMP (*Common MidPoint*). Este ordenamiento consiste en agrupar las trazas que por geometría pertenecen a un mismo punto medio entre una fuente y un receptor determinado. Se deduce, por construcción, que el espaciado entre CMP es la mitad el espaciado entre geófonos y que las reflexiones en estos conjuntos poseen también trayectorias hiperbólicas.

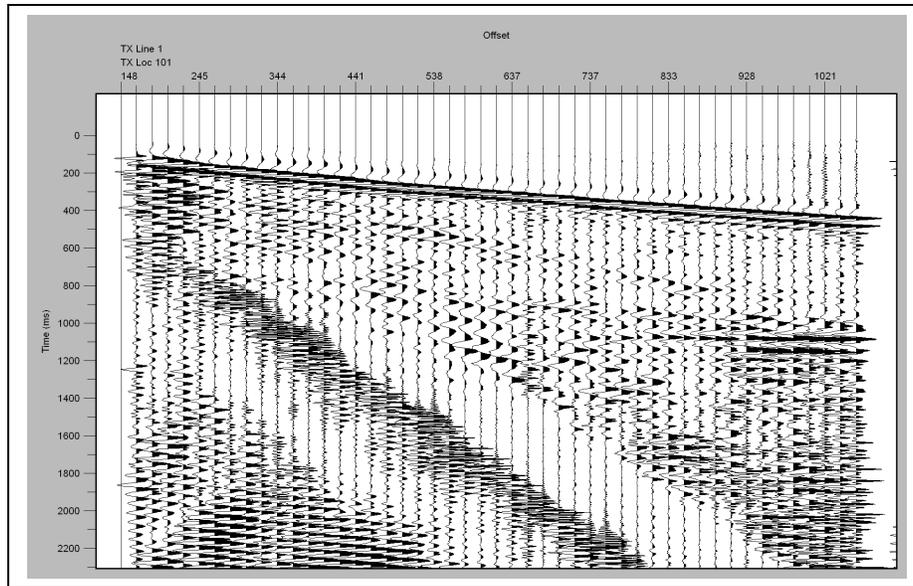


Figura IV. 10. *Deconvolución impulsiva. El registro de CMP muestra una ondícula más comprimida. El eje vertical representa el tiempo doble de viaje en ms y el eje horizontal es la distancia fuente-receptor (offset) en m.*

IV.5.2.1 Correcciones Dinámicas (NMO, Normal Move Out)

En este nuevo orden, todas las trazas pertenecientes a un mismo punto reflector dan cuenta de las mismas características reflectivas y por tanto, pueden sumarse para obtener una traza resultante (traza CMP) que posee mejor relación S/R. Tal es el objeto de la ordenación en conjuntos CMP. Pero para ello, antes del apilamiento (o suma de las trazas CMP) la trayectoria hiperbólica de los eventos de reflexión debe ser transformada, en el eje del tiempo, en una línea horizontal (reducción a *offset* cero) de manera que todas las trazas al ser sumadas estarán alineadas. A este paso se le conoce como corrección NMO (*Normal Move Out*) y la forma de conseguir dicha alineación es mediante la asignación de la velocidad de la trayectoria de reflexión.

IV.5.2.2 Análisis de velocidad

En función de proveer una relación señal/ruido mejorada, la sísmica de cobertura multicanal requiere información acertada sobre la velocidad del subsuelo, la cual es obtenida mediante un análisis de velocidad. Este proceso se realiza sobre conjuntos o grupos de conjuntos de CMP determinados. El resultado del análisis es un campo de velocidades que se usará en el apilamiento para obtener la sección sísmica. Cuando hay poca precisión en el establecimiento de las velocidades de reflexión, la calidad de la sección apilada puede degradarse, ya que las reflexiones no se suman coherentemente.

De manera integral se realizó para los datos adquiridos en la línea sísmica SAGE 2006, un apilamiento de velocidad constante (CVS, por sus siglas en inglés), aplicando el modelo de velocidades obtenido a partir del análisis de CVS, T^2-X^2 , información de refracción y el apilamiento de CMP.

La figura IV.11 muestra el flujo seguido en el proceso de NMO en conjunto con el análisis de velocidad.

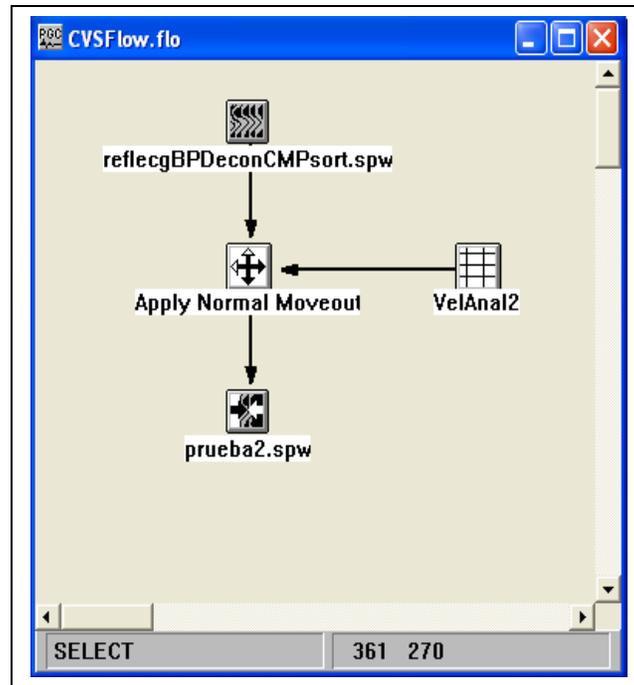


Figura IV. 11. Flujo de NMO aplicado a los datos editados y ordenados por CMP. El módulo superior indica la entrada de los datos sísmicos editados; el módulo central indica la aplicación de la corrección NMO; VelAnal2 simboliza el análisis de velocidad necesario para el establecimiento correcto de la velocidad RMS; el módulo inferior es la salida de los procesos aplicados.

IV.5.2.3 Apilamiento

Con los resultados del análisis de velocidad, y una vez aplicadas las correcciones NMO, se procedió, mediante la suma, a obtener la sección sísmica. Así pues, una sección sísmica está formada por todas las trazas CDP y representa una imagen de los reflectores presentes en el subsuelo de *offset* cero y modo tiempo doble.

En la figura IV.12 se muestra la sección apilada final, adquirida en el estudio sísmico en el área Vulcan, en el programa de campo SAGE 2006. El modelo de velocidad estimado y el análisis de refracción más exacto permitieron la conversión a profundidad mostrado en la figura IV.13.

IV.6. Interpretación

A partir de la imagen sísmica en profundidad fue posible establecer una correlación indirecta con los perfiles sísmicos disponibles previos a la línea SAGE 2006, descritos en la Sección IV.2.3. Así mismo la interpretación fue restringida con los datos de pozo disponibles.

Los mapas geológicos disponibles del área Vulcan (véase Anexo C) fueron utilizados para definir la extensión y el echado de las unidades. Con esta información se estimó que el espesor de las unidades cretácicas ubicadas al oeste del área de interés, es cerca de 1000 m.

La interpretación sismoestratigráfica consistió en definir los límites de las secuencias deposicionales mediante los eventos geológicos característicos, tales como terminación de estratos, vacíos erosionales y disconformidades.

De esta forma, la información sísmica recolectada muestra que el espesor del grupo Santa Fe es aparentemente de 400 m; las unidades Espinazo y Galisteo, conjuntamente, poseen un espesor de más de 500 m; aquellas unidades litoestratigráficas del Cretácico tienen un espesor cercano a 1000 m; mientras que las formaciones del Jurásico y Triásico son superiores a los 700 m.

El espesor estimado de la unidad del Cretácico concuerda con el espesor calculado a partir de los mapas geológicos así como con la información disponible de pozos. Según Hawley (2006), el espesor neto del grupo Santa Fe es mayor a 900 m en el área Vulcan. La razón para tal diferencia puede deberse a que las secciones geológicas construidas por Hawley no están alineadas perfectamente con el perfil sísmico. La figura IV.14 muestra una la sección geológica del área Vulcan con la ubicación recomendada para el nuevo pozo de agua del reporte de Hawley (2006), en la que se aprecia la discrepancia de espesores para el grupo Santa Fe, sección BB' en la figura IV.6. El espesor de la unidad Santa Fe calculado a partir de datos sísmicos concuerda con el calculado con el estudio electromagnético transitorio (TDEM) en la zona (véase Capítulo V).

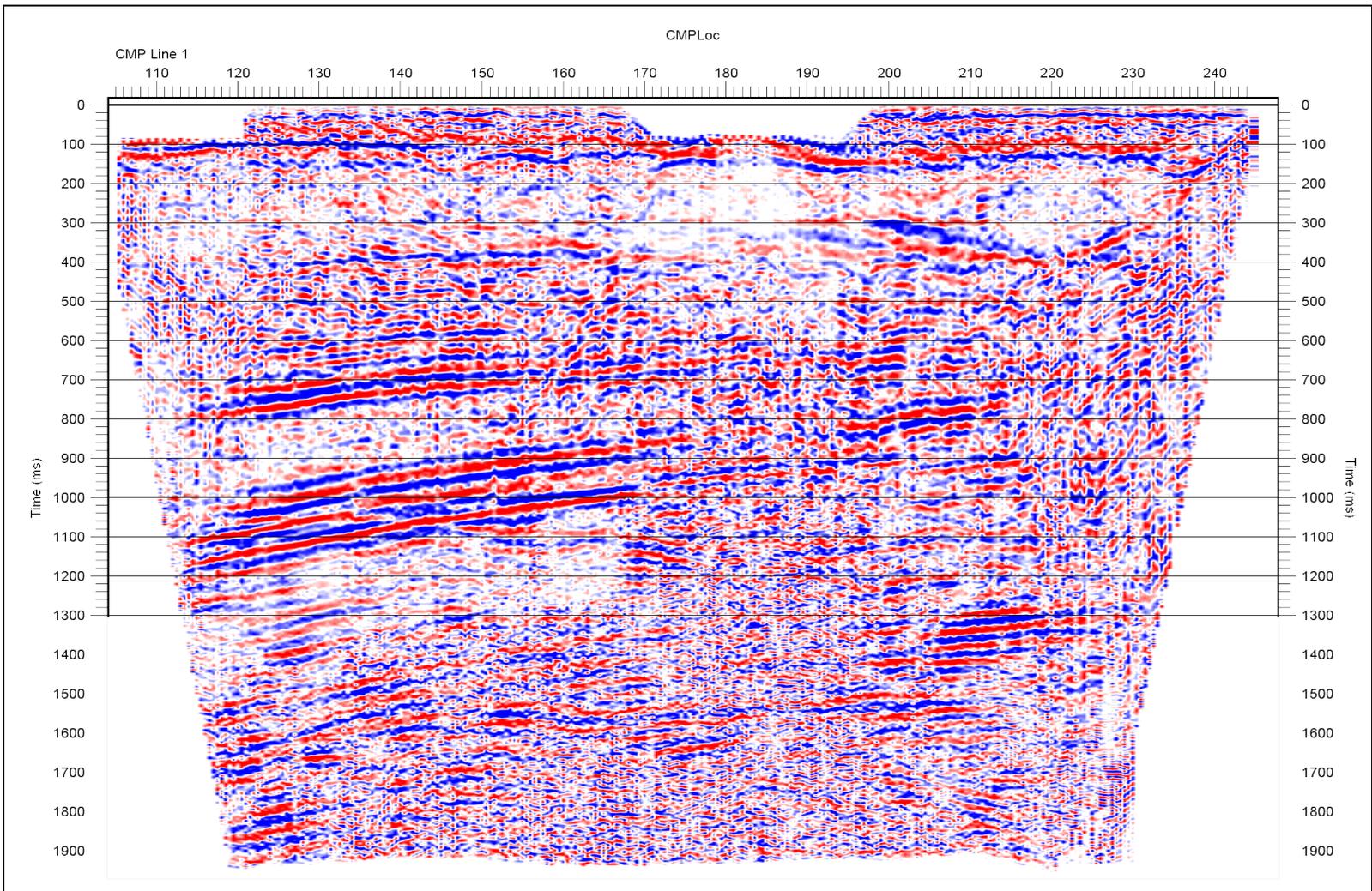


Figura IV.12. Sección sísmica en tiempo.

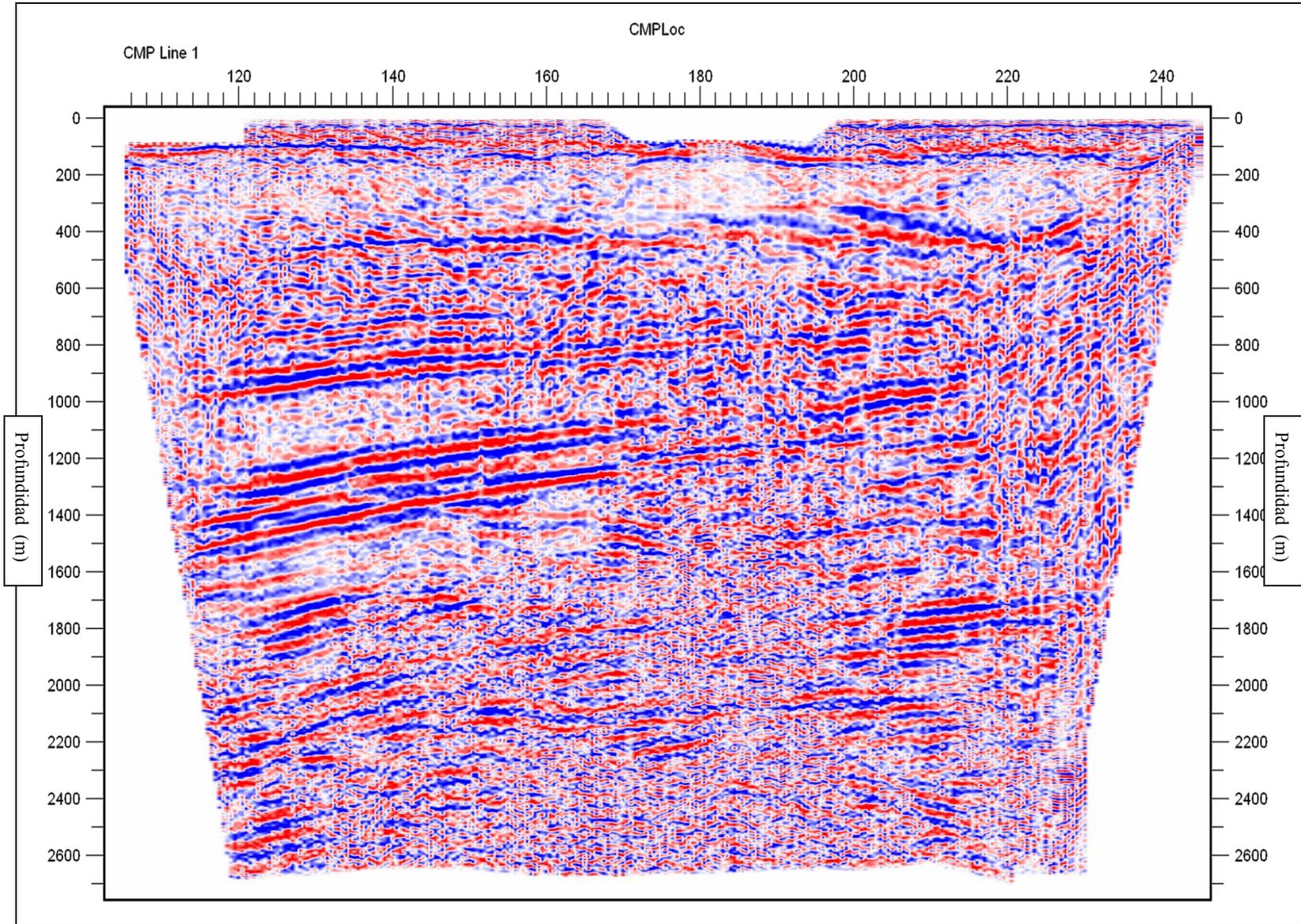


Figura IV.13. *Sección sísmica en profundidad.*

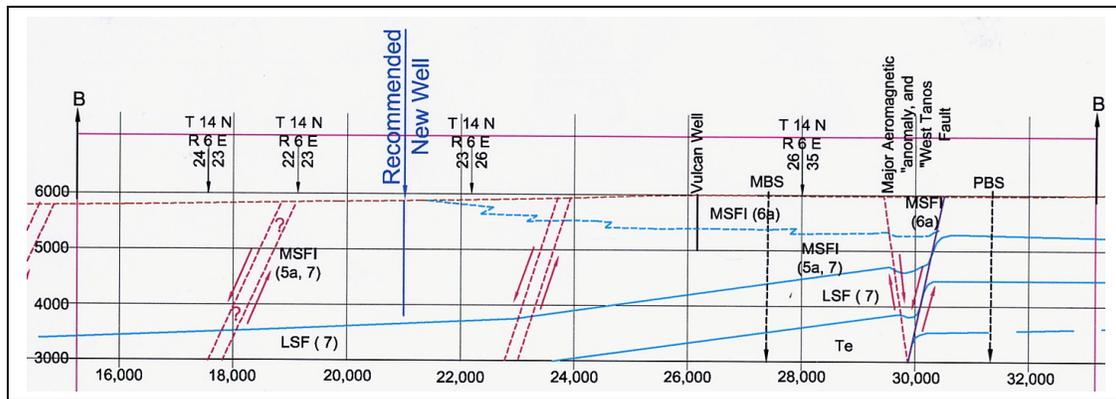


Figura IV.14. Sección geológica BB' del reporte hidrogeológico de Hawley (2006).

El reflector continuo localizado a una profundidad de 100 m es interpretado como el nivel del manto freático debido a que el Grupo Santa Fe no posee reflectores intensos y continuos en los niveles someros (Rhodes, 2006). El Grupo Santa Fe fue depositado en un ambiente de abanico aluvial por lo que es poco probable que contenga reflectores horizontales y continuos.

El perfil sísmico es coherente y concuerda con los estudios de reflexión realizados por industrias tales como Transocean, el cual muestra que la estratigrafía debajo del grupo Santa Fe es más compleja que las interpretaciones realizadas anteriormente.

La profundidad máxima registrada fue de 2700 m o 1900 ms, así la profundidad del basamento en el área Vulcan es próxima a 2600 m.

La figura IV.15 muestra el resultado final de la interpretación.

IV.7. Conclusiones particulares

La imagen sísmica final permitió una correlación con los registros de pozo, así como con los datos de electromagnéticos de TEM. En el área Vulcan se tiene una serie de reflectores fuertes asociados a los límites de cuenca, por lo que la interpretación sismoestratigráfica resultó de gran valor para definir la columna estratigráfica local.

El breve tiempo de procesamiento y análisis no permitió una aproximación confiable de las velocidades de intervalo, por lo que es necesario realizar estudios más detallados con el objeto de refinar la conversión a profundidad.

Debido al carácter inherente del método sísmico de reflexión, los reflectores someros muestran mayor resolución que aquellos más profundos debido a la atenuación de las frecuencias altas.

Las unidades mesozoicas que subyacen al grupo Santa Fe poseen un gran potencial de imagen en estudios sísmicos de reflexión.

Los espesores de las distintas unidades geológicas presentes, pueden ser estimados a partir de información de pozo, mapas geológicos y del análisis de la conversión a profundidad de los datos sísmicos, no obstante tal interpretación no es completamente confiable. La variación topográfica en el área causa un cambio aparente en el espesor de las unidades, debido a la inclinación de las mismas. El uso de registros geofísicos de pozo es útil para establecer la columna estratigráfica, sin embargo, debido a la diferencia en posición entre el perfil y los pozos analizados, se debe de asumir continuidad lateral, a fin de correlacionar los registros con la línea sísmica.

Con el fin de obtener un conocimiento más profundo y confiable de la zona suroeste de la cuenca la Española, es necesario realizar estudios más detallados que integren la información geológica y geofísica, permitiendo modelos controlados y restringidos por parámetros conocidos y confiables.

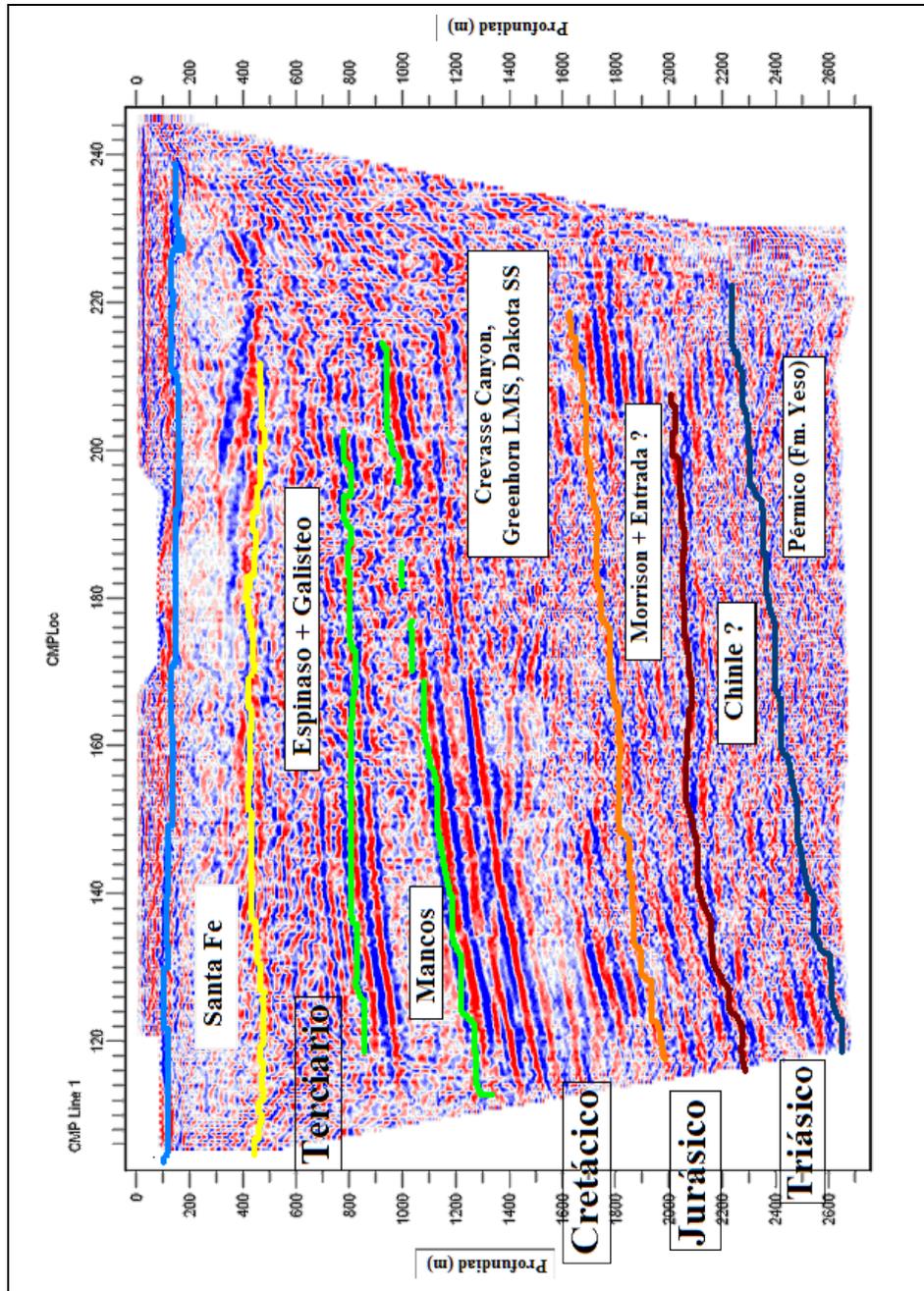


Figura IV.15. Interpretación final de la línea sísmica SAGE 2006. El horizonte más somero representa la cima del grupo Santa Fe superior. Las formaciones Espinaso y Galisteo sobreyacen a las unidades cretácicas. El reflector ubicado a 900 m (en verde) representa el límite Cretácico-Terciario, por debajo del mismo se encuentran las formaciones Mancos, Greenhorn y Dakota del cretácico. A cerca de 2000 m se encuentra la cima de la formación Morrison del Jurásico superior, mientras que el horizonte marrón a 2300 m marca la discontinuidad entre el periodo Triásico y Jurásico. El grupo Chinle se encuentra limitado por discordancias tanto en la cima como en la base. La formación Yeso es la más antigua (cerca de 2600 m) marcando la profundidad del basamento.

V. Prospección Electromagnética

V.1. Objetivos

En estudios conjuntos realizados durante SAGE 2006, se encuentran los levantamientos electromagnéticos realizados de manera paralela al estudio de la cuenca La Española. Los levantamientos descritos son de carácter hidrogeológico y arqueológico.

En conjunto con los estudios previos, se realizó el procesamiento, modelado e interpretación de los datos recolectados en sondeos electromagnéticos transitorios, TEM, en la Compañía de Materiales Vulcan, Santo Domingo, Nuevo México, a lo largo de un perfil conectado a un pozo de agua existente. Los estudios de resistividad eléctrica de la superficie y de muestras de laboratorio del norte de Nuevo México de LANL permitieron la correlación con los datos TEM adquiridos. Los registros geofísicos del pozo presente permitieron restringir la interpretación geológica. El modelo geológico definirá el nivel del manto freático. Mediante el uso de la ecuación de Archie se estimarán las características y la calidad del agua.

Además existió otra parte de investigación en arqueología para lo cual se hicieron estudios de refracción sísmica, electromagnéticos, magnetométricos y de GPR, del que desarrollaremos aquí especialmente. El objetivo principal fue ubicar con exactitud las estructuras de las paredes del antiguo pueblo pre-hispánico, por lo que se usó un GPS de gran resolución lateral y de altitud, para finalmente poder llevar un programa de excavación que no hiciera daños a las estructuras.

V.2. Estudio Electromagnético Transitorio (TDEM)

El área de investigación llamada Vulcan se encuentra ubicada dentro de la subcuenca Hagan al Este de la cuenca de Santo Domingo, que a su vez forma parte de la provincia tectonoestratigráfica del rift Río Grande al noreste de la cuenca de Albuquerque. La cuenca de Hagan está formada por un bloque inclinado hacia el Este, creando medio graben entre el Norte de las montañas Sandia y al Este de las montañas Cuchillo de San Francisco y está limitado por la zona de fallas normales Rosario-La bajada y por el levantamiento de Cerrillos y Mesita de Juan López al Este. La subcuenca de Hagan forma parte de la cuenca de Hagan y está localizada entre las montañas Espinazo y la falla Rosario-La bajada. (Capítulo IV, figura IV.3).

V.2.1. Marco Tectónico

El carácter sedimentario de la columna estratigráfica en la zona Vulcan es dominado por abanicos aluviales, formando unidades detríticas de arenas y conglomerados por lo que su permeabilidad, porosidad y elementos estructurales son propicios para la acumulación de agua subterránea. El relleno sedimentario de esta cuenca está formado por areniscas y conglomerados, pertenecientes a la formación Galisteo y Diamante. La mayor unidad geológica preservada al este de la cuenca de Hagan es la formación Espinaso compuesta de material volcanoclástico del Oligoceno. Las unidades hidrogeológicas mayores en el área comprenden depósitos de relleno del Grupo Santa Fe superior del Cenozoico. El Grupo Santa Fe está dividido en Superior (USF) compuesto por relleno sedimentario de intermontaña del Plioceno y del Pelistoceno temprano; Grupo Santa Fe Medio (MSF) que incluye depósitos de pie de monte y suelo aluvial; y Grupo Santa Fe Inferior (LSF), compuesto por depósitos de intermontaña y depósitos de pie de monte y relleno aluvial del Oligoceno tardío al Mioceno temprano, así mismo se encuentra presente un flujo de basalto de 2.3 Ma de edad interestratificado con arenas conglomeráticas cerca de la base de la unidad (Hawley, 2006).

V.2.2. Marco Teórico

Los métodos electromagnéticos pueden ser divididos en dos grupos. En el dominio de la frecuencia (FDEM), la corriente del transmisor varía sinusoidalmente en el tiempo con una frecuencia fija, que es seleccionada con base en la profundidad de exploración deseada de la medición, las altas frecuencias poseen una profundidad de penetración menor. En la mayoría de los métodos en el dominio del tiempo (TDEM), la corriente del transmisor es una señal periódica de escalón. Un sondeo resistivo típico de TEM utiliza una configuración donde el transmisor está conectado a una bobina cuadrada, usualmente de una sola espira, que yace en la superficie.

El principio básico de operación de los sondeos de TEM consiste en el proceso de reducir abruptamente la corriente del transmisor a cero, induciendo un voltaje de corta duración en el subsuelo (Ley de Faraday) produciendo un flujo de corriente en la vecindad contigua del cable del transmisor. Inmediatamente después de apagar la corriente del transmisor, el flujo de corriente inducido puede ser considerado como una imagen en el subsuelo de la corriente original. Sin embargo, debido a la resistividad finita del subsuelo la amplitud de la corriente comienza a decaer rápidamente. Este decaimiento similarmente induce un pulso de voltaje que causa un flujo mayor de corriente a una distancia mayor del transmisor, así como a una mayor profundidad. Este último también comienza a decaer induciendo más corriente. La amplitud del flujo de corriente como una función del tiempo es registrada midiendo el campo magnético decaído usando una bobina colocada usualmente en el centro del transmisor.

V.2.3. Adquisición

El sondeo de TEM estuvo formado por 22 estaciones alineadas en forma de “L”, con un azimut de 25°NE formado por las estaciones 00 al 11 y un azimut de 30°NW compuesto por las estaciones 11–19 (Fig. V.1).

Las estaciones en el sondeo de TEM realizado en el área Vulcan, fueron desplegadas con una longitud de lado de la bobina emisora o *loop* de 100 m, estas dimensiones fueron constantes a lo largo del estudio. Un total de 22 estaciones fueron registradas en un periodo de cuatro días, la longitud lineal total de la línea de TEM fue de 1,900 m. El equipo utilizado de grabación fue el transmisor Zonge NanoTEM y como receptor una bobina GDP–32. En cada punto del estudio se realizaron tres lecturas a fin de reducir el ruido ambiental, producido por estructuras metálicas cercanas a la zona de interés. La tabla V.2 lista la posición en coordenadas UTM de cada estación registrada.

V.2.4. Procesamiento

El procesamiento de los datos de resistividad aparente adquiridos mediante el estudio de TEM se realizó con el Software WinGLink, un paquete de procesamiento e interpretación de datos geofísicos. Es posible calcular el valor de resistividad aparente a partir de la curva de decaimiento de voltaje registrado. En la interpretación y modelado solo se utilizaron los datos comprendidos en la etapa tardía, en la cual, el cambio de pendiente es aproximadamente constante en la gráfica logarítmica.

Las curvas obtenidas a partir del descenso de voltaje o curvas de resistividad aparente se muestran en la figura V.2.

La presencia de estructuras metálicas, tales como cercas o material enterrado producen un cambio en la tendencia lineal, por lo que el valor registrado de resistividad aparente cambia bruscamente, el resultado de este efecto ambiental es la virtual existencia de conductores masivos en el subsuelo. El proceso de supresión de estos puntos contaminados, denominado *masking*, consiste en una selección predeterminada por parámetros definidos por el usuario (Fig. V.3); el carácter geológico del área de estudio, unidades sedimentarias compuestas de arenisca y conglomerado junto con depósitos aluviales, permitió confinar el número de valores a utilizar en el modelo directo y en la inversión del perfil adquirido. Las estaciones 6–8, 18 y 19 mostraron el fenómeno de inducción eléctrica en un grado mayor, presentando desviaciones considerables de tendencia lineal, por lo que fueron totalmente suprimidas en el modelo final.

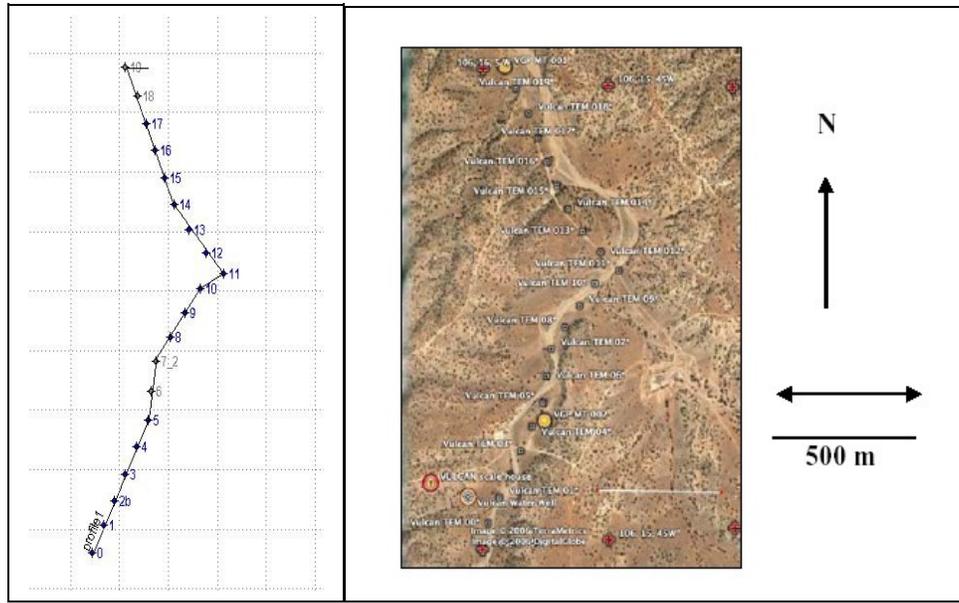


Figura V.1. Ubicación geográfica del perfil de TEM realizado en el área Vulcan, SAGE 2006. Panel izquierdo mapa en coordenadas UTM; panel derecho imagen satelital de Google Earth.

Tabla V.1. Coordenadas UTM de las estaciones del perfil de TEM realizado en el área Vulcan, SAGE 2006.

<i>No. de Estación TEM</i>	<i>Longitud UTM [m]</i>	<i>Latitud UTM [m]</i>
00	384889	3919519
01	384935	3919614
02	384977	3919697
03	385023	3919786
04	385069	3919876
05	385115	3919965
06	385130	3920064
07	385150	3920166
08	385207	3920247
09	385267	3920327
10	385330	3920409
11	385426	3920458
12	385354	3920529
13	385284	3920607
14	385225	3920693
15	385182	3920782
16	385145	3920873
17	385108	3920964

18	385072	3921058
19	385023	3921152

Tabla V.1. Continuation. *Coordenadas UTM de las estaciones del perfil de TEM realizado en el área Vulcan, SAGE 2006.*

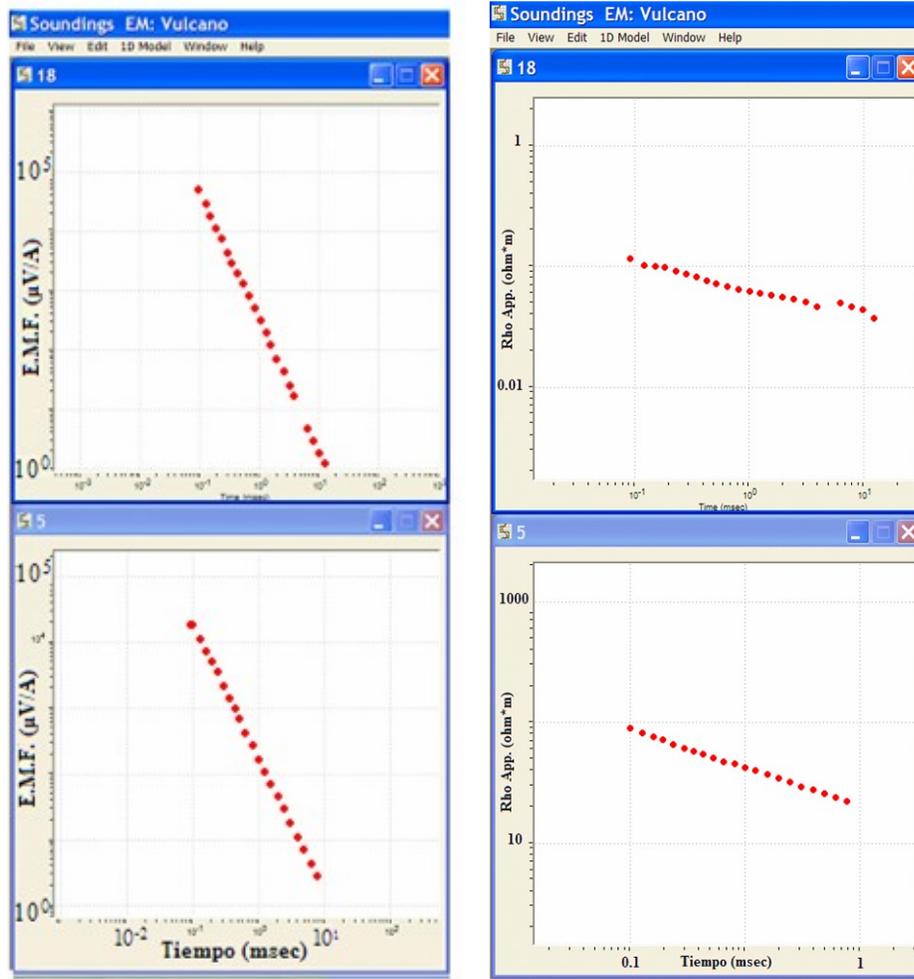


Figura V.2. *Curvas de voltaje de la bobina receptora, estaciones 5 y 18 (derecha). Curvas de resistividad aparente (izquierda). En ambas figuras el eje horizontal es el tiempo en ms.*

Después de remover los puntos contaminados de la gráfica de voltaje vs tiempo, se generó la sección pseudo-eléctrica, que es una representación espacial de la resistividad aparente (Fig. V.4). El modelo directo de los datos recolectados consistió en un modelo de Tierra estratificada horizontalmente de cuatro capas; debido al número pequeño de capas utilizado, el resultado de la inversión no tuvo un buen ajuste con los datos de campo. El

incremento en el número de capas y la modificación de la resistividad de la primera capa, mejoraron el ajuste de la inversión 1-D con la información recolectada.

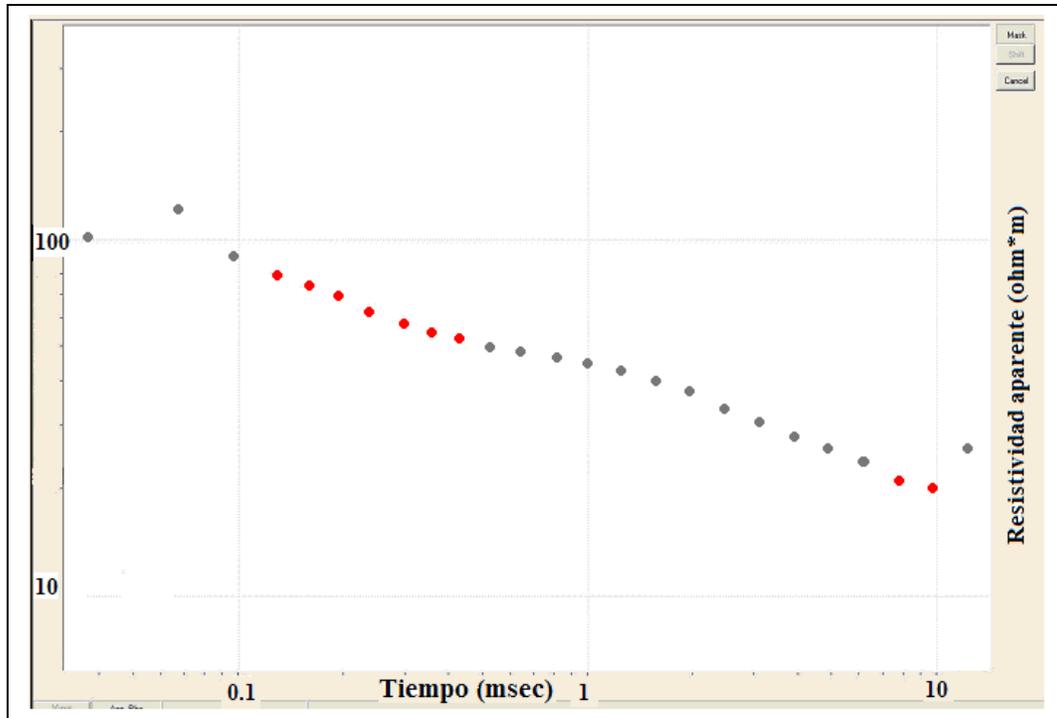


Figura V.3. Curva de resistividad aparente de la estación TEM 08. Nótese los puntos por encima de la tendencia recta, causado por la inducción de objetos metálicos cercanos. Los puntos grises han sido “enmascarados”, por lo que los únicos valores utilizados serán aquellos en color rojo.

V.2.4.1. Análisis de Sensibilidad

La sensibilidad de cualquier modelo radica en el rango mínimo y máximo de las propiedades físicas y geométricas de los elementos cuya variación resulta en un cambio considerable en el modelo definido. La detección (capacidad de registrar eventos con suficiente relación S/R) y resolución (capacidad de separar en los componentes individuales que conforman una señal registrada) de las distintas capas del subsuelo, dependen enteramente de la disposición espacial y eléctrica de los elementos adyacentes a cierta característica de interés, por ejemplo, una capa conductora se manifestará por su espesor, haciendo que sea difícil de detectar cuando es delgada. Si el cambio en ciertos parámetros seleccionados, bajo un nivel predefinido de profundidad u otra variable, tales como el espesor o resistividad, no modifica de manera notoria el modelo, implica que éste no es sensible o resoluble a dicho parámetro bajo las condiciones preferidas, produciendo un grado de incertidumbre mayor al inherente propio del método (L. Pellerin, comunicación personal, 2006).

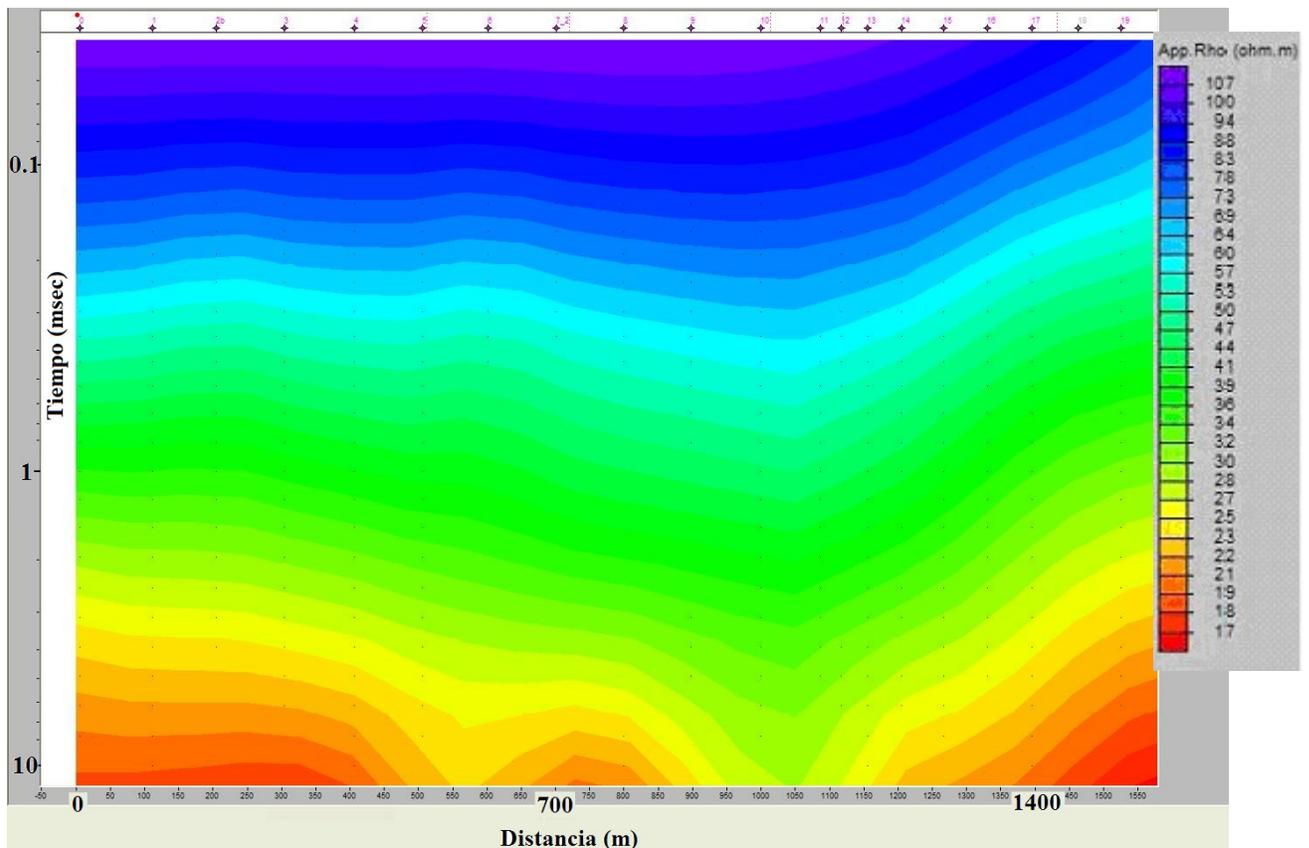


Figura V.4. Pseudosección eléctrica. Los colores muestran la distribución espacial de la resistividad aparente en el subsuelo. Todas las estaciones TEM se muestran.

El incremento en el número de capas y resistividad de la primera capa, mostró un modelo similar con las mismas características, no obstante bajó la profundidad de penetración del arreglo utilizado, aproximadamente 300 m; el modelo es robusto incluso hasta 400 m. La variación de espesores de las capas más profundas no modificó en absoluto la inversión final, haciendo insensible el modelo por debajo de los 400 m. La figura V.5 muestra el resultado de la inversión 1-D en la estación 05, para distinto número de estratos y valor de resistividad de la primera capa, presentándose propiedades similares de valor de resistividad y espesor de las capas subsiguientes. El material más conductor se presenta a mayor profundidad. En la figura V.6 se muestra el modelo final incluyendo aquellas estaciones suprimidas, mostrando material conductor arriba de 300 m. La figura V.7 presenta el modelo final utilizado en la interpretación geológica, nótese que el material conductor causado por las estaciones contaminadas sigue presente, esto es debido, posiblemente, a un error en la subrutina de interpolación del propio software manejado.

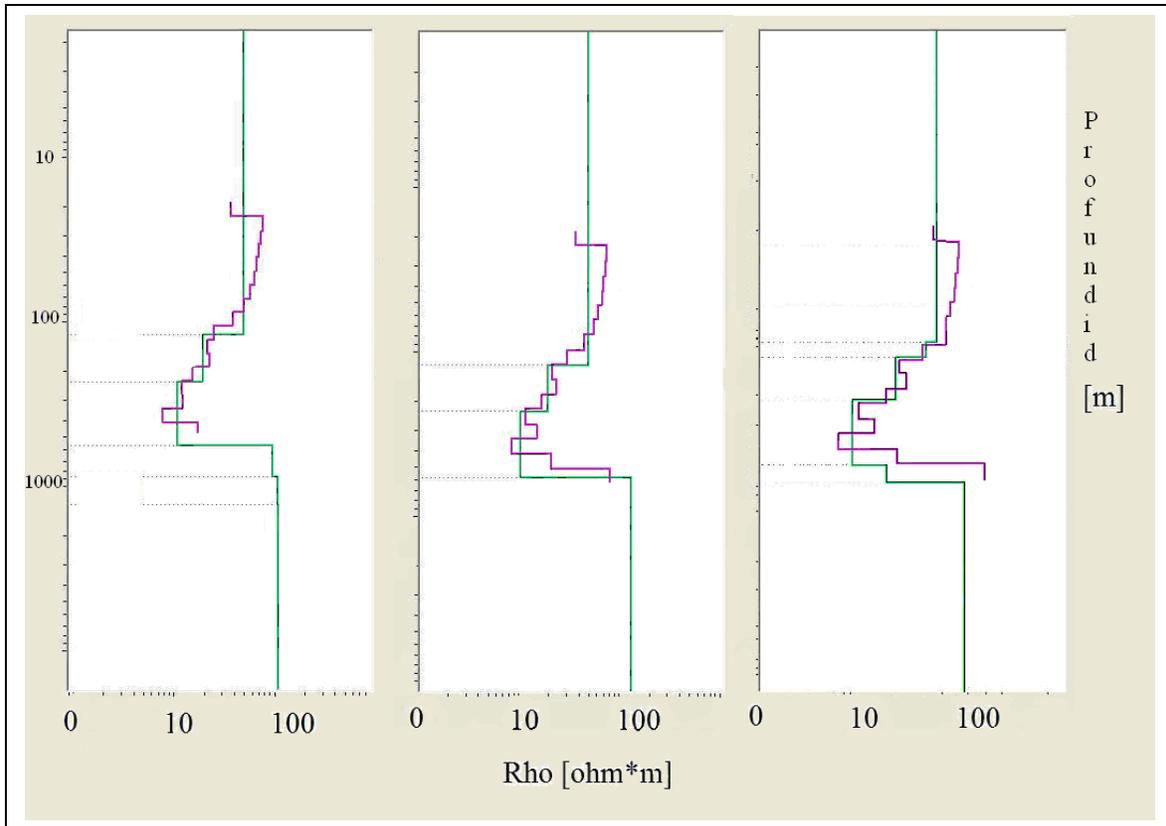


Figura V.5. Análisis de sensibilidad para la estación TEM 05. Entre más capas tenga el modelo, mejor ajusta a los datos. Nótese que el número de capas aumenta y las características siguen conservándose.

V.2.5. Interpretación

El modelo final adquirido exhibe la distribución de resistividad en el subsuelo más confiable y representativa, un modelo sensible hasta 400 m de profundidad.

En el área de estudio, el pozo exploratorio AL-02-380 fue perforado en 2004 por la compañía JET WEST Geophysical Services, LLC, en la salida #259 de la Carretera Interestatal 25, en Santa Fe, Nuevo México. Los registros disponibles consistieron en las herramientas de Caliper, rayos gamma (GR), potencial espontáneo (SP), y las herramientas eléctricas 16' y 64' normal, con una profundidad máxima de 330 m de grabación. Los intervalos de interés en este pozo y en la sección geoelectrica son: 100–250 m y 250–350 m. La interpretación de lo registros mencionados fue completamente cualitativa, por lo que no se realizaron cálculos matemáticos ni correcciones debido a la carencia de las tablas correspondientes. Cualitativamente, la información disponible mostró material resistivo cerca de la superficie y material poroso de menor resistividad con cantidades menores de arcilla por arriba de los 100 m. No se consideró la información del modelo eléctrico por arriba del nivel de sensibilidad establecido.

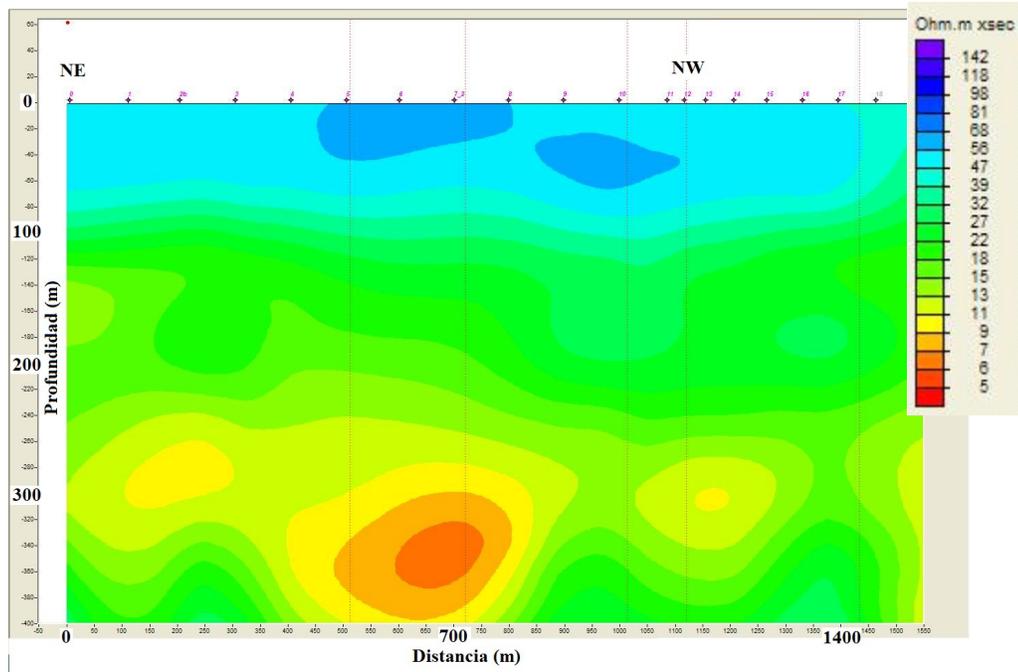


Figura V.6. Inversión del perfil TEM en el área Vulcan. Se muestran todas las estaciones, incluyendo aquellas afectadas por la inducción de objetos metálicos. Nótese el gran conductor en la parte media inferior de la sección de resistividad.

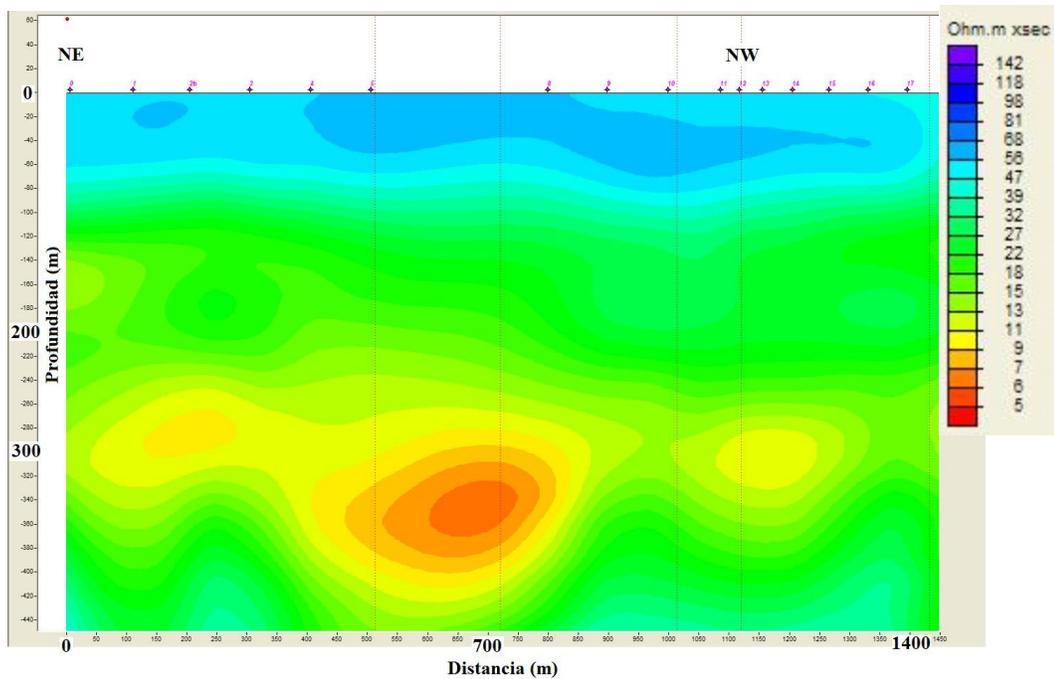


Figura V.7. Modelo eléctrico final del perfil TEM en el área Vulcan. No se utilizaron las estaciones suprimidas; no obstante, debido a un error de interpolación intrínseco del programa, el conductor aparente causado por inducción metálica permanece.

El pozo Peltó Oil Blackshare Federal # 1, localizado a 1.7 km a 15° SW, fue utilizado para la correlación geológica de la zona estudiada (Anexo E.2).

La interpretación final se muestra en la figura V.8. Debido a la separación de las curvas de las herramientas eléctricas, los intervalos I y II poseen porosidad adecuada con potencial acuífero, posiblemente arenas y conglomerados, con contenido de arcilla. Los datos recolectados muestran un incremento en la conductividad a una profundidad mayor de 200 m, la curva de rayos gamma y aquella de potencial espontáneo, muestran un incremento en el volumen de arcilla presente, de tal manera, el intervalo II, posee mayor conductividad.

Los datos recolectados por LANL, en la Meseta Pajarito, varían desde 7 $\Omega \cdot m$ en el basalto Cerros del Río a aproximadamente 2000 $\Omega \cdot m$ en la toba Bandelier casi seca. La resistividad medida en el Grupo Santa Fe varía de 16.6 a 38.8 $\Omega \cdot m$ (Balbridge, 2006). El análisis realizado sugiere que en el área Vulcan, el Grupo Santa Fe posee una resistividad menor, debido al contenido de material arcilloso presente en la formación.

En estudios integrales, la línea sísmica de reflexión SAGE 2006, adquirida en el área Vulcan (Capítulo IV, figura IV.15) muestra un reflector casi horizontal a una profundidad de 100 m, que ha sido interpretada como el nivel del manto freático en el grupo Santa Fe (Rhodes, 2006); debido a las características sedimentológicas presentes en la formación Tesuque, parte de Santa Fe (depósito de abanicos aluviales) y a los datos precedentes es posible establecer del nivel del manto a dicha profundidad, concordando con el estudio sísmico.

V.2.5.1. Estimación de Parámetros Hidrogeológicos

Los factores que afectan la resistividad de los materiales del subsuelo son: la porosidad, la textura, la resistividad del agua de formación, la saturación de agua de formación, la temperatura y el contenido de arcilla.

Las primeras tres variables están relacionadas con la resistividad mediante la ecuación de Archie, 1942, que asume saturación total de agua y contenido nulo de arcilla. La resistividad de formación, ρ_t es:

$$\rho_t = a \rho_w \Phi^m, \quad \text{Ec. (V.1)}$$

donde a es el coeficiente de saturación; ρ_w , la resistividad del agua de formación; Φ , la porosidad (%) y m , el coeficiente de cementación.

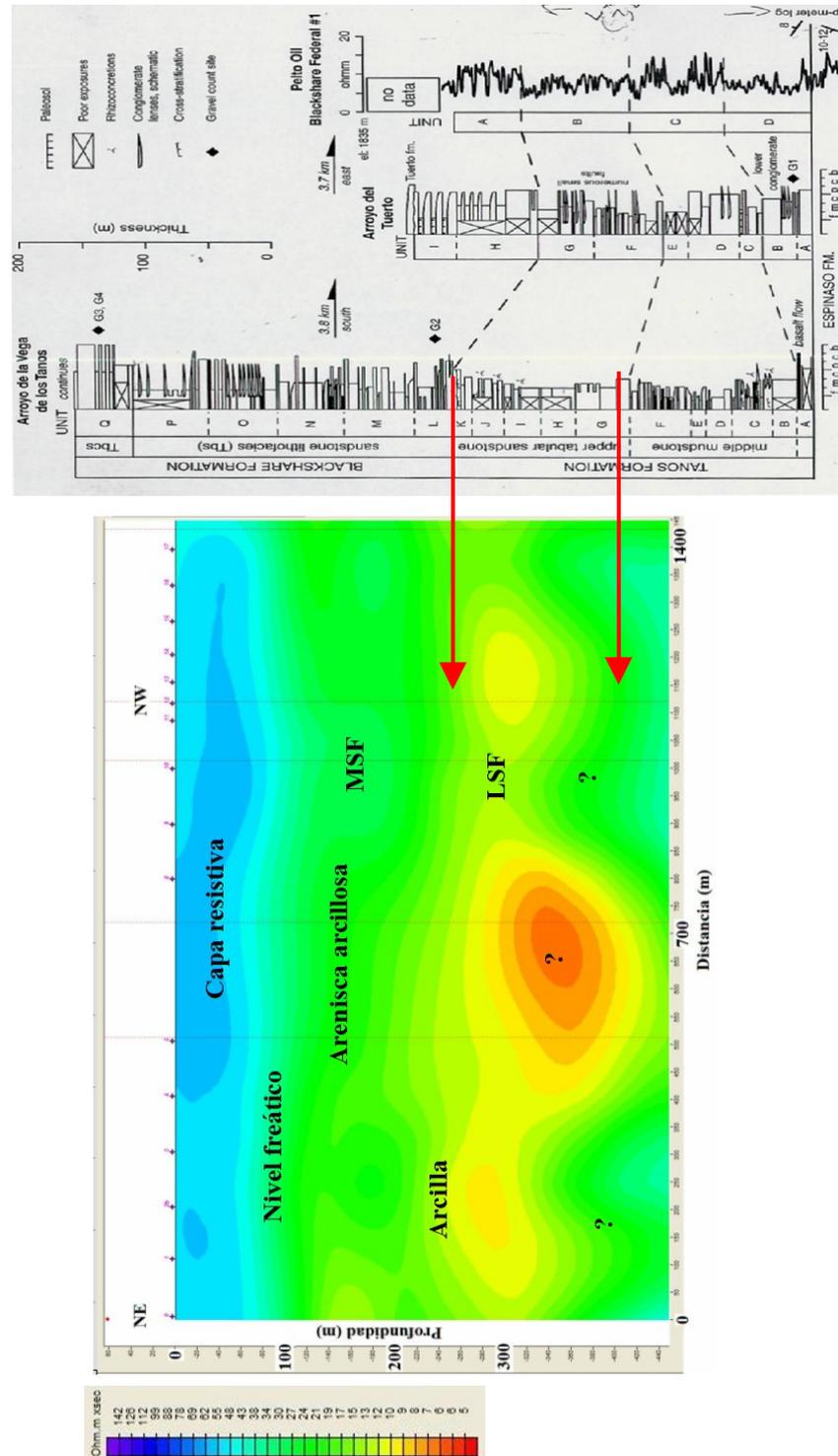


Figura V.8. Modelo eléctrico final interpretado del perfil TEM en el área Vulcan. El nivel del manto freático se ubica a una profundidad de 100m; la formación esta compuesta por arenas, conglomerados y arcillas. El limite del Grupo Santa Fe medio (MSF) es de 200 m, sobreyaciendo al Grupo Santa Fe inferior (LSF). La cantidad de arcilla provoca un aumento en la conductividad del subsuelo, mostrado en color naranja.

El rango de las variables adimensionales en la ecuación de Archie es, para a entre 0.6 y 1.0 (normalmente se asume que a es equivalente a 1), para m entre 1.4 y 2.2 (Ward, 1990). El cociente ρ_t/ρ_w , llamado factor de formación F , equivale a Φ^m cuando $a = 1$ y es aproximadamente 4 para valores comunes (McNeill, 1990) con $m = 1.6$ y $\Phi = 0.4$. Así mismo, el recíproco de la resistividad, la conductividad, es utilizado a partir de la ecuación de Archie:

$$\sigma_t = 1/a \sigma_w \Phi^m. \tag{Ec. (V.2)}$$

La ecuación de Archie es una correspondencia no lineal debido a los exponentes involucrados. Esta relación representa una línea recta cuando se utiliza el logaritmo de σ_t y de σ_w .

La ecuación V.2 puede ser modificada para permitir cualquier grado de saturación de agua, S_w . En efecto:

$$\rho_t = (a \rho_w \Phi^m) / S_w^n. \tag{Ec. (V.3)}$$

El exponente de saturación n frecuentemente se asume como 2.

La relación anterior es importante en los estudios de agua subterránea debido a que la fracción de saturación de agua, S_w , puede ser calculada si a , m y n son estimados (por ejemplo, a igual a 1, m equivalente a 1.6 y n igual a 2) y si es posible medir de forma independiente ρ_t , ρ_w y Φ (Ward, 1990). La resistividad del agua de formación puede medirse en laboratorio o en estudios de campo; ρ_t puede ser medida directamente en registros eléctricos de pozo y Φ puede ser calculada de registros de porosidad, en laboratorio o simplemente estimada. El uso de esta ecuación está limitado en formaciones limpias o sin contenido de arcilla.

A partir de la relación de Archie, es posible conocer la saturación de agua, S_w , suponiendo, para este estudio las variables estimadas son $a = 1$, $m = 1.6$ y $n = 2$. Con los valores precedentes y tomando en cuenta el gradiente geotérmico asumido, promedio de la región, de 27 °C/km y la resistividad del agua de formación, ρ_w , de 7 Ω*m, fue posible calcular con el nomograma de Meidaiy, 1970 (Anexo F), los valores presentados en la tabla V.2.

Tabla V.2. *Parámetros petrofísicos estimados a partir de la ecuación de Archie.*

<i>Intervalo de interés</i>	ρ_t (Ω*m)	Temperatura (°C)	Factor Formación	Porosidad (%)	Salinidad (ppm)
I	22	30	10	31	1100
II	10	34	4	40	1200

El contenido de arcilla presente en la formación no permite realizar un estudio sensible a estos parámetros, cuya estimación es pobre, debido a las suposiciones realizadas en el uso de esta expresión.

De la toda la información anterior, es posible que el nivel del manto acuífero se encuentre a aproximadamente 100 m de profundidad, ya que el descenso de resistividad en este nivel puede ser atribuido a la saturación de agua de la formación compuesta principalmente de arenas y material conglomerático.

V.2.6. Conclusiones particulares

El estudio realizado por SAGE 2006, en el área Vulcan Company, mostró buenas propiedades para un acuífero potencial en un nivel cercano a 100 m de profundidad. La información del pozo PBS permitió la correlación geológica de la sección eléctrica adquirida; Santa Fe Media, se encuentra aproximadamente hasta 200 m de profundidad, con un rango de resistividad de 15 a 23 $\Omega \cdot m$, debajo de ésta se encuentra Santa Fe Baja, cuya resistividad es próxima a 12 $\Omega \cdot m$.

La información del pozo exploratorio AL-02-380 en la zona de interés, en conjunto con la información de LANL, sugiere que la formación contiene cierto volumen de arcilla, por lo tanto, la estimación realizada con la ecuación de Archie, es una aproximación inadecuada, por lo que se recomiendan más estudios en el área para validar los resultados.

Los datos de resistividad de LANL, para el Grupo Santa Fe, son de 38.8 $\Omega \cdot m$ (Balbridge, 2006), mientras que la resistividad promedio encontrada por el estudio TEM SAGE 2006, para el Grupo Santa Fe fue de 25 $\Omega \cdot m$, la variación se debe al contenido de partículas arcillosas.

El modelo establecido probó ser sensible y robusto a ciertos parámetros, por lo que el nivel de resolución y detección máximo del mismo se encuentra a 400 m de profundidad, más allá de este punto, la información no puede validar ningún resultado.

Se tiene una buena correlación con otros estudios, tales como el perfil sísmico de reflexión presentado en el Capítulo IV de esta tesis, mostrando un posible nivel del manto freático a 100 m de profundidad.

V.3. Radar de penetración terrestre (GPR)

V.3.1. Marco Geológico: Pueblo de San Marcos

San Marcos es un pueblo pre-hispánico extenso construido de adobe situado en una elevación de aproximadamente 6,000 pies sobre el banco norte del Arroyo de San Marcos, un subfluente intermitente del riachuelo de Galisteo (Fig. V.9). La alfarería encontrada aparentemente del sitio demuestra la ocupación a principios del 1300's y una ocupación probable a mediados o finales del 1200's. Este pueblo, *Ya 'atze* en el dialecto kerés, estaba activo en la revuelta de 1680 y el pueblo fue abandonado en ese momento, pero la región continuó utilizándose para varios propósitos en la era moderna (Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006). Cubriendo aproximadamente 60 acres de superficie, el pueblo de San Marcos tiene 38 bloques de paredes de adobes que cercarían diez centros comerciales aproximadamente. En la esquina noroeste se encuentran las ruinas de una iglesia de una misión Franciscana española y un convento construido a principios de 1630. San Marcos es solamente uno de dos pueblos de la misión en la cuenca de Galisteo, y está registrado en la lista del *National Register of Historic Places*, de USA.

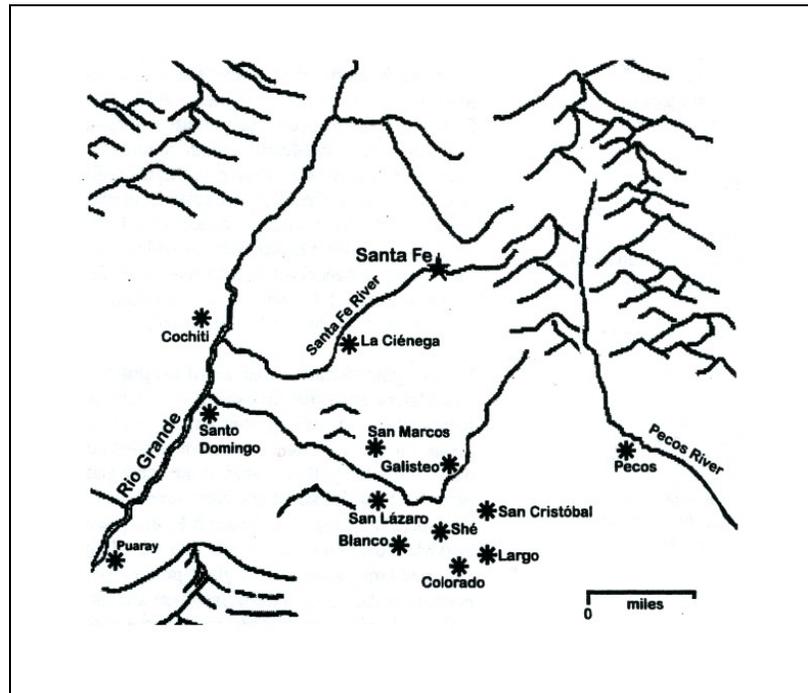


Figura V.9. Ubicación del pueblo de San Marcos y alrededores (Figura tomada de Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006).

V.3.1.1. Registro Histórico

En 1540-42, Francisco Vázquez de Coronado llegó a Nuevo México en búsqueda del oro de Cíbola. Cuarenta años pasaron antes de que los españoles regresaran a la región. En la expedición de 1581, el fraile Agustín Rodríguez y el capitán Francisco Sánchez Chamuscado visitaron el área de Galisteo y el pueblo de *Ya 'atze* en busca de búfalos.

En 1590, el capitán Gaspar Castaño de Sosa, lugarteniente gobernador de Nuevo León, llegó a la región. En enero de 1591 visitó 22 pueblos, nombrando a San Lucas (Galisteo) y a San Marcos.

En julio de 1598, Juan de Oñate, padre del Gobernador de Nueva Galicia esposo de la nieta de Cortés y bisnieta de Moctezuma, estableció el primer poblado europeo permanente nombrado Yunque de San Gabriel.

Por unos años San Marcos fue visitada por el capellán Franciscano residente en Galisteo, pero antes de 1638 Fray Agustín de Cuellar fue nombrado como tutor de San Marcos y su convento (Fig. V.11). El 10 de agosto de 1680 fue la insurrección del pueblo: fueron asesinados el Fray Juan Domingo de Vera de Galisteo, Fray Juan Bernal, capellán en Galisteo, y Fray Manuel Tinoco de San Marcos. Once días después los españoles empezaron su caminata para El Paso y dio inicio a doce años de exilio.

Los españoles, comandados por Diego de Vargas, regresaron en 1692, entre sus relatos cuentan “...*Hoy, domingo 19 de octubre 1692 después de asistir en masa con el campamento, yo, nombrado Gobernador y capitán general dejo este pueblo de Galisteo. Con tres campañas largas desde allí, entré en el pueblo de San Marcos y lo encontré abandonado. Algunas de las habitaciones y las paredes de los edificios todavía están allí; y también las paredes y la nave de la iglesia, tanto como los del convento, están en la buena condición [Espinosa, la primera expedición de Vargas, p. 171] (tomado de Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006)*”.

Las excavaciones de 1999-2001 de la misión de San Marcos por el Museo de Historia Natural de Estados Unidos han verificado que a la época de la revuelta la iglesia de San Marcos no fue quemada ni destruida, pero la campana de la iglesia fue hecha añicos (Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006).



Figura V.10. *Concepto artístico de San Marcos en 1640 (Figura tomada de Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006).*

V.3.1.2. Comercio de turquesa y la producción de cerámica

La gran producción de turquesa sobre la superficie del sitio ha llevado a que muchos eruditos creen que San Marcos controló las minas cercanas de turquesa de Cerrillos Hills por varios siglos. Esta turquesa fue cambiada en todo el SW y en zonas tan lejanas como el Valle de México. Ha habido especulación de que la fundación de San Marcos data del siglo XI cuando la cultura *Chaco Canyon* cambió grandes cantidades de turquesa de esta área con las culturas de Mesoamericanas al sur. Mientras esta conexión se queda sin confirmar las cantidades grandes de turquesa de Cerrillos han sido identificadas en Chaco, y una vasija de Chaco fue retirada de San Marcos y está actualmente en la escuela de investigación estadounidense en Santa Fé (*Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006*). En la lengua Tewa, hoy San Marcos es llamada Kunyaonweji; "Ruina del Pueblo de turquesa". El análisis petrográfico y químico de la cerámica de San Marcos y otros pueblos de la cuenca de Galisteo han indicado que este pueblo era un centro de fabricación muy importante para la cerámica barnizada decorada de Río Grande, particularmente la mercadería amarilla a comienzos del período del barniz de vidrio. Todos los tipos de cerámica están presentes en San Marcos, y es evidente que el pueblo exportó grandes cantidades de la alfarería de barniz de vidrio a otros pueblos en el área superior de Río Grande y la cuenca de Galisteo, y posiblemente tan lejos como las llanuras del sur.

V.3.1.2. Investigaciones actuales en San Marcos

En 1915, Nels C. Nelson (1875-1964), el primer conservador de arqueología norteamericana en el Museo de Historia Natural de los Estados Unidos, llevó a cabo las excavaciones de los que serían virtualmente las estructuras en San Marcos.

Erik Reed de la administración de parques nacionales dirigió una prueba limitada en 1954. En 1981 la organización de protección del medio ambiente arqueológica llevó las excavaciones de salvamento de emergencia sobre las dos estructuras invadidas por el arroyo de San Marcos, y el arroyo fue establecido en ese momento. Desde entonces se han realizado diversos estudios: uno en 1989 terminó por R. Dale, otro en 1993 por la *University of Colorado*, otro en 1994 por un estudiante de posgrado de la *University of California* acerca de la cerámica.

En el verano de 1997, Ann Ramenofsky, Christopher Pierce y estudiantes de posgrado de la *University of New Mexico* (UNM) empezaron un levantamiento de planos y un proyecto de investigación en San Marcos. Su objetivo era revelar la secuencia ocupacional y la cronología de San Marcos para comprender cómo interactuaron en las épocas tempranas los nativos americanos y los españoles.

Ramenofsky decidió apoyar a David Hurst Thomas, el cuarto conservador de arqueología norteamericana para el museo estadounidense de historia natural. Él y su equipo, entre 1998 y 2001, analizaron las ruinas de la misión Franciscana.

El estudio de superficie de la UNM había revelado una cantidad de materiales refractarios - escoria y adobe vitrificado - en el bloque 15. Ramenofsky, ayudada por David Vaughn, usó el GPR para identificar algunas anomalías. Durante el verano de 2002 descubrieron las ruinas de dos sitios de hornos españoles pequeños fechados entre 1537 y 1652.

Las posibilidades para investigación arqueológica e histórica en San Marcos son numerosas. Como un centro de cerámica y mercantil muy importante para tantas comunidades, así como la producción de turquesa, el pueblo de San Marcos figuraba en las relaciones culturales prominentemente entre éstos y muchos pueblos cercanos y distantes. Como un pueblo indio misionado, el sitio sostiene el gran potencial para comprender el período histórico temprano de Nuevo México.

V.3.2. Marco Teórico

El Radar de Penetración Terrestre (GPR) es relativamente una técnica geofísica nueva, tiene aplicaciones muy variadas, más que cualquier técnica geofísica, ya que simultáneamente se puede trabajar una amplia variedad de escalas espaciales y diversas formas de configuración del instrumento.

Actualmente, la necesidad de caracterizar el subsuelo a profundidades muy someras (menores a 100 m) requiere de una mayor resolución y la mínima perturbación del medio donde se ubica el objetivo de estudio. Los equipos electromagnéticos han ido evolucionando hacia una mayor sensibilidad en la variación de la conductividad del terreno a profundidades someras, mediante el control adecuado de la frecuencia con que se envía la señal electromagnética al subsuelo.

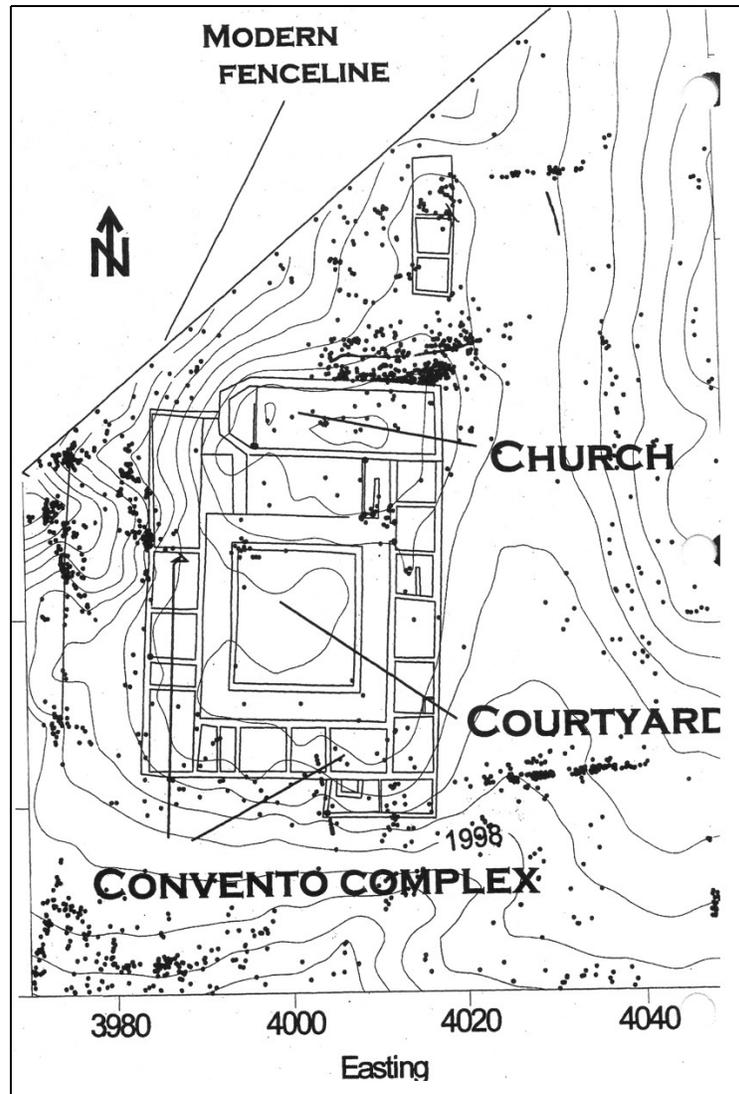


Figura V.11. Mapa propuesto por la UNM (Figura tomada de Notas de SAGE, University of New Mexico, 2006).

En particular, el GPR empieza a tener un gran desarrollo. Éste tiene la cualidad de no alterar el medio ambiente, además de considerarse una técnica de alta resolución, no destructiva, de gran rapidez en su operación y relativamente menos costosa comparativamente con otras técnicas tradicionalmente utilizadas en la Geofísica. La técnica de georadar consiste en la emisión hacia el medio de investigación de impulsos electromagnéticos de muy corta duración, con el fin de detectar estructuras y elementos de interés conocidos como anomalías. La técnica se fundamenta en las ecuaciones de Maxwell, las cuales relacionan el campo eléctrico y el campo magnético con las fuentes que los producen a partir de una serie de parámetros constantes para cada medio, estas constantes describen el comportamiento de las ondas electromagnéticas en diferentes materiales. La forma en que el campo electromagnético interactúa con el medio de propagación, determina el comportamiento de la señal enviada, presentando efectos de reflexión, transmisión, atenuación y dispersión.

Este método establece una geometría fija para las antenas, las que pueden trabajar de manera monoestática y en las cuales la misma antena es receptor y transmisor, que es el caso que se utiliza donde el *offset* es cero, o bien, biestáticas en la cual dos antenas son colocadas paralelamente entre sí, con una separación adecuada. Estos arreglos se desplazan sobre un perfil, tomando lecturas en puntos equidistantes para obtener perfiles bidimensionales conocidos como radargramas, los cuales nos proporcionan la información del medio a profundidad. El eje vertical presenta la escala de tiempos dobles de viaje de la señal electromagnética a través del subsuelo y el eje horizontal, representa las distancias sobre el perfil en donde se efectuaron las lecturas.

Todos los materiales presentan una resistencia al paso de corriente que está en función de la densidad de corriente y el gradiente de potencial eléctrico. Las diferentes resistividades de los materiales que componen el subsuelo producen variaciones, tanto horizontales como verticales; en función de la corriente aplicada y el potencial medido en la superficie, dichas variaciones revelan la composición, extensión y propiedades de los materiales en el subsuelo.

Las propiedades que mide esta técnica están directamente relacionadas con características del subsuelo. Por ejemplo, el grado de resistencia del material puede indicar el grado de saturación de una capa del subsuelo.

Como otras técnicas, tiene sus limitaciones, la más importante se presenta cuando el medio de propagación de la señal posee alta conductividad eléctrica, en particular cuando tiene un alto contenido de humedad y especialmente donde existen materiales arcillosos ya que la señal se atenúa rápidamente (Annan, 1993). Con el equipo es posible determinar la presencia de estructuras, así como la zonificación de éstas y de diferentes cuerpos de interés.

Otra característica del georadar es que la profundidad de penetración varía desde algunos centímetros hasta aproximadamente 100 m., dependiendo de la frecuencia de trabajo de las antenas de transmisión y recepción. De acuerdo al rango de frecuencias en la cual opera el georadar (10 Mhz a 2Ghz), la longitud de onda varía de 0.15 m para altas frecuencias, hasta 30 m para frecuencias más bajas, de esto se deduce que la longitud de onda electromagnética (λ) es directamente proporcional a su velocidad de propagación (v) e inversamente proporcional a la frecuencia (f) utilizada ($\lambda = v / f$), lo cual significa que la resolución en cuanto a su capacidad de detección de anomalías, está en función de la frecuencia de operación y de las dimensiones del objetivo.

Las antenas del GPR se encargan de transformar el pulso electromagnético en una onda electromagnética que se irradia en el subsuelo, una parte de esta onda electromagnética es transmitida o refractada, otra se disipa y una última parte se refleja en el medio, las reflexiones son captadas mediante otra antena, que traduce dicha información en señal o pulso de voltaje que se registra en función del tiempo (Annan y Cosway, 1992; Annan y Chua, 1992).

V.3.3. Adquisición

Como parte de SAGE 2006, se llevó a cabo un estudio de GPR en el pueblo de San Marcos NM, para comprender mejor la distribución espacial del pueblo pre-hispánico. Cuatro sitios fueron examinados y analizados con el GPR; los bloques 38, 29 y el derrumbe de bloques 8. La extensión de San Marcos es aproximadamente 60 acres de zona arqueológica, y este pueblo está compuesto de 38 bloques y algunos derrumbes de estos (Figuras V.12 y V.13). Estudiantes de SAGE 2006 y cuerpo docente usaron métodos como el GPR, refracción sísmica, magnetometría y métodos electromagnéticos alrededor del sitio (Fig. V.14).



Figura V.12. Plano de las estructuras y la topografía del pueblo de San Marcos (Figura tomada de Ramenofsky, 2001).

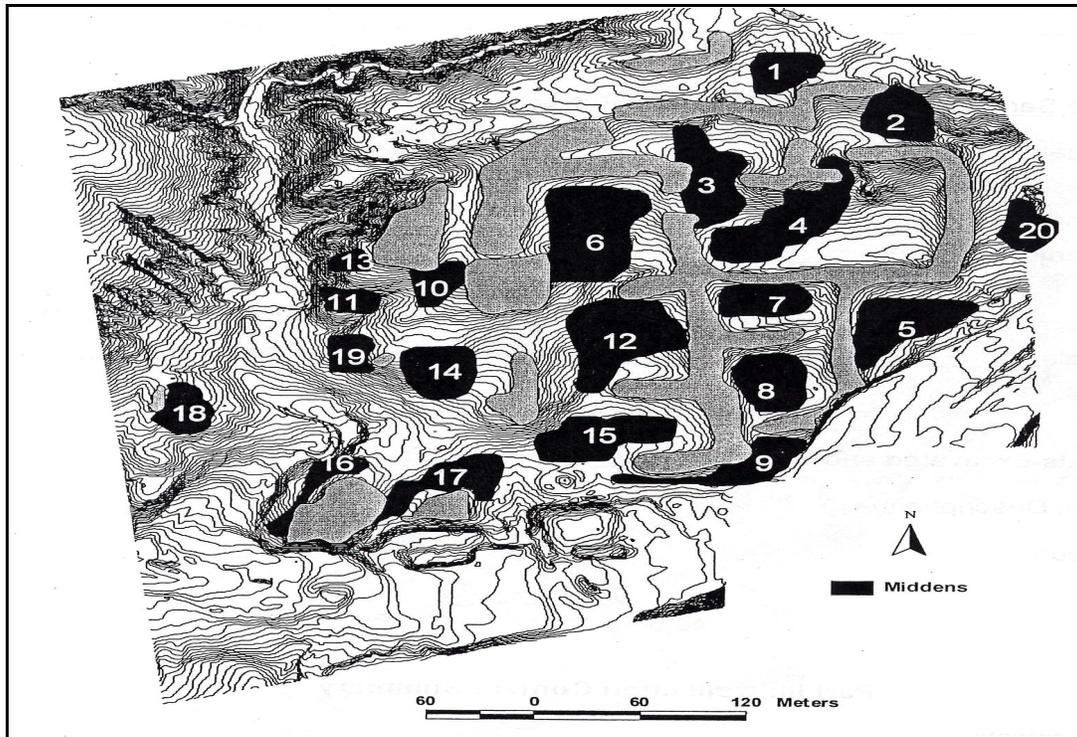


Figura V.13. Ubicación de los derrumbes de estructuras del pueblo de San Marcos (Figura tomada de Ramenofsky, 2001).

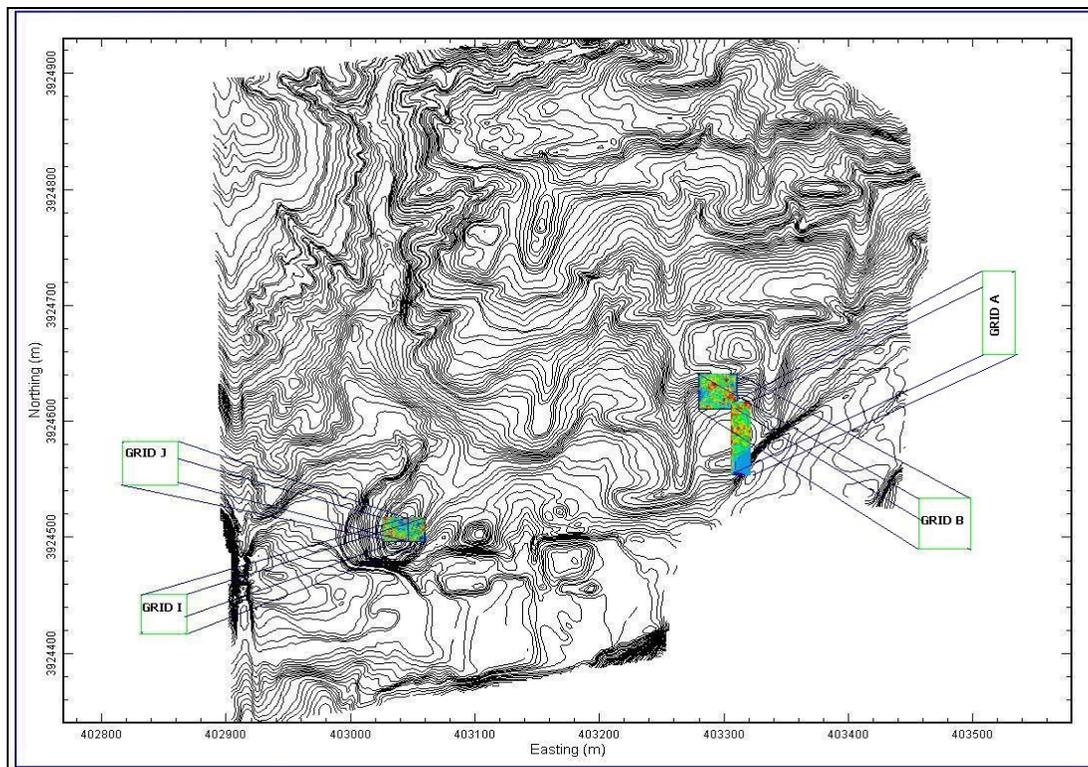


Figura V.14. Ubicación de las mallas de adquisición de datos de GPR en el pueblo de San Marcos.

Los métodos geofísicos son preferidos a los tradicionales en arqueología de zanjamiento y excavación, porque estos últimos resultan en la destrucción permanente del sitio; además, los primeros tienen la capacidad de mostrar a una profundidad de investigación razonablemente detallada imágenes del subsuelo con un impacto mínimo. Este informe se concentrará en los resultados del estudio de GPR a lo largo de los bloques de habitación 38, 29 y del derrumbe de bloques 8 exclusivamente.

La tabla V.3 describe los levantamientos de GPR llevados a cabo en el sitio, mientras que las figuras V.15 y V.16 son un croquis más detallado acerca de cómo se efectuaron los levantamientos indicando donde hay huecos de datos y las características del terreno. La figura V.17 es una fotografía que muestra la ubicación de las mallas J e I del bloque 38.

Tabla V.3. Especificaciones para cada uno de los levantamientos de GPR.

FECHA 6/25/06 condiciones secas (Fig. V.15)			
ESPACIAMIENTO ENTRE LINEAS: 1m			
OBSERVACIONES: Estudio conducido en zig-zag en dirección X-Y. Área nula en 3 puntos, vegetación abundante en la esquina SE.			
MALLA J: 20 x 20 m, roomblock 38			
COORDENADAS UTM DE SUS ESQUINAS:			
NW	403041.3544	3924517.1091; NE	3924517.1091 3924517.4776;
SW	403041.5062	3924497.7235; SE	403060.5538 3924496.4262
FECHA: 6/25/06 condiciones secas (Fig. V.15)			
6/26/06 condiciones húmedas en suelo (llovió la noche anterior)			
ESPACIAMIENTO ENTRE LINEAS: 1m			
OBSERVACIONES: Estudio conducido en zig-zag en dirección Y.			
MALLA I: 20 x 20 m, roomblock 38			
COORDENADAS UTM DE SUS ESQUINAS:			
NW	403026.1488	3924516.7067; NE	403046.1182 3924516.7084
SW	403026.0232	3924496.7396; SE	403045.9892 3924496.8452
FECHA: 6/26/06 condiciones húmedas en suelo (llovió la noche anterior) (Fig. V.16)			
ESPACIAMIENTO ENTRE LINEAS: 1m			
OBSERVACIONES: Estudio conducido en zig-zag en dirección X-Y. Área nula en 3 puntos.			
MALLA B: 30 x 30 m, midden 8			
COORDENADAS UTM DE SUS ESQUINAS:			
NW	403280.4342	3924640.9298; NE	403310.4292 3924640.1418
SW	403280.3122	3924611.4382; SE	403310.3778 3924610.4303

FECHA 6/26/06 húmedo, pero condiciones secas en suelo (Fig. V.16)
ESPACIAMIENTO ENTRE LINEAS: 1m
OBSERVACIONES: Estudio conducido en modo paralelo, 17 líneas hechas.
MALLA A: 60 x 30 m, midden 8/ roomblock 29
COORDENADAS UTM DE SUS ESQUINAS:
NW 403306.0411 3924615.5422; NE 403335.8547 3924614.9196
SW 403305.9114 3924555.6689

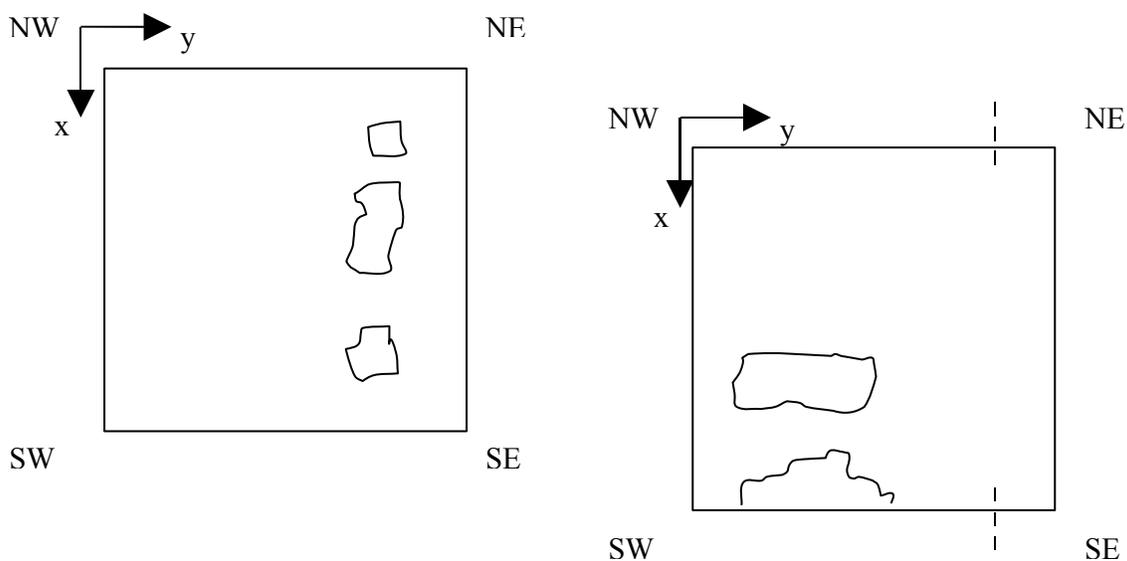


Figura V.15. Croquis que muestra las características de geometría de adquisición de las mallas J e I del bloque 38

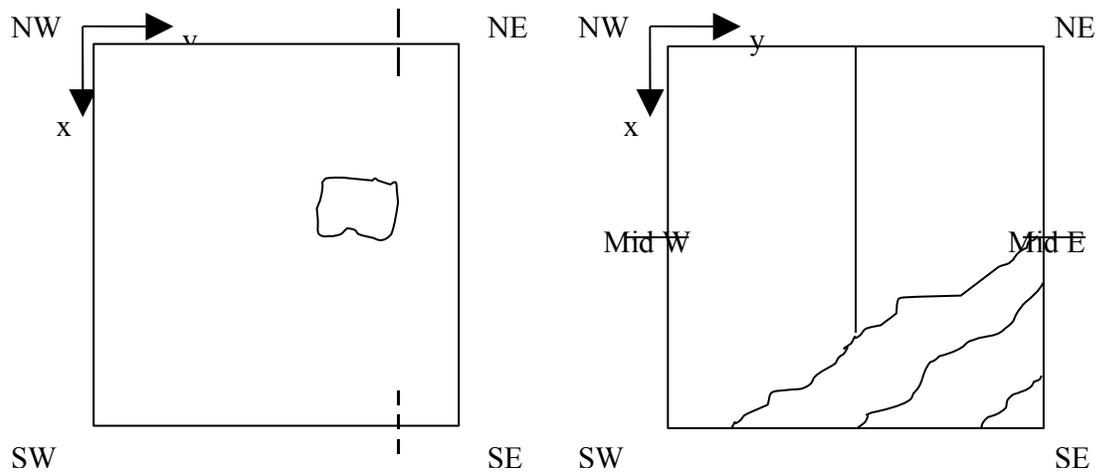


Figura V.16. Croquis que muestra las características de geometría de adquisición de las mallas A y B del bloque 29 y derrumbe 8 .



Figura V.17. Ubicación de las mallas J & I (bloque 38).

V.3.4. Procesamiento

Para llevar a cabo el levantamiento GPR se utilizó un instrumento Noggin 250 (Fig. V.18), suministrado por Greg Johnston, de Sensor & Software Inc. Éste transmite un pulso truncado con una frecuencia central de 250 Mhz en el suelo. Los programas usados para el procesado de los datos incluyen EKKO_View, EKKO Mapper, Matlab, Profile Analyts y Surfer 8. EKKO_View permite definir los filtros y la ganancia al usuario y ver los datos de GPR en una línea de sección transversal 2D. EKKO Mapper usa los datos procesados del EKKO_View y hace posible al usuario la visualización y creación de secciones u horizontes de tiempo de la malla entera en el mapa (Fig. V.19). Matlab fue usado para ajustar las coordenadas UTM en el mapa. Profile Analyts fue usado para filtrar (se empleó un filtro de convolución de 7x7) y exhibir las imágenes finales. Surfer 8 se utilizó para interpolar el mapa topográfico y los datos de visualización. La figura V.20 muestra el diagrama de flujo de la secuencia básica de procesamiento para datos de GPR, la cual es similar a la de datos sísmicos.

De la figura V.21 a la V.33 muestran las características del procesamiento indicando los parámetros, así como para cada malla se hicieron los horizontes a diversos tiempos y se obtuvieron sus respectivas secciones en profundidad.



Figura V.18. Equipo de GPR Noggin 250, con el que se adquirieron los datos de campo, con una frecuencia nominal de 250 MHz, suministrado por Greg Johnston de la compañía Sensor & Software (Figura tomada de www.sensor&software.com).

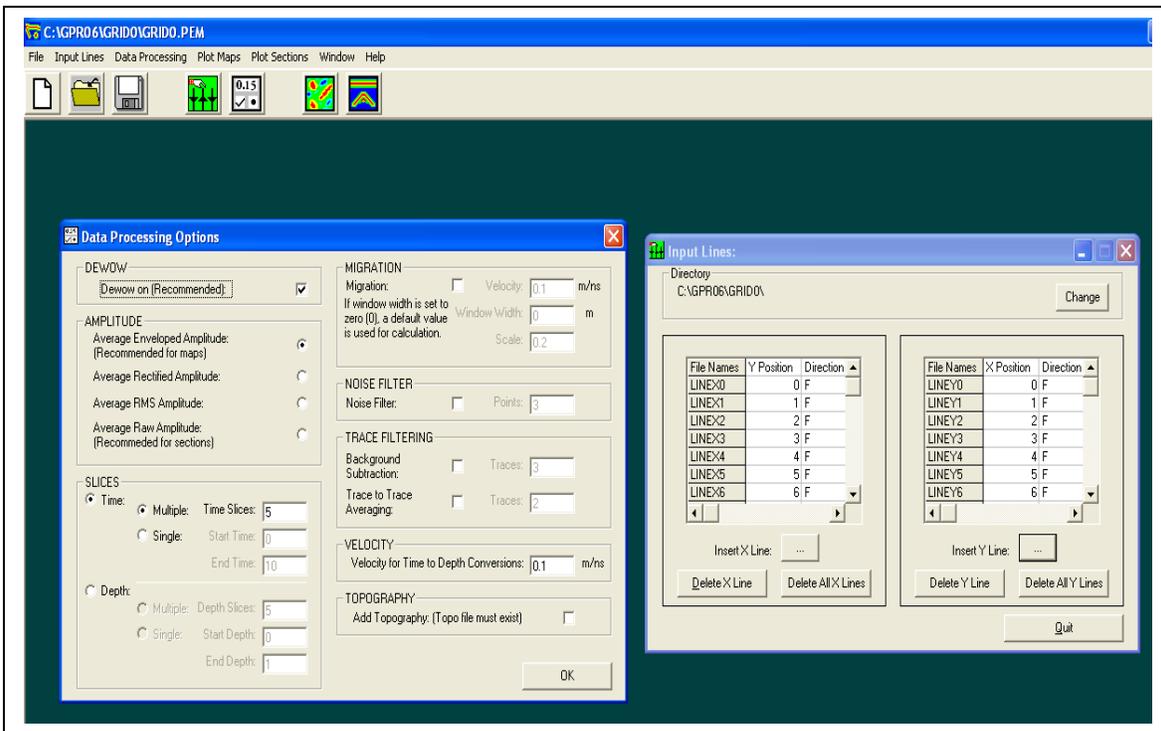


Figura V.19. Procesamiento en Ekko_Mapper de la malla J, donde se indican los parámetros y tipos de procesado a realizar como velocidad de migración, etc. del (bloque 38).

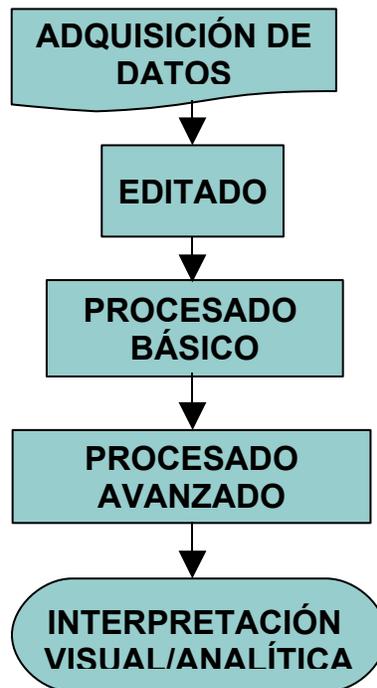


Figura V.20. Secuencia básica de procesamiento de datos GPR

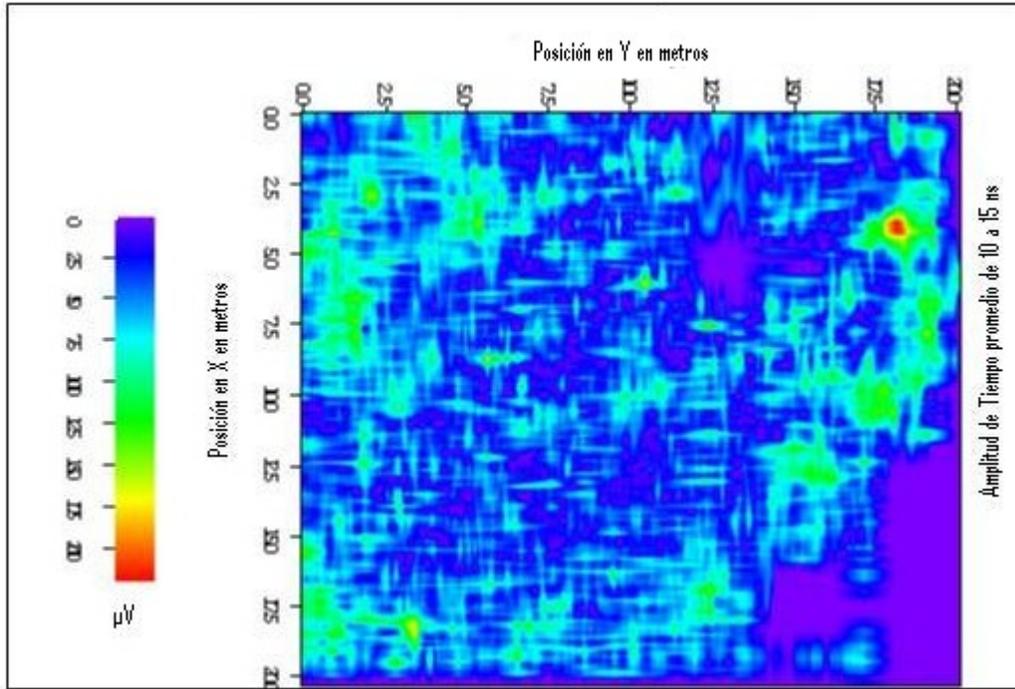


Figura V.21. Horizonte de tiempo de 10 a 15 ns obtenido de los datos del bloque 38 Malla J.

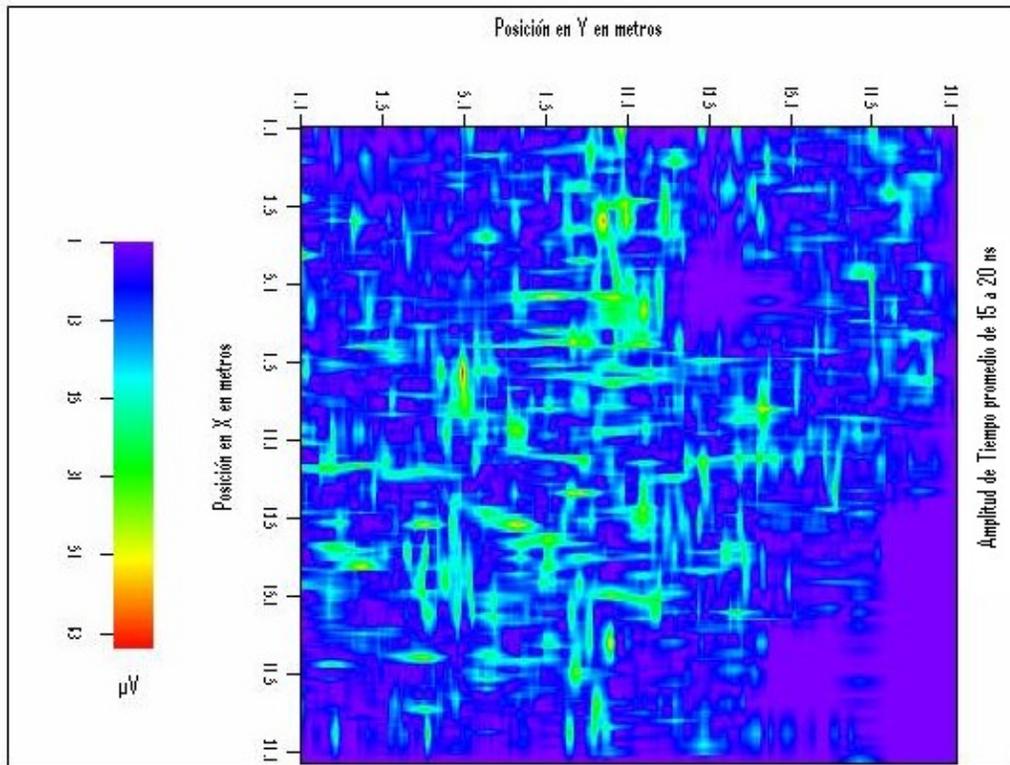


Figura V.22. Horizonte de tiempo de 15 a 20 ns obtenido de los datos del bloque 38 Malla J.

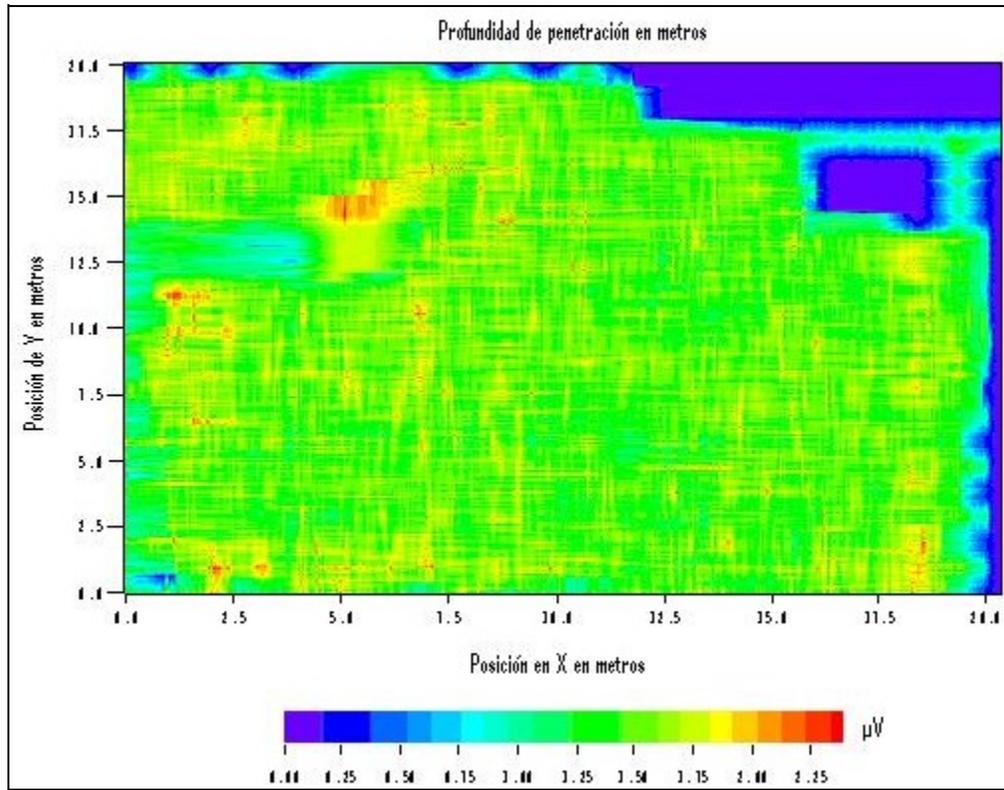


Figura V.23. Sección en profundidad obtenida en el procesamiento de datos del bloque 38 de la malla J.

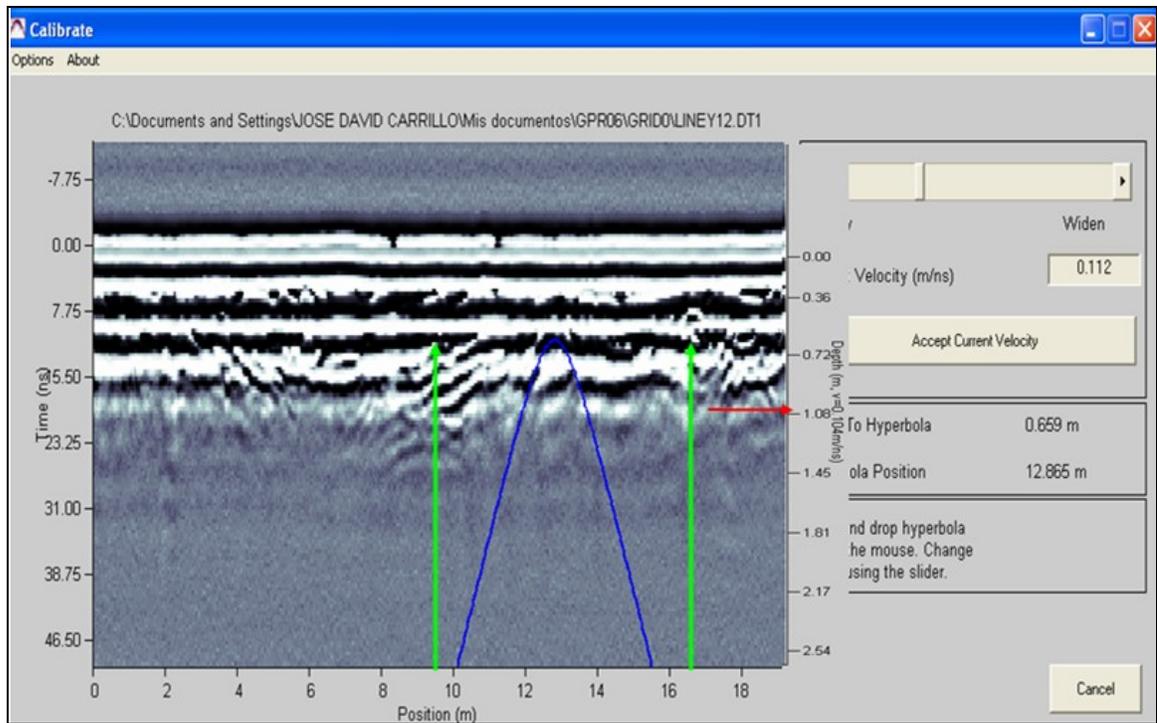


Figura V.24. Malla J, Sección transversal para la línea Y12 hecha en EKKO_View. La línea

verde muestra el truncamiento vertical de los sedimentos característicos, la línea roja muestra la profundidad para la estructura ovalada.

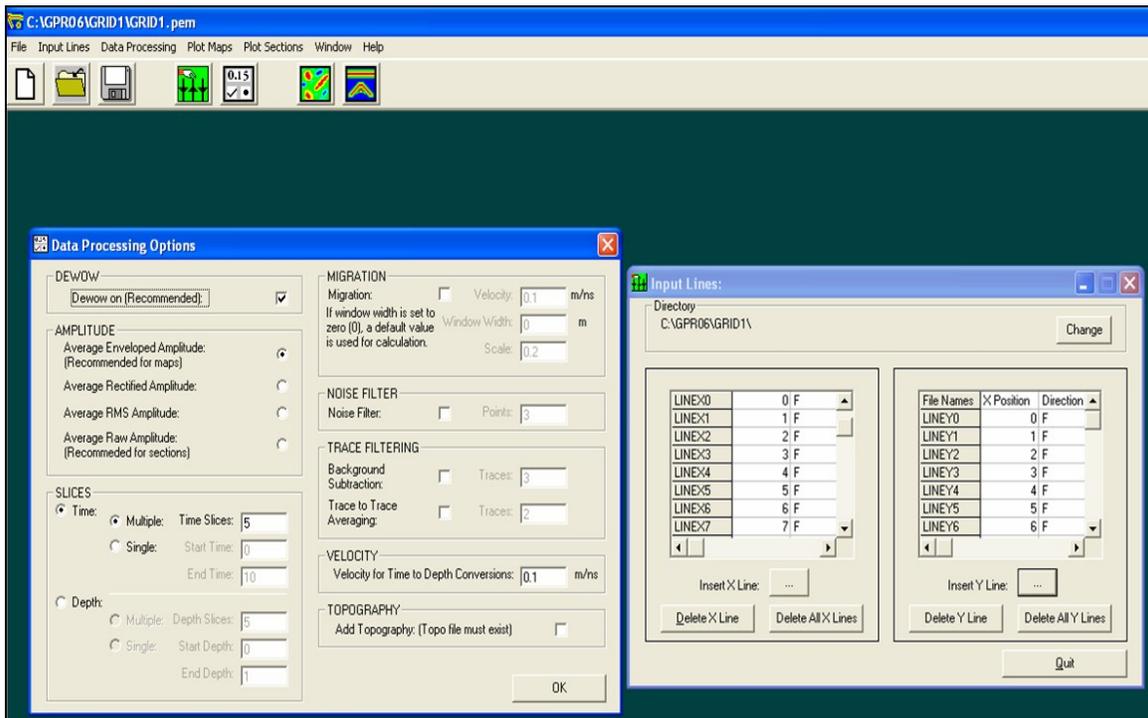


Figura V.25. Procesamiento en Ekko Mapper de la malla I, donde se indican los parámetros y tipos de procesado a realizar como velocidad de migración, etc. del (bloque 38).

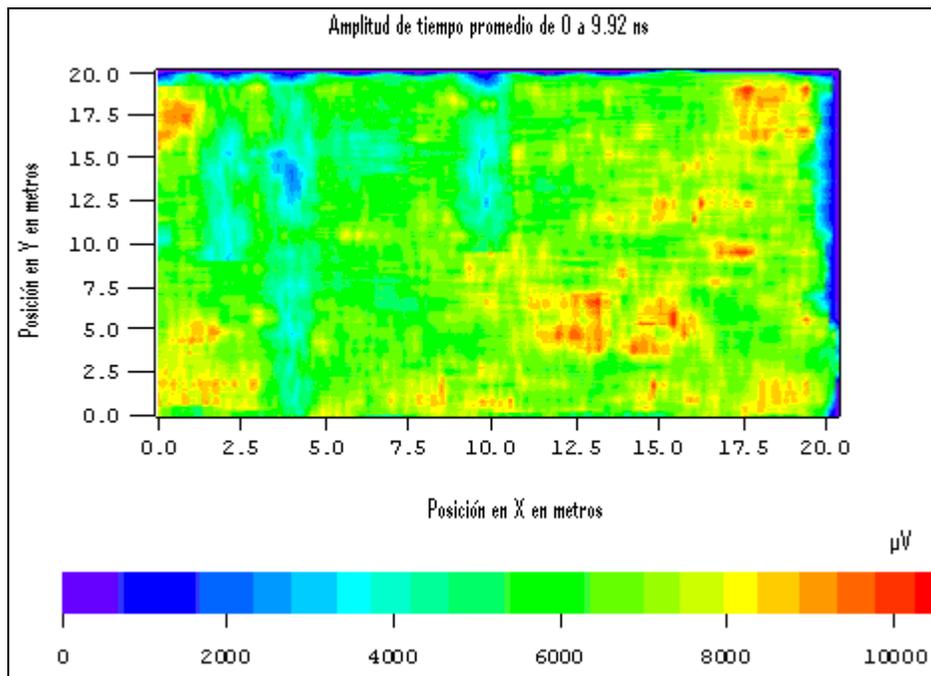


Figura V.26. Horizonte de tiempo de 0 a 9.92 ns obtenida en el procesamiento de datos del bloque 38 de la malla I.

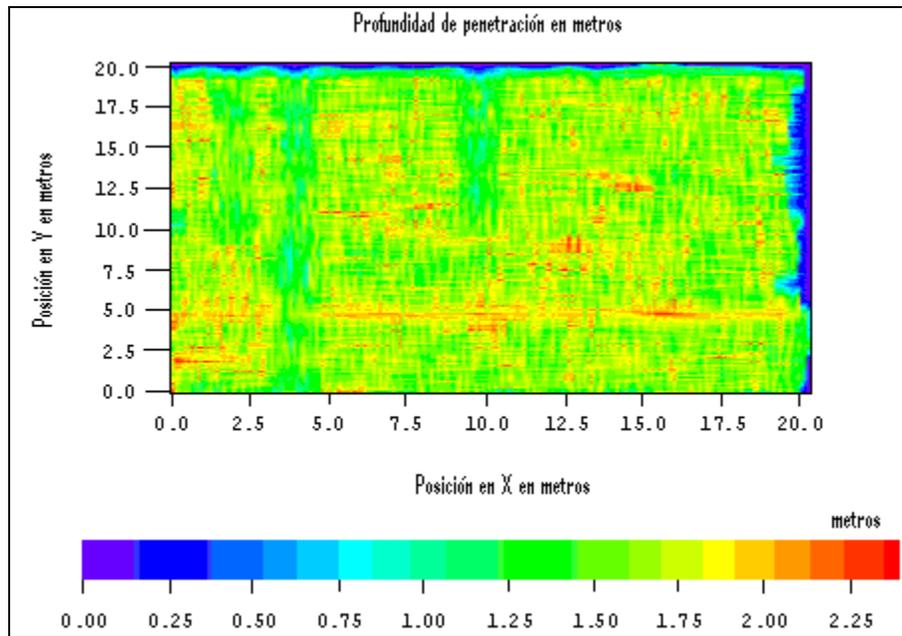


Figura V.27. Sección en profundidad obtenida en el procesamiento de datos del bloque 38 de la malla I.

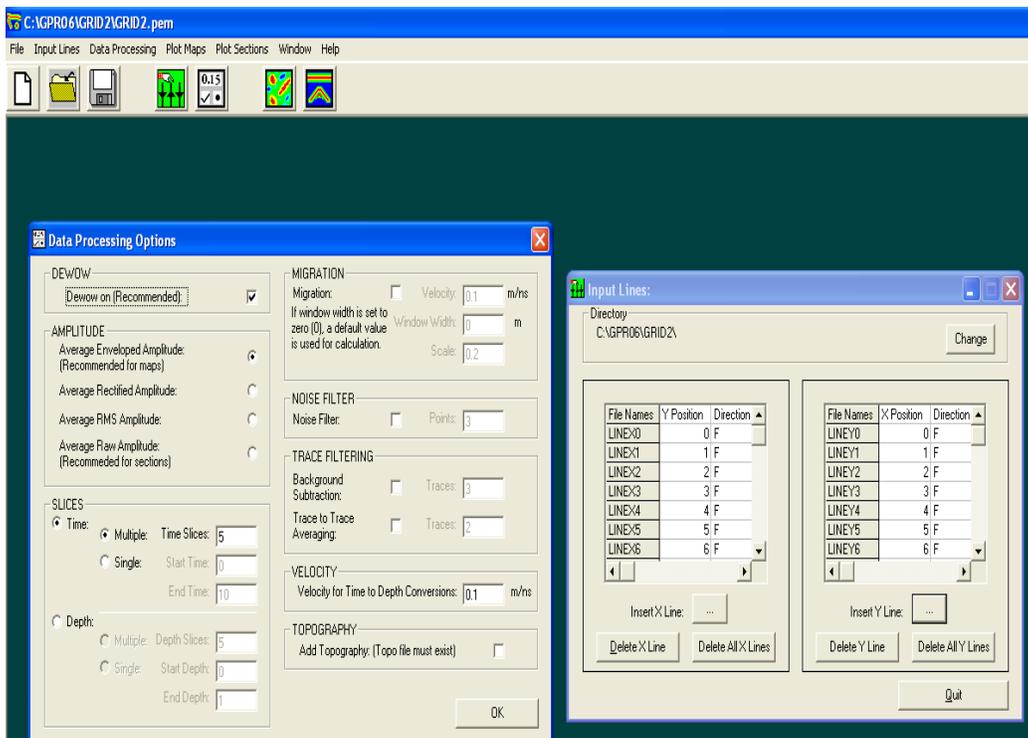


Figura V.28. *Procesamiento en Ekko Mapper de la malla B, donde se indican los parámetros y tipos de procesado a realizar como velocidad de migración, etc. del (derrumbe 8).*

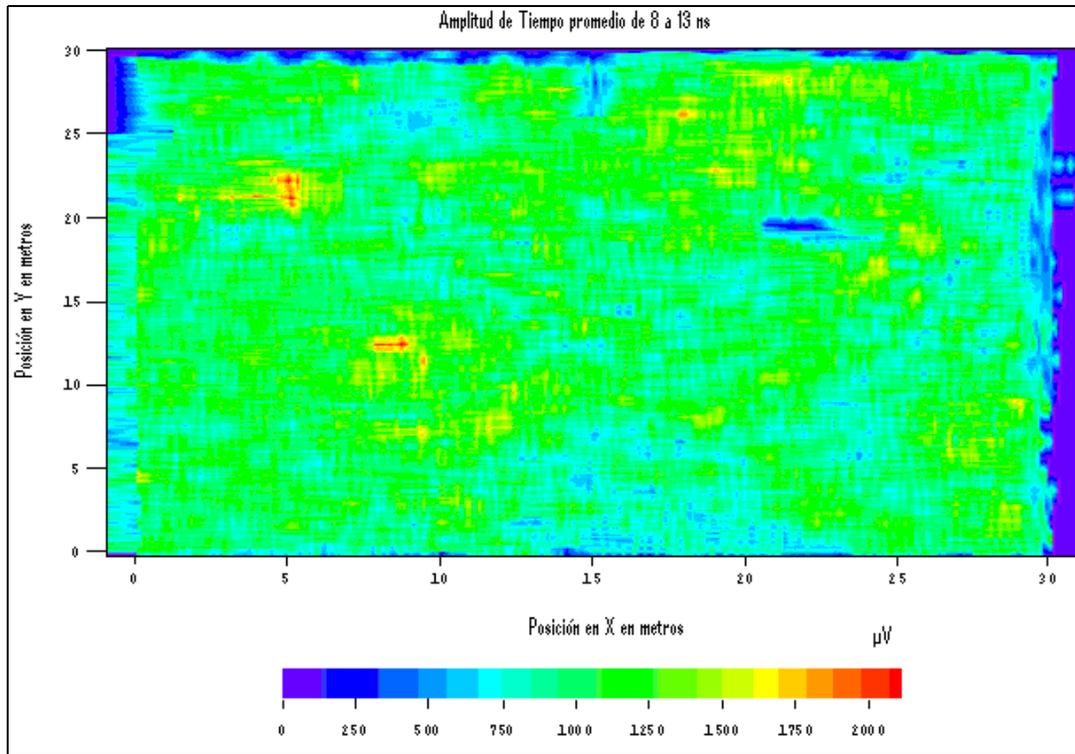


Figura V.29. *Horizonte de tiempo de 8 a 13 ns obtenida en el procesamiento de datos del derrumbe 8 de la malla B.*

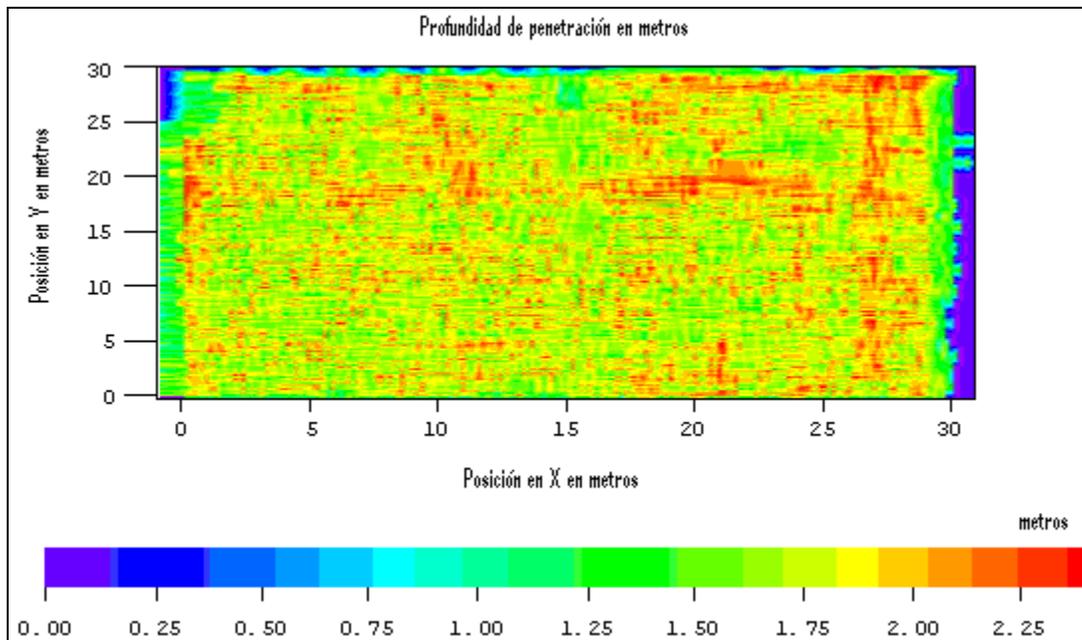


Figura V.30. Sección en profundidad obtenida en el procesamiento de datos del derrumbe 8 de la malla B.

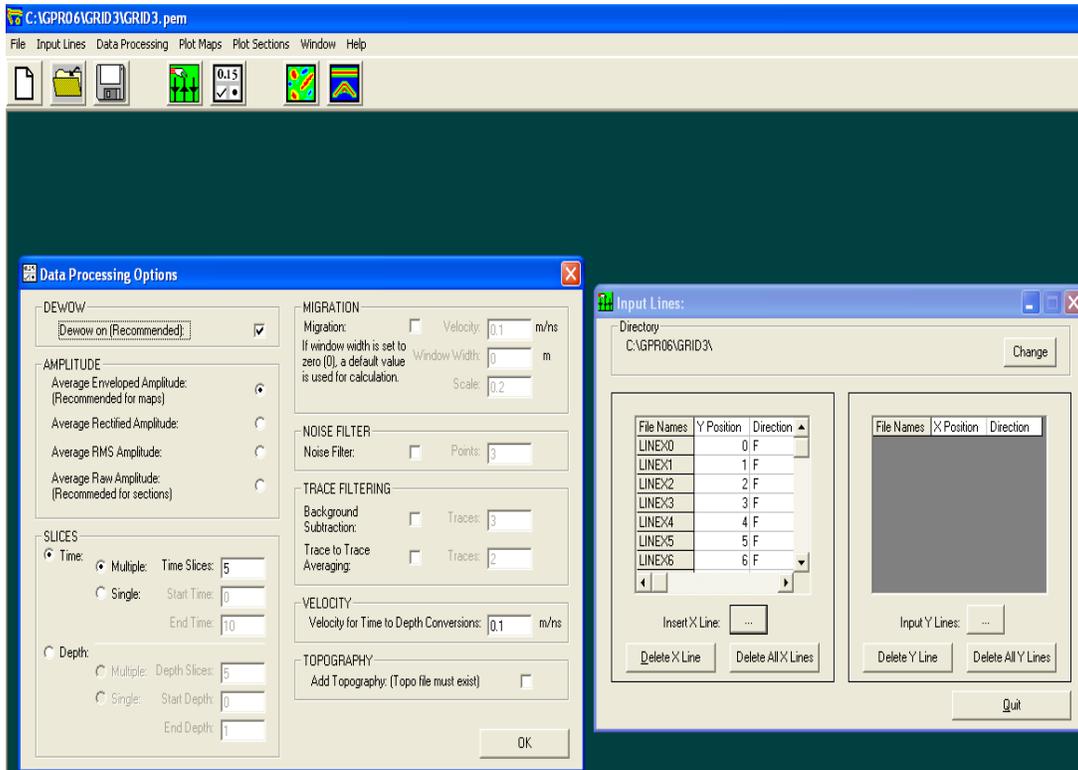


Figura V.31. Procesamiento en Ekko Mapper de la malla A, donde se indican los parámetros y tipos de procesado a realizar como velocidad de migración, etc. del (derrumbe 8/bloque 29).

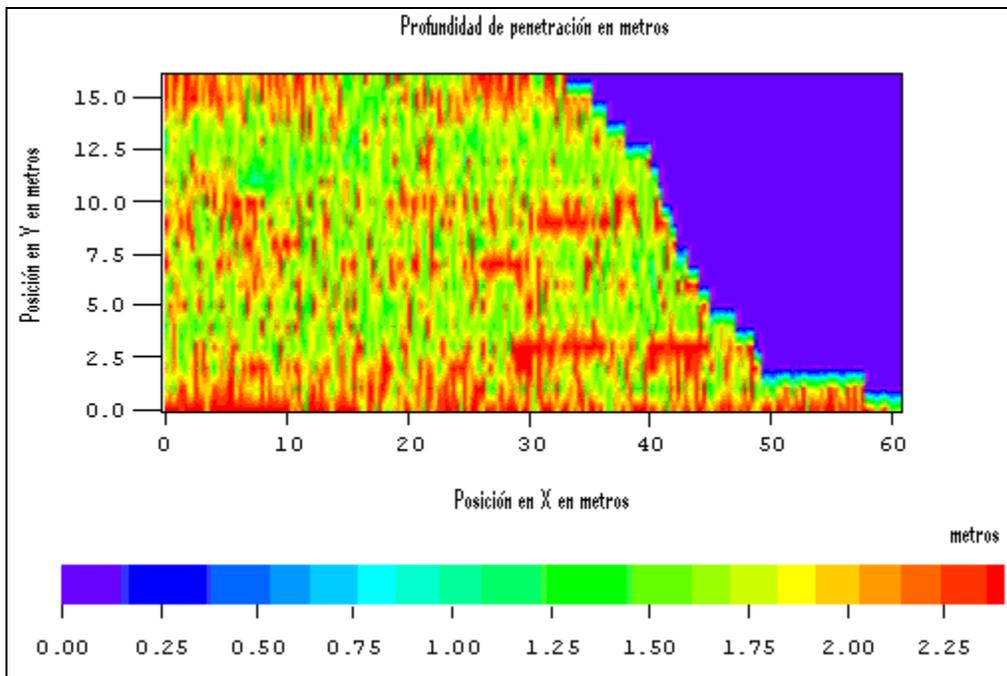


Figura V.32. Sección en profundidad obtenida en el procesamiento de datos del derrumbe 8/bloque 29 de la malla B.

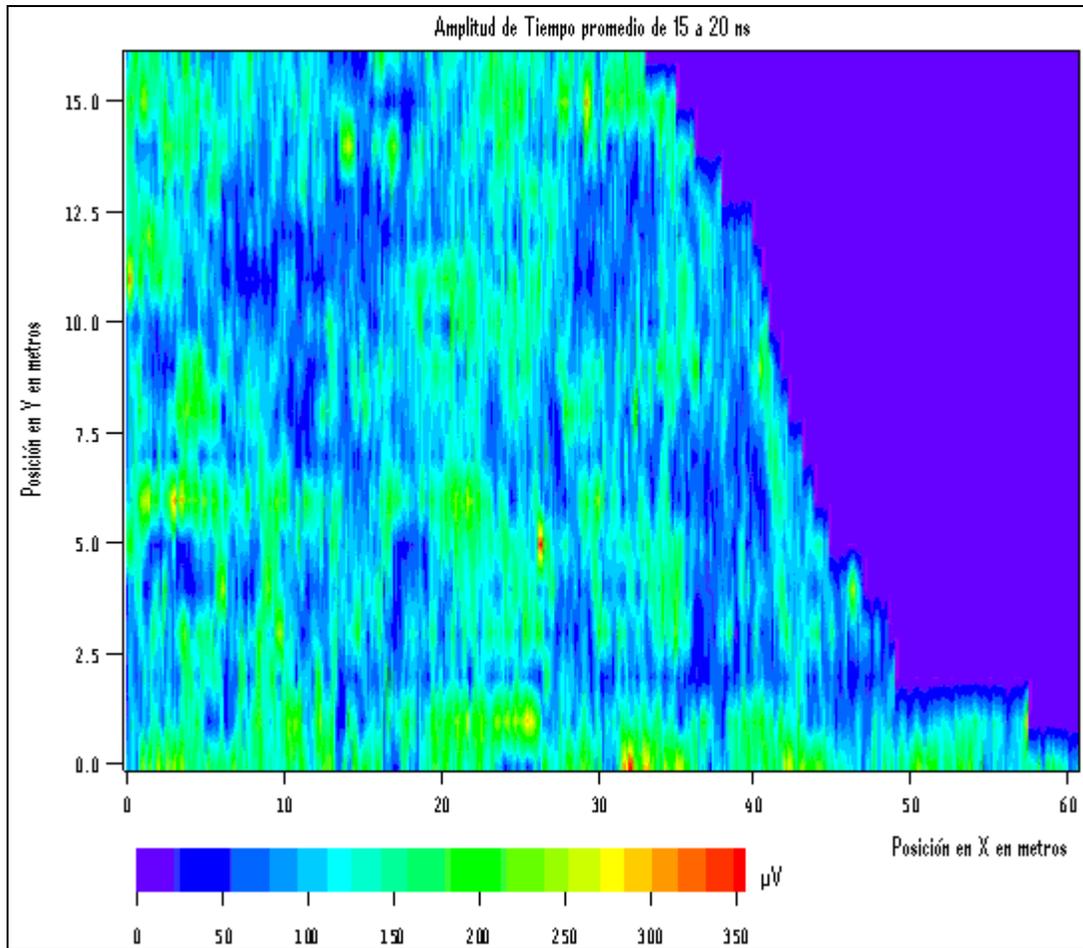


Figura V.33. Horizonte de tiempo de 15 a 20 ns obtenida en el procesamiento de datos del derrumbe 8/bloque 29 de la malla B.

V.3.5. Interpretación

Bloque 38

La figura V.34 es el horizonte de tiempo de amplitud promedio de entre 10 y 15 ns hecha en EKKO Mapper y filtrada en Profile Analyst para ver la estructura claramente. En la imagen se identifica una estructura ovalada en la Malla J. La figura V.35 muestra el horizonte de tiempo de amplitud promedio (filtrado en Profile Analyst) de 10 a 15 ns de la Malla I, que indica claramente una continuación de esta estructura ovalada. El valor del manual para la velocidad de migrado con sedimentos blandos era aproximadamente 0.15

m/ns; sin embargo, dicho valor no resolvía los datos claramente, por lo que todos datos de GPR fueron migrados usando una velocidad 0.112 m/ns, la cual resolvió los datos.

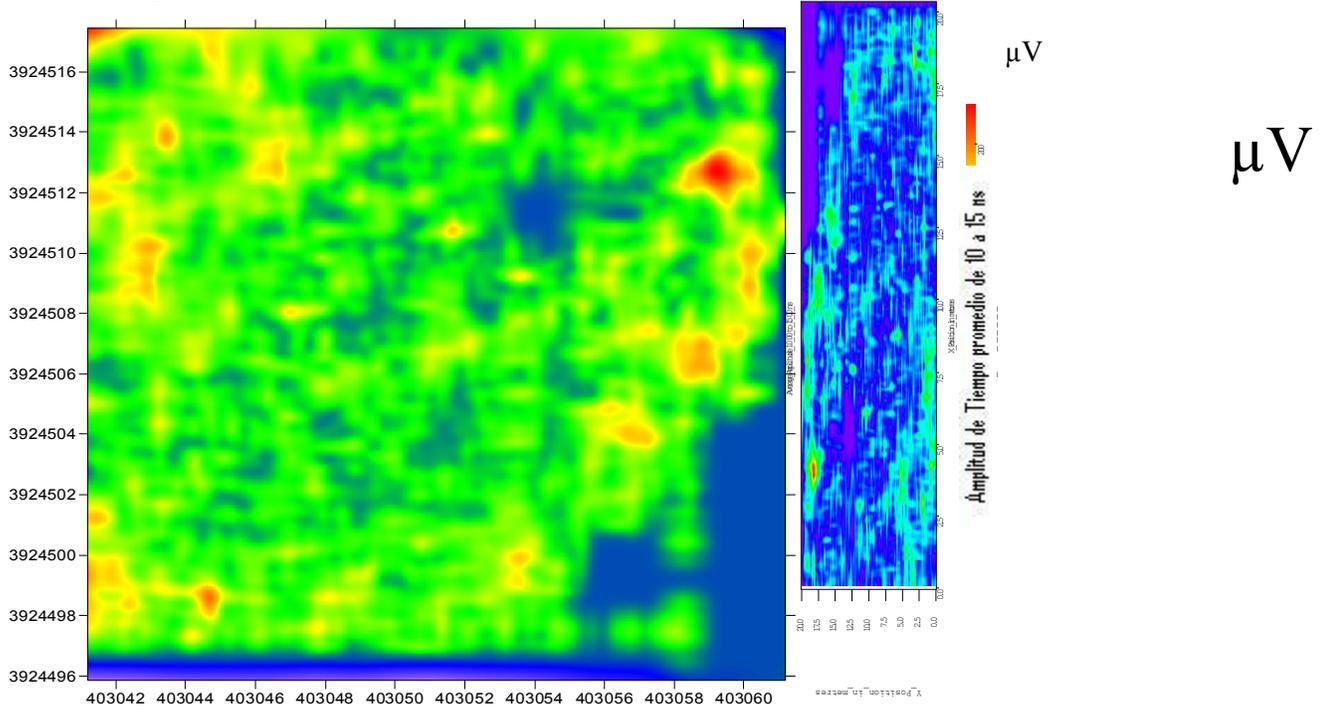


Figura V.34. Horizonte de amplitud de tiempo promedio de GPR (filtrado en Profile Analyst) de 10 a 15 ns de la Malla J. Nótese la estructura ovalada.

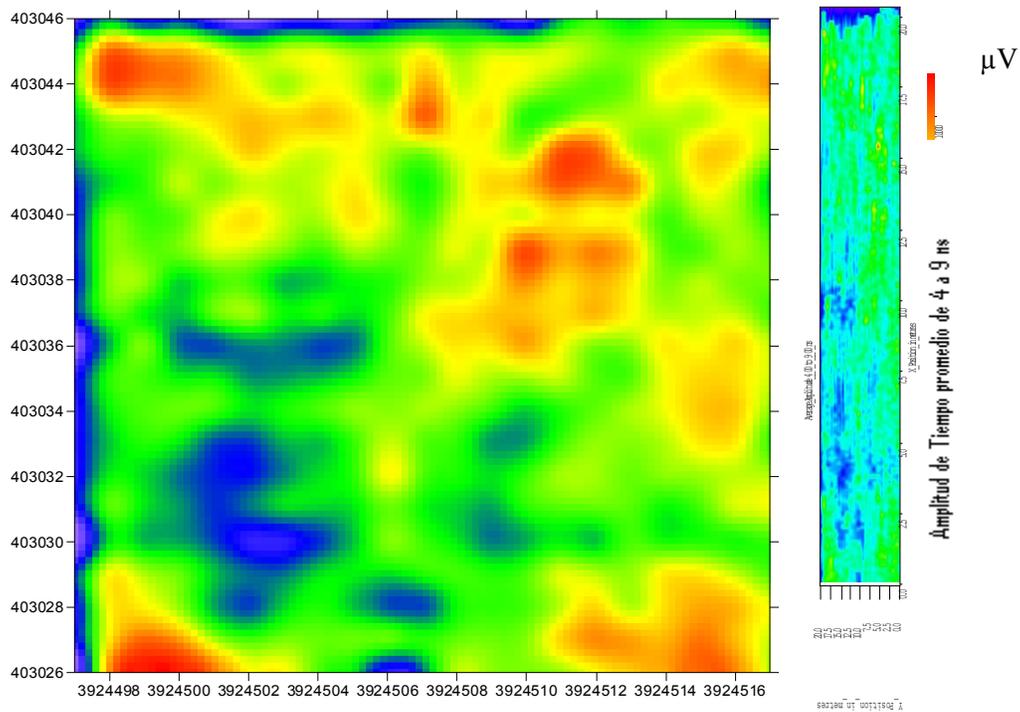


Figura V.35. Horizonte de amplitud de tiempo promedio de GPR (filtrado en Profile Analyst) de 10 a 15 ns de la Malla I. Nótese la continuación de la estructura ovalada de la Malla J.

Derrumbe 8

La figura V.36 es la amplitud promedio del horizonte de tiempo entre 8 a 13 ns de la Malla B; ésta muestra algunas características rectangulares no asociables con el Derrumbe 8.

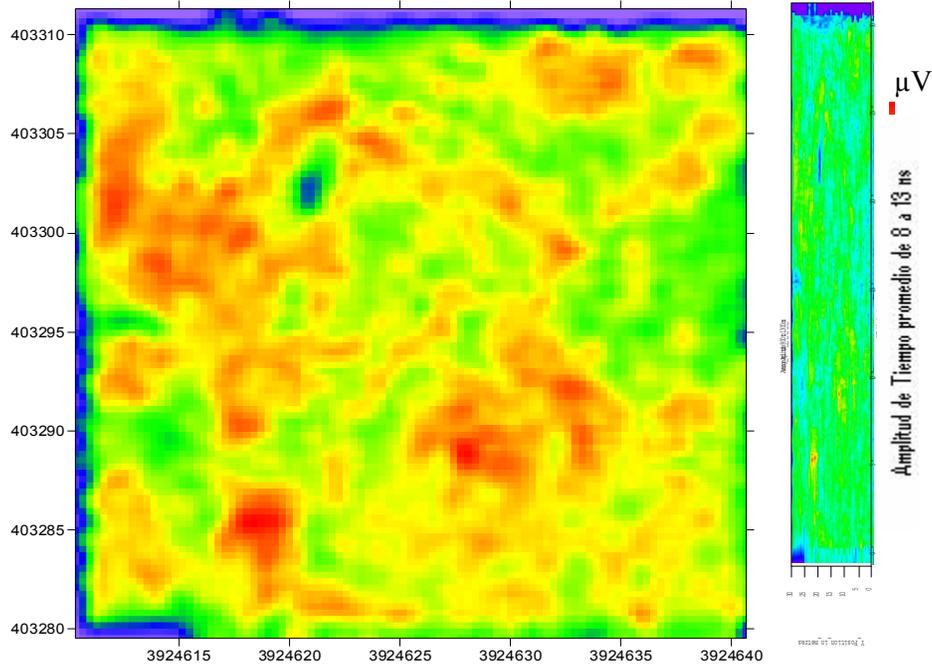


Figura V.36. Bloque 29 / Derrumbe 8. Nótese las características rectangulares.

La figura V.37 es la amplitud promedio de horizontes de tiempo entre 15 a 20 ns de la Malla A, en ella se observa la señal de un posible muro; sin embargo, ésta no es asociable al bloque 29 porque no coincide con la ubicación del bloque en el mapa.

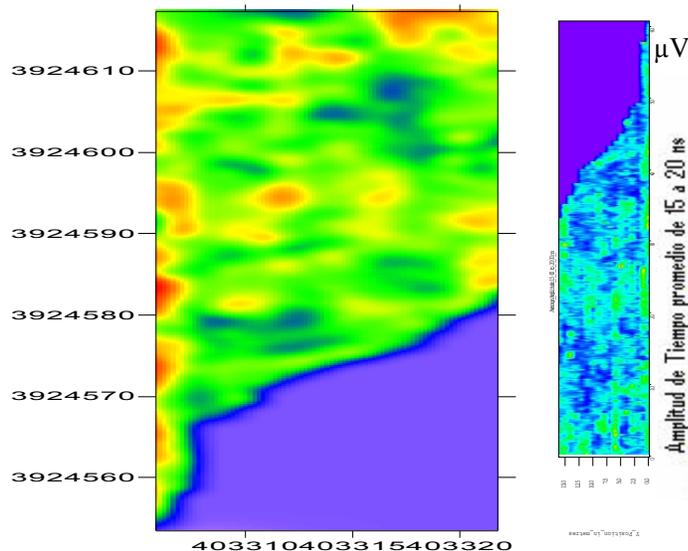


Figura V.37. *Bloque 29 / Derrumbe 8. Nótese las características rectangulares.*

V.3.6. Conclusiones particulares

Las características ovales que fueron ubicadas sobre las Mallas J e I, podrían ser el Bloque 38 como lo indican las figuras respectivas (Fig.V.38). En la Malla B se ubican características rectangulares que no se pueden asociar dentro del Derrumbe 8, teniendo forma de muro. Definitivamente la Malla A no es posible asociarla con los resultados del Bloque 29 (Fig. V.39). Desafortunadamente, los resultados previos no son coherentes y debido a la falta de datos no es posible ratificar algo.

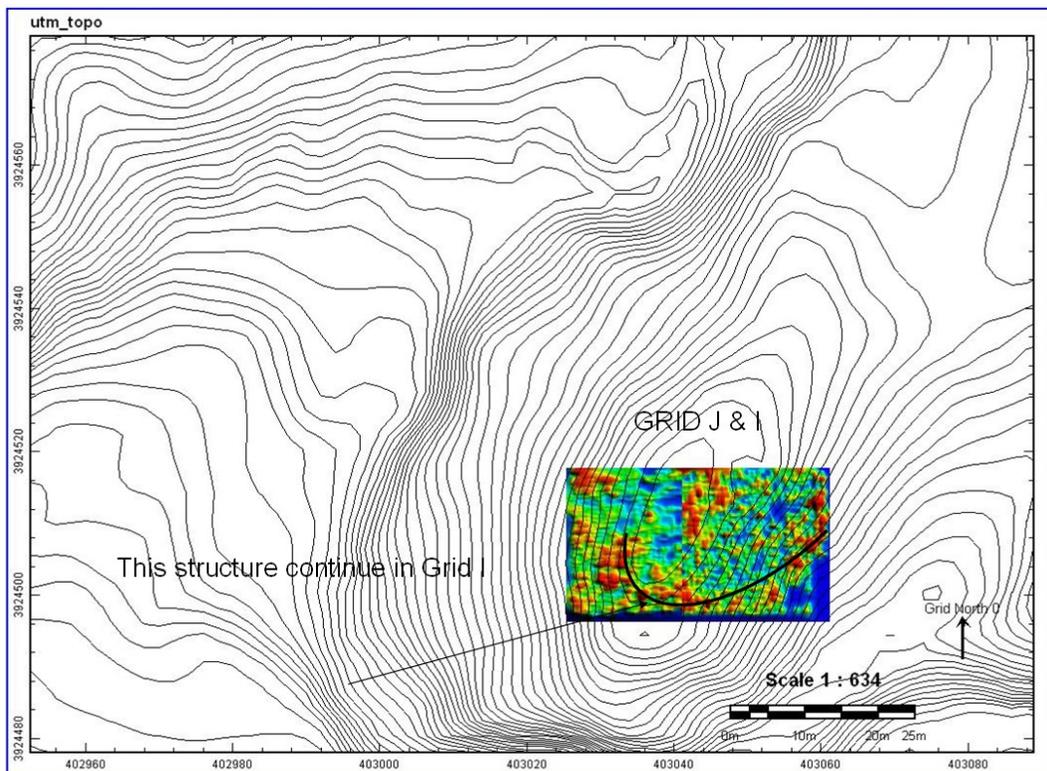


Figura V.38. *Mallas J e I. Nótese que la estructura ovalada continúa en ambas mallas.*

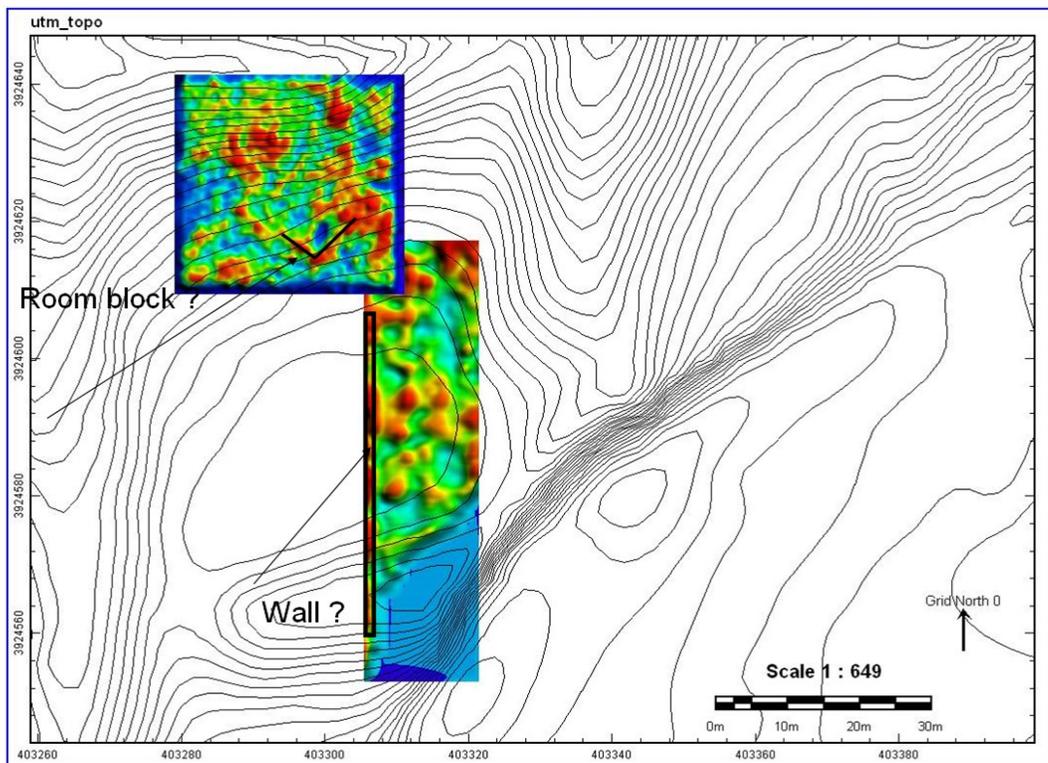


Figura V.39. Mallas A y B, estructuras posibles en ambas cuadrículas.

VI. Discusión y Propuestas

Una vez revisados los trabajos de exploración realizados en MASE y SAGE, en este capítulo presentamos una discusión de los elementos y características de programas como estos, los cuales brindarían un apoyo adicional extracurricular en la formación de profesionistas de alto perfil. Al final del capítulo se propone una serie de planes e ideas de interés, enfocados a la logística y desarrollo de la práctica integral que podría formar parte del currículo del egresado de Ingeniería Geofísica de la UNAM.

En el marco del nuevo plan de estudios (Anexo K) de la carrera de Ingeniería Geofísica (clave 1202), el perfil del egresado ha de ser tal, que cumpla con una visión globalizada de su carrera, satisfaciendo los requerimientos y expectativas tanto de los futuros ingenieros como de los empleadores.

Los programas académicos descritos en el Capítulo II, promueven la movilidad estudiantil para que los alumnos puedan cursar estudios de posgrado en entidades académicas de nivel internacional, principalmente norteamericanas. Existe la generación de vínculos académicos y personales para un sentido útil a la profesión. Se genera una perspectiva del ámbito de trabajo a nivel mundial, en especial de la industrial del petróleo. Además, se tiene una actitud activa hacia el aprendizaje de una lengua extranjera, particularmente del inglés. La participación en tales actividades ofrece al alumno la visión de ambiente de trabajo en un mundo globalizado.

Un elemento de relevancia en esos programas es la heterogeneidad del perfil de los discípulos asistentes; a pesar de que los alumnos provienen de carreras afines tales como física, matemáticas, geología y por supuesto geofísica, los grados académicos varían considerablemente, desde licenciatura hasta doctorado. Debido a esto, es de suma importancia la homogeneización en el conocimiento; de esta forma, el agregado de cursos teóricos impartidos en la primera parte de SAGE (ver Sección II.3.2), permite a los estudiantes renovar, recordar y adquirir nociones esenciales para comprender las bases físicas del método en cuestión, así como las generalidades en el diseño de un levantamiento geofísico, por lo que, en realidad, existe una relación y balance necesario e indispensable entre la teoría y la práctica. Durante el proceso de enseñanza, los diferentes profesores encargados, brindan una nueva perspectiva y diversas técnicas de trabajo, por lo que existe una vivificación de conocimientos deseable en cualquier área de la ingeniería en general.

El intercambio de conocimientos teóricos y prácticos en campo, característica común de MASE y SAGE, brinda al estudiante una nueva perspectiva en la planeación y adquisición en distintas técnicas geofísicas. Mediante el uso de tecnología no presente en la Facultad de Ingeniería, logramos establecer un aprendizaje completo e incluyente en las distintas ramas de la geofísica.

Al estar directamente involucrados en el diseño de un levantamiento geofísico, como alumnos, aprendimos a definir y evaluar los objetivos de interés; además, llevamos a cabo dicho levantamiento y concluimos con su interpretación. Lo cual nos dio una experiencia global sobre lo que implica un estudio geofísico, desde su concepción hasta la entrega de sus resultados. Dicho aprendizaje global es esencial para la vida laboral de un ingeniero geofísico y resulta un elemento deseable en una práctica escolar cuyo objetivo sea un egresado bien preparado para el mundo actual.

VI. 1. Ventajas vs Desventajas

El cuadro de estancias profesionales y de intercambio internacional presenta diversas ventajas y desventajas que el alumno debe ser capaz de conciliar a fin de obtener el máximo provecho en dichas circunstancias (Tabla VI.1).

Tabla VI.1.

Estancias e Intercambios	Ventajas	Desventajas
Factores Económicos:		Dinero, transportación, alimentos, hospedaje.
Aspectos técnicos:	Nuevas formas de trabajo y renovación de fundamentos teóricos.	Dominio del idioma, conocimientos teóricos y prácticos en geofísica.
Aspectos personales:	Integración a grupos de trabajo multidisciplinario, intercambio cultural, crecimiento personal.	Carencia de comunicación fluida y relaciones personales, trabajo en equipo, etc.

El trabajo realizado durante las estancias internacionales, permite el acercamiento a distintas formas de trabajo, las cuales difieren ampliamente de las técnicas convencionales aplicadas en prácticas escolares de carácter nacional. La razón de lo anterior radica, entre otros factores, principalmente en la organización metódica, desde el diseño fundamental de la práctica hasta la presentación y publicación de los resultados obtenidos en medios internacionales (por ejemplo *Geophysics*, *The Leading Edge*, *International Annual SEG Meeting*, entre otros). La planeación y ejecución depurada de las actividades contempladas, tanto de carácter teórico como práctico, permite que el estudiante aproveche adecuadamente el conjunto de conocimientos necesarios para el aprendizaje cabal en tales campos.

Como se ha descrito en el apartado anterior, al trabajar de manera sólida y unida a grupos diversos, existe una realimentación de conocimientos enriquecida por el intercambio de pensamiento crítico y enfocado al mejoramiento del resultado final. Una parte esencial en dicho proceso, es la convivencia e intercambio con estudiantes de múltiples nacionalidades. La reciprocidad entre esquemas variados de interacción, fortalece los lazos

de convivencia y de compañerismo laboral. El intercambio cultural que brinda la relación con estudiantes de todo el mundo permite el crecimiento y desarrollo de elementos personales, tales como la comunicación, el respeto y la tolerancia ante diversas perspectivas. Todos los elementos descritos anteriormente, fomentan y facilitan el trabajo y la convivencia en grupos multiculturales, esquema presente en la actualidad de la industria del petróleo y en prácticamente cada rubro de la geofísica.

Disímil a lo precedente, existen ciertos elementos económicos y personales que el alumno ha de contrarrestar durante la estancia y el intercambio internacional. Sean quizá, los elementos pecuniarios una traba menor; en el caso de SAGE, la Facultad de Ingeniería, a través de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, absorbió completamente el gasto generado en la transportación, por otra parte los gastos producidos durante la estancia, tales como la alimentación y hospedaje, así como el costo del curso mismo, fueron cubiertos por el consorcio de SAGE. En lo referente al intercambio de MASE, el Instituto de Geofísica de la UNAM patrocinó todos los rubros económicos. No obstante, se insta a los alumnos interesados a participar en eventos como estos, contemplen gastos adicionales.

Probablemente, los aspectos más difíciles a superar, sean de carácter personal; por ejemplo, el dominio del idioma inglés es fundamental en ésta y en prácticamente todas las áreas de la vida humana en la actualidad; los aspectos interpersonales, tales como la integración a grupos de trabajo y las relaciones humanas pueden diferir en ambientes internacionales, a los cuales, el alumno promedio no ha estado expuesto con anterioridad, lo cual puede resultar en un reto difícil de superar.

Contemplando ambos aspectos de las prácticas internacionales, la resolución es definitivamente positiva. El desarrollo profesional y humano adquirido durante estancias de esta categoría, fomenta el alto perfil de calidad esperado en egresados de la Universidad Nacional Autónoma de México buscado en el plan de estudios de Ingeniería Geofísica, el cual trata de formar ingenieros aptos para la innovación tecnológica en un mundo global, interconectado y altamente competido (Facultad de Ingeniería, 2006).

Las ventajas descritas anteriormente son apoyadas por la opinión de alumnos de la UNAM participantes de la práctica anual SAGE. En el Anexo G se presenta una encuesta con comentarios personales realizada a siete de los 10 estudiantes de la Facultad de Ingeniería que ha asistido a SAGE entre 1995 y 2006.

Los resultados muestran una tendencia favorable en los aspectos de logística y organización, más del 70% de los estudiantes consideran su estancia en términos generales como excelente; el 57% de los alumnos considera que la habilidad adquirida en el manejo del equipo geofísico fue excelente; el 70% de ellos afirma que la vinculación con el sector industrial y académico es bueno y 70% de los asistentes a SAGE se han visto favorecidos en la búsqueda y aceptación de un puesto de trabajo empresarial o de investigación. Finalmente el 100% de los alumnos considera conveniente la realización de un programa académico tal como SAGE en México.

Los resultados anteriores, en conjunto con los comentarios realizados por los participantes de SAGE, muestran sin lugar a duda la calidad e importancia profesional, académica y personal que dicho programa posee. La experiencia, habilidad, conocimiento y vinculación que ofrece evidentemente es propicia para el desarrollo y formación de estudiantes de alto nivel de la carrera de Ingeniería Geofísica.

VI. 2. Práctica Integral

El presente plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica (clave 1202) (Anexo K), aprobado por el H. Consejo Universitario de la UNAM marca como actividad curricular obligatoria, la realización de una práctica final integral, en la cual los diversos métodos de exploración sean involucrados en objetivos comunes (Facultad de Ingeniería, 2006). En este contexto, se presenta una propuesta para la planeación y desarrollo de una práctica integral.

La modificación en los planes de estudio marca una completa reestructuración en los paradigmas de educación; por tanto, para cumplir satisfactoriamente con los puntos esenciales de dicho plan, es necesario que el egresado cumpla con un perfil específico pre-establecido, un perfil que continúe y fomente el liderazgo de la Facultad de Ingeniería en el área de la geofísica de exploración, entre otras. La necesidad de capacitación y actualización y el uso de nuevas tecnologías favorecerán el desempeño laboral o docente de los egresados (Facultad de Ingeniería, 2006). Bajo tales circunstancias, la plena y total ejecución de una práctica de campo integral, dará las bases necesarias para el desarrollo armónico y exitoso de los estudiantes en vías de titulación y su incorporación al mercado laboral.

VI. 2. 1. Objetivos de la práctica integral

La realización de una práctica integral tendrá por objeto que el alumno asistente logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinario geofísico; así como fomente habilidades, aptitudes y actitudes interpersonales. Mediante la interacción y convivencia con personal externo a la Facultad de Ingeniería, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en la logística y diseño de un levantamiento, así como en la adquisición, procesamiento e interpretación de datos. Por razón del uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos en la solución de problemas existentes, de actualidad y relevancia, bajo condiciones de trabajo reales de interés académico y/o industrial.

VI. 2. 2. Perfil del alumno

A fin de que los estudiantes aprovechen de manera cabal, tanto en aspectos teóricos como de campo, la práctica integral es necesario que el número máximo de estudiantes inscritos en la práctica sea de 25; además, que el alumno cubra con ciertos requisitos académicos, entre ellos destacan:

- A. Cobertura total de los créditos en todas y cada una de las materias de prospección geofísica: Prospección Gravimétrica y Magnetométrica, Prospección Eléctrica, Prospección Sísmica y Prospección Electromagnética, tanto la parte teórica como sus prácticas respectivas, incluidas en el actual plan de estudio (clave 1202).
- B. Cobertura total de los créditos en materias del plan de Ingeniería Geofísica impartidas por el Departamento de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería, incluyendo las prácticas de campo respectivas.
- C. Conocimiento básico de los modelos directos de interpretación empleados en la exploración geofísica.
- D. Conocimiento esencial de plataformas LINUX y/o UNIX.
- E. Conocimiento básico de programación.
- F. Facilidad de comunicación y de trabajo en equipo.

VI. 2. 3. Perfil del instructor académico

Un elemento esencial en el pleno aprendizaje y desarrollo de la práctica propuesta, es el personal académico que impartirá sesiones teóricas y/o de campo. A fin de implementar eficazmente diversos estudios de exploración, se requiere de un mínimo de una persona calificada encargada de un método individual. En tal contexto es indispensable que el personal académico involucrado cumpla con diversos requisitos listados a continuación:

- A. Experiencia en la adquisición, procesamiento e interpretación de uno o más métodos de exploración geofísica.
- B. Conocimiento en la planeación y diseño de levantamientos geofísicos.
- C. Conocimiento avanzado en técnicas computacionales.
- D. Compromiso, dedicación y paciencia.
- E. Conciencia sobre la importancia de llevar a cabo una práctica de calidad para la obtención de datos y resultados de calidad, pues se estará resolviendo un problema real.

En base a las ventajas observadas en la Sección VI.1 y como parte de los objetivos principales, se tiene en cuenta la integración y cooperación entre grupos multidisciplinarios; por tanto, se propone que el conjunto de personal académico y técnico sea propio de instituciones de investigación o educación externas a la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Bajo tal esquema, la integración de equipos independientes, permitirá una

colaboración institucional íntima con dichas agencias, que fortalecerá las relaciones y el contacto entre las mismas; conjuntamente, los alumnos tendrán la oportunidad de conocer los proyectos de investigación realizados en los diversos organismos nacionales dedicados a la investigación y enseñanza de la geofísica, con el fin de tener un panorama extenso en los campos de desarrollo profesional y personal; así como una experiencia diferente en las formas de trabajo, las técnicas utilizadas y la visión del problema y de los procesos enseñanza/aprendizaje. Por otro lado, la vinculación entre las instituciones propiciará el intercambio de experiencias, conocimiento, infraestructura y recursos humanos (académicos y alumnos).

VI. 2. 4. Elementos de un estudio geofísico óptimo

Un estudio geofísico puede ser sintetizado en tres partes principales:

1. Planeación y diseño

Definición del objetivo de interés: Las preguntas relevantes, que se tienen que contestar para identificar y definir el objetivo del trabajo a realizar, son entre otras ¿qué rasgo geológico notorio, en ámbitos de investigación o exploración, se busca?, ¿cuáles son las posibles dimensiones de dicho objetivo?, ¿existen parámetros físicos y/o geológicos inherentes al objetivo?, ¿cuál es la profundidad máxima esperada a explorar?

Marco tectónico: Una vez identificado el objetivo, es necesario establecer un marco tectónico, el cual permitirá establecer la geología histórica y el marco estructural, así como la correlación con la información geológica diversa. Para esto se tienen que contestar preguntas como ¿qué sucesos geológicos y tectónicos influyeron en la formación de las distintas unidades estratigráficas a estudiar?, ¿existen modelos geológicos previos de objetivos similares?, ¿actualmente concurren ambientes, provincias o agentes tectónicos análogos a aquellos relacionados con el génesis del objetivo?, ¿qué unidades estratigráficas restringen al objetivo?

Estudios geofísicos: De acuerdo con las características del objetivo a estudiar, se define el estudio geofísico a realizar. Algunas preguntas cuyas respuestas pueden ayudar son: ¿a qué propiedad física del subsuelo distintiva responde el objetivo?, ¿qué método o combinación de métodos podría reflejar una anomalía de interés?, ¿cuál es la profundidad máxima que el método puede alcanzar?, ¿existen modelos geofísicos previos de interés?

Diseño: Una vez seleccionado el método geofísico más adecuado, es necesario diseñar el levantamiento. Tal diseño debe ser óptimo a fin de que el trabajo de campo sea eficaz y los resultados de calidad. Así, algunas preguntas que pueden ayudar a un óptimo diseño son ¿qué tipo de tendido es el más adecuado, perfiles o mallas?, ¿cuáles son las dimensiones mínimas y máximas en un tendido para alcanzar los objetivos?, ¿cuál es el intervalo de muestreo (espacial y/o temporal) más conveniente?, ¿existen limitaciones antropogénicas que interfieran con los estudios?

2. Adquisición

Logística de trabajo: Para la realización del levantamiento es importante contar con una logística eficiente, esto ahorrará tiempo, dinero y esfuerzo. Algunas preguntas que llevarán a un trabajo de campo adecuado son ¿cuál es la mejor manera de llevar a cabo el estudio rápida y eficazmente?, ¿cuántas personas trabajarán en las brigadas de campo? Además, todo el personal de campo debe ser capaz de operar, al menos una vez, las distintas partes que conforman el levantamiento de campo, ya sea desplegando el equipo de campo, generando la fuente de excitación y registrando la respuesta de la Tierra.

En estudios integrales la organización resulta un elemento esencial. Tal es el caso del trabajo realizado en San Marcos (descrito en el Capítulo V); en equipos de tres personas se adquirieron datos de GPR, magnetometría, FDEM y refracción; cada equipo trabajó individualmente con cada método, después de una hora de trabajo en cada estación, los equipos fueron rotados para lograr un manejo cabal de cada uno de los métodos geofísicos utilizados.

Levantamientos geológicos: A fin de asimilar la información necesaria, los levantamientos geológicos permitirán conocer el marco tectónico y estructural del área de estudio. Para tal fin es deseable contar con una ruta predefinida en la cual los afloramientos revelen la información geológica más sobresaliente que permita restringir los modelos geofísicos. |

Levantamientos geofísicos: La parte medular de las prácticas de campo es la adecuada y eficaz recolección de datos geofísicos, tales levantamientos seguirán los pasos previos descritos, en la medida del tiempo de trabajo, accesibilidad y número de alumnos y de equipo.

3. Procesamiento e interpretación

Procesamiento e interpretación: La información recolectada debe ser procesada y analizada inmediatamente después de las actividades de campo, siguiendo un flujo de trabajo preestablecido, así se tienen frescos los detalles observados en campo que pueden ayudar a una mejor interpretación; además, es posible regresar al sitio para verificar cualquier elemento de los modelos propuestos.

Durante la integración de los datos geofísicos, es necesario el trabajo en grupos multidisciplinarios, tal como se hace hoy en día en la industria. El objetivo es simplemente obtener mayor cantidad de información útil a partir de todos los datos disponibles. Adicionalmente, la correlación entre elementos de interés, resultados de

las diversas técnicas de exploración o interpretación, es fundamental para la elaboración de una interpretación significativa y regional; además, a través de la integración de datos es posible disminuir el número de variables y la incertidumbre en el modelo geológico propuesto.

De esta forma, la metodología seguida en SAGE, permitió una estrecha relación con cada uno de los estudios de exploración realizados. El trabajo de análisis de la información recolectada en SAGE, fue desarrollado por grupos interdisciplinarios, formados por cinco estudiantes y un asesor técnico. Su objetivo era la plena y cabal integración de los diversos métodos geofísicos empleados; así cada estudiante procesó e interpretó datos de la prospección por la cual manifestó interés. A cada estudiante se le asignó un tutor académico, el cual sirvió de tutela a través de todo el flujo de análisis. Finalmente, una combinación formada por todos los estudios en los cuales trabajó el equipo, permitió un análisis completo del área de estudio.

Con el objeto de realizar una evaluación y un control de calidad detallado de las actividades realizadas durante SAGE, se redactó un reporte escrito con el formato estándar de la SEG y se presentaron los resultados obtenidos en una exposición de 12 minutos, en la cual se describió de manera breve los pasos realizados durante el procesamiento, interpretación y modelado de la información. Por último, una presentación hecha por el jefe de equipo de cada equipo de trabajo, permitió conocer e integrar los diversos resultados obtenidos.

Además del aprendizaje resumido en las tres etapas descritas, en un programa con un esquema similar, el estudiante podrá apreciar que estas actividades, además de cubrir el aspecto técnico de un levantamiento geofísico, le brindan una comprensión cabal de la información adquirida a través de la interrelación entre estudios de campo, que sus habilidades de redacción de reportes técnicos, presentados para evaluación de sus pares, son fomentadas y su capacidad de presentación concreta de forma oral de su trabajo ante un público crítico es desarrollada, que el contacto directo con el personal académico y técnico crea una relación personal estrecha, lo que permite una convivencia armónica. Es decir, este esquema cubre con los conocimientos, habilidades, aptitudes y actitudes que se esperan de un egresado de Ingeniería Geofísica de la UNAM según su plan de estudios, clave 1202 (ver Facultad de Ingeniería, 2006).

VI. 2. 5. Lugar de estudio

El área posible de estudio puede comprender una zona o conjunto de ellas que sean una provincia tectónica, en donde se presente una serie de elementos necesarios a fin de producir una plena respuesta o anomalía de interés, registrada con los diversos métodos exploratorios a emplear. Por tanto, el comité organizador deberá realizar una serie de estudios previos al desarrollo de la práctica:

- i) Reconocimiento del lugar. El comité hará una búsqueda extensa de la bibliografía geológica y geofísica previa en el área. En viajes de campo previos se reconocerán los posibles afloramientos que revelen una comprensión mayor acerca del pasado geológico de la región. Así como los posibles lugares en los cuales se desplegará el equipo geofísico.
- ii) Servicios básicos. Se pasará lista a los componentes necesarios tales como servicios básicos y centros de atención médica; se examinará el conjunto de vías terrestres de comunicación y servicios de telecomunicación.
- iii) Reconocimientos geofísicos. Con base en el punto i) se llevarán a cabo campañas geofísicas de menor escala, con el objeto de observar y analizar la respuesta de las diversas técnicas y obtener información de interés en el diseño de los levantamientos geofísicos propuestos.

La selección del sitio puede surgir a partir de una cartera de proyectos existentes en instituciones académicas o de la industria que cumplan con las características i) y iii) principalmente y que sean aptos para una práctica como la propuesta en esta tesis. Consideramos un factor muy importante que la selección del proyecto/sitio considere el impacto que tendrán sobre él los resultados obtenidos de la práctica.

VI. 2. 6. Infraestructura

Los elementos de infraestructura indispensables para el desarrollo exitoso de una práctica de larga duración se enlistan seguidamente:

- A. Instalaciones de hospedaje, en donde todos los asistentes al evento encuentren los servicios básicos, agua, gas y electricidad, así como los servicios de alimentación. Puede tratarse de un campamento para los días del levantamiento.
- B. Salón de clases donde se repasarán las bases teóricas obligatorias y se llevarán a cabo presentaciones y discusiones generales. Éste no tiene que estar en las inmediaciones del sitio donde se llevarán a cabo los estudios geofísicos, pero la distancia entre ellos no deberá ser recorrida en más de dos horas. Esto permitirá los reconocimientos geológicos previos y de verificación durante la interpretación; así como las actividades nocturnas propuestas.
- C. Un sitio donde el equipo esencial (herramientas, material eléctrico y electrónico) y los instrumentos geofísicos puedan ser almacenados de manera segura y confiable.
- D. Un laboratorio de cómputo especializado, con instalación de red y adecuado a las necesidades computacionales de análisis, procesamiento, interpretación y modelado de datos geofísicos. Estaciones de trabajo con plataforma Windows y LINUX o UNIX, con el fin de utilizar los diversos paquetes de procesamiento e interpretación propios y comerciales. Un mínimo de 5 estaciones de trabajo con compatibilidad de integrar computadoras personales y portátiles. En caso de no contar con instalaciones como las descritas anteriormente, será necesario

contemplar la implementación temporal de un laboratorio propio, en una estructura habitacional que ofrezca tomas de corriente adecuadas e, idealmente, líneas telefónicas.

- E. Disposición de elementos bibliográficos, tales como libros, revistas y artículos científicos en el ámbito de las matemáticas, física, geofísica y geología regional y local.
- F. Lugares de estacionamiento.

VI. 2. 7. Organización

La organización del evento comprenderá el desarrollo de la práctica como tal. Desde su inicio hasta su conclusión.

El personal involucrado comprenderá un coordinador cuyas funciones englobarán todas las actividades de la práctica desde su inicio hasta su conclusión; habrá un coordinador del proyecto quien supervisará la parte académica y de campo para garantizar el cumplimiento de los objetivos de los estudios geofísicos y geológicos y se apoyará en instructores académicos, autorizados en la impartición de las revisiones técnicas, así como los cursos prácticos. Debido al carácter multidisciplinario del evento, dichos instructores conformarán un conjunto de maestros o tutores facultados del área de geofísica, así como a la geología en la zona de estudio. Éstos serán asistidos por técnicos, cuya finalidad será el apoyo logístico, académico y técnico en cualquier fase de la práctica. Además se requiere de un representante por parte de la Facultad de Ingeniería quien será el responsable administrativo de logística y organización, además supervisará el registro de los estudiantes así como su progreso en el desarrollo de la práctica y garantizará la continuidad de los estudios realizados y su análisis e interpretación subsecuentes. Todo este personal estará disponible en el horario de trabajo establecido. Se contempla también la participación parcial de representantes de empresas. La figura VI.1 presenta un organigrama de todo el personal descrito anteriormente.

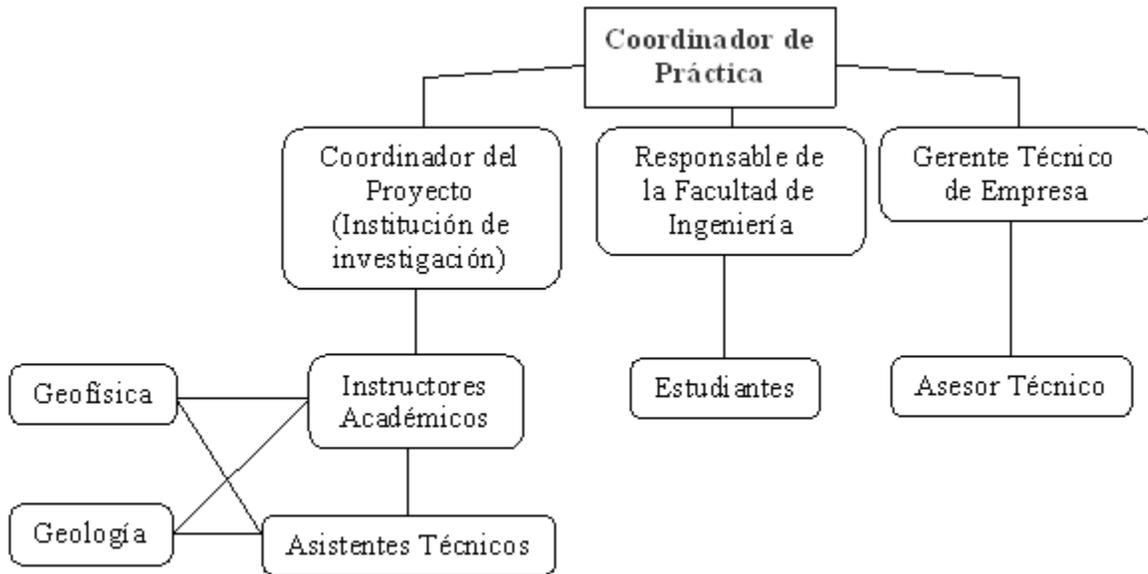


Figura VI.1. Organigrama del personal involucrado.

Los estudiantes asistirán a una serie de cursos teóricos de cada uno de los métodos geofísicos a emplear durante la primera etapa de trabajo, simultáneamente con un curso corto de la geología en la zona de interés.

Posteriormente, los estudiantes serán divididos en equipos. En cada día de trabajo de campo, los equipos trabajarán en forma individual con un solo método de exploración en compañía del instructor encargado del mismo. Al final de la etapa, todos los equipos habrán adquirido habilidades en cada uno de los procedimientos prospectivos.

En la última etapa, cada alumno trabajará en un tema seleccionado de acuerdo al interés propio, posteriormente se formarán equipos de cinco personas, con el fin de integrar la información geológica y geofísica obtenida durante el procesamiento, interpretación y modelado de datos. La última actividad consistirá en una exposición temática del método seleccionado, así como la entrega de un reporte escrito, en donde se describan detalladamente, los procesos aplicados a la información, incluyendo la interpretación geológica resultado de los modelos realizados.

Durante el transcurso de la práctica se impartirán conferencias relacionadas con temas de vanguardia relacionados con investigación y exploración geofísica, por parte de personas directamente relacionadas con institutos, organizaciones gubernamentales e industria.

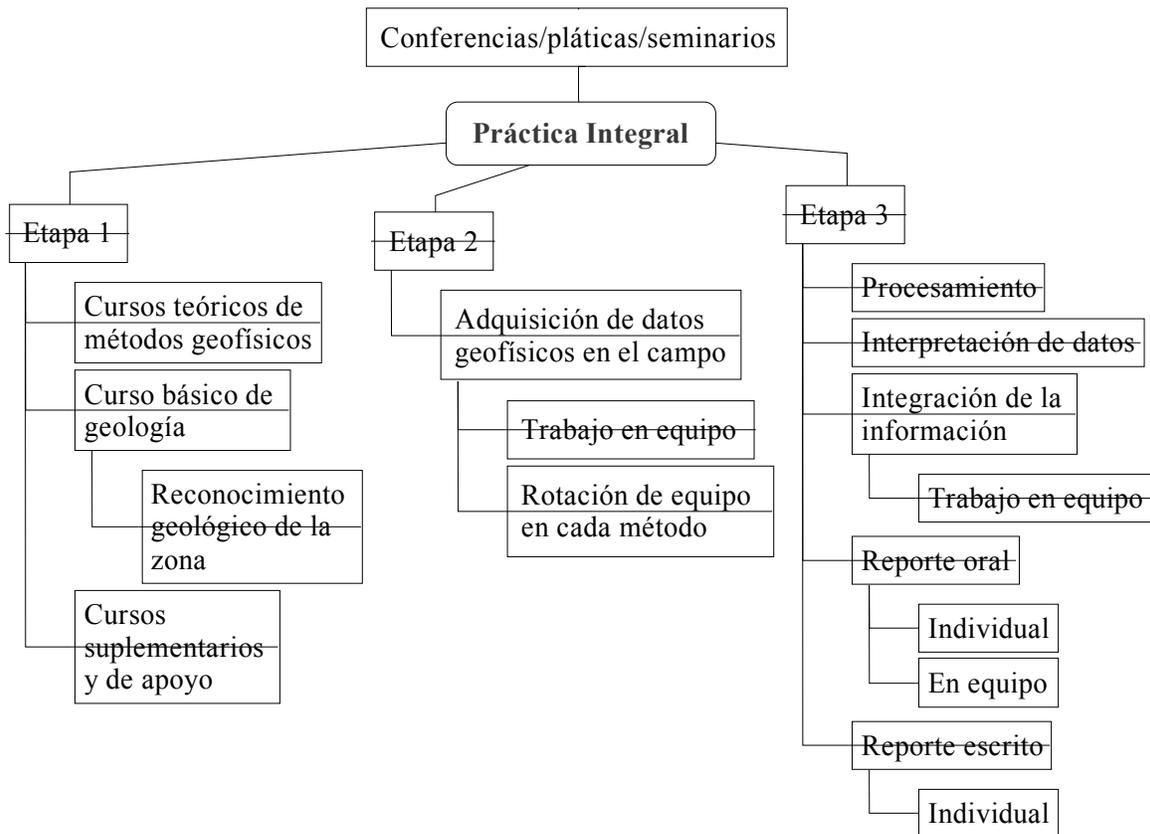


Figura VI.2. Mapa conceptual de las actividades a implementarse en la práctica propuesta.

VI. 2. 8. Cursos Teóricos

El marco teórico necesario de cada método de exploración será cubierto por el alumno al concluir exitosamente el programa de estudio respectivo. No obstante, debido al periodo comprendido entre la finalización de ciertos cursos de prospección y la realización de la excursión de campo, el alumno necesitará revisar de manera básica los fundamentos teóricos, así como los elementos indispensables del proceso de adquisición, procesamiento e interpretación de cada materia prospectiva. Adicionalmente, si se contempla un intercambio estudiantil y una estrecha cooperación con otras entidades educativas en el área geofísica, será necesaria una nivelación de conocimientos entre los asistentes. Por tal motivo, a continuación se presenta un compendio o temario de las unidades indispensables cubierto por los cursos propuestos que se han de impartir durante la primera semana de actividades de la práctica de campo final. El número entre paréntesis representa el contenido en horas necesarias para revisar complementemente la información de interés.

- 1) Exploración Geológica (3.5)
 - 1.1. Planeación y objetivos
 - 1.2. Marco Tectónico
 - 1.3. Estratigrafía regional y local

- 2) GPS (4.5)
 - 2.1. Teoría de medición y correcciones
 - 2.2. Instrumentos de campo

- 3) Método Gravimétrico (3.5)
 - 3.1. Concepto de gravedad observada
 - 3.2. Reducción de datos
 - 3.3. Planeación de levantamientos gravimétricos
 - 3.4. Criterios para la interpretación de anomalías

- 4) Método Magnetométrico (3.5)
 - 4.1. Ecuaciones fundamentales del campo magnético terrestre
 - 4.2. Anomalía magnética
 - 4.3. Planeación de levantamientos magnéticos terrestres
 - 4.4. Criterios de interpretación

- 5) Métodos Eléctricos (4)
 - 5.1. Concepto de resistividad aparente
 - 5.2. Planeación de sondeo eléctrico vertical (SEV). Arreglos Wenner y Schlumberger
 - 5.3. Diseño de estudios de tomografía eléctrica
 - 5.4. Técnicas de interpretación, 1-D y 2-D

- 6) Métodos Sísmicos (6)
 - 6.1. Identificación de eventos sísmicos registrados en gráficas (t, x)
 - 6.2. Técnicas del método de refracción
 - 6.3. Esquema de adquisición del método de reflexión
 - 6.4. Secuencia básica de procesamiento
 - 6.5. Construcción de imágenes sísmicas
 - 6.6. Bases de interpretación

- 7) Métodos Electromagnéticos (4)
 - 7.1. Ecuaciones de Maxwell
 - 7.2. Estudios FDEM, TDEM, MT y GPR
 - 7.3. Procesamiento de datos

7.4. Interpretación

Los aspectos técnicos indispensables serán cubiertos durante los cursos anteriores, no obstante, por razones de seguridad, los siguientes cursos serán igual de importantes para asegurar la integridad física de los asistentes:

8) Cursos complementarios (3)

8.1 Primeros auxilios

8.2 Seguridad en el campo

VI. 2. 9. Calendario de actividades

El Anexo H comprende un posible calendario de actividades a realizar durante las casi cuatro semanas comprendidas en la práctica global multidisciplinaria e integral de prospección geofísica, si bien en dicho calendario se proponen 23 días de trabajo, sólo las condiciones, los recursos, disposición y necesidades particulares para cada práctica, así como la experiencia, ratificarán este periodo de tiempo.

El calendario consta de tres secciones:

La primera comprende los cursos teóricos propuestos con el fin de homogenizar los conocimientos de los estudiantes para lo cual se impartirán los fundamentos de los métodos geofísicos a emplear, así como la geología básica del lugar de estudio y una introducción a los sistemas de información geográfica. Se introduce todavía en esta parte una pequeña salida a campo de reconocimiento previo al estudio formal con el fin de familiarizarse con el equipo y verificar que efectivamente se puede aplicar la metodología propuesta del estudio de prospección a realizar.

La segunda parte consta de la adquisición formal de los datos de campo para lo cual se propone formar cinco brigadas de trabajo. Cada brigada trabajará cada día un método geofísico diferente, lo que permite trabajar en cinco días todos los métodos de prospección contemplados (gravimétricos, magnetométricos, sísmicos, eléctricos y electromagnéticos). Con esto se pretende la rotación del trabajo y que todos conozcan, operen y adquieran destreza en el manejo de equipo.

La tercera parte propone el procesamiento e interpretación de los datos. Primeramente se consideran dos días y medio de procesamiento y la misma cantidad para la interpretación. También se considera un día para la presentación final de un reporte escrito y una presentación oral con el fin de evaluar el trabajo realizado durante la práctica y tener una calificación previa a la materia.

El calendario es propuesto con base en la experiencia en SAGE, el plan de estudios vigente de la carrera de Ingeniería Geofísica (clave 1202), los conocimientos mínimos requeridos para una buena prospección y algunos aspectos psicopedagógicos que garantizan

el buen aprovechamiento de los estudiantes, entre ellos, las horas de comida, los descansos, el evitar la fatiga intelectual poniendo clases teóricas extensas después de comer, así como proponiendo días completos de descanso al final de las primeras dos secciones, ya que eso es parte de una óptima administración de la energía y fortalece una convivencia social entre estudiantes y profesores. También se contempla en el diseño del calendario, para evitar los festejos excesivos de los estudiantes en los días de descanso, una reunión con el fin de verificar y planear las actividades del día siguiente. También se intercalan al final algunos días en todas las secciones del calendario, conferencias nocturnas de algún experto en investigación o en la industria, diferentes a los participantes académicos, con el fin de motivar a los estudiantes en el mundo de la geofísica y ver su aplicación real en la vida cotidiana.

VI. 2. 10. Marco financiero

La organización y ejecución de una práctica integral como la pretendida, exigirá de recursos económicos para cubrir aspectos indispensables tales como: transporte, alimentación, hospedaje, equipo geofísico y de cómputo, entre los más relevantes. Por tanto, es inexorable la necesidad de contar con alianzas estratégicas con instituciones académicas y de investigación como con empresas relacionadas con diversos ámbitos geofísicos. El apoyo y/o patrocinio brindado por tales, permitirá contar con la infraestructura elemental para el pleno cumplimiento de los objetivos pretendidos, de tal suerte se presenta un análisis económico general que contempla los diversos elementos financieros a considerar.

VI.2.10.1. Presupuesto

En el Anexo I se propone una hoja de cálculo en el que se especifican el presupuesto de ingresos/egresos por día calculados por persona, al tener el costo final por persona es posible hacer el cálculo para grupos de cualquier número de integrantes. Los gastos presupuestados se dividen en retenciones como lo es cubrir el seguro estudiantil de prácticas, infraestructura académica que incluye la compra o no de equipo geofísico y de computación, papelería, libros, artículos, etc.; así como gastos fijos como lo son transporte, comida, y alojamiento; finalmente, gastos variables que incluyen gastos personales. Los montos están en pesos mexicanos actualizados a febrero de 2007. Se presenta el gasto por porcentaje en cada rubro con el fin de hacerlo aplicable a años futuros.

Cabe resaltar que la práctica aquí propuesta puede ser llevada a un proyecto del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), de la UNAM. Dicho programa apoya hasta con \$200,000.00 anuales a proyectos para que conduzcan a la innovación y al mejoramiento de la enseñanza (<http://dgapa.unam.mx/programas/fortalecimiento/papime/papime.html>).

En caso de que las actividades realizadas en la práctica sirvan para resolver un problema real, propuesto por un proyecto de investigación o de la industria, sería idóneo

que dicho proyecto cubriera parte de los costos en los que se incurrirían. Así, los porcentajes de inversión serían distribuidos entre el proyecto que servirá como marco para la práctica, la Facultad de Ingeniería y fuentes externas (por ejemplo, compañías patrocinadoras, proyecto PAPIME, etc.).

VI. 2. 11. Fuentes de apoyo

En el Anexo J se presenta la redacción de diversas cartas de acercamiento y contacto dirigidas a los posibles mecenas o benefactores, cuyo abrigo protector incrementará la calidad en el desarrollo y enmendará componentes esenciales de la práctica. En dichas epístolas, se solicita el apoyo de infraestructura, financiero, académico y/o técnico tanto a organismos investigadores como a empresas privadas, resaltando la importancia y beneficios generados por dichas alianzas.

Conviene entonces clasificar a los organismos académicos y privados de acuerdo a la línea de trabajo que siguen, a fin de obtener una distribución clara del apoyo que se tiene que solicitar y con el que se podría contar:

- i) Instituciones Educativas: Instituto Politécnico Nacional, Benemérita Universidad Puebla, Universidad Veracruzana, Instituto Tecnológico de Madero, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Universidad de Nuevo León - Unidad Linares, Universidad de Sonora, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Universidad Autónoma de Chihuahua, Universidad de Colima.
Estas instituciones podrían brindar proyectos, infraestructura, personal académico, estudiantes y financiamiento.
- ii) Instituciones de Investigación y desarrollo: Instituto de Geofísica, Instituto Mexicano del Petróleo, Comisión Nacional del Agua, Centro de Geociencias (Juriquilla, Qro.), Centros de Investigación y de Estudios Avanzados, Servicio Geológico Mexicano, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
Estas instituciones podrían brindar proyectos, infraestructura, personal académico y financiamiento.
- iii) Empresas de exploración y producción: Petróleos Mexicanos, Peñoles, Comisión Federal de Electricidad.
Estas instituciones podrían brindar proyectos, infraestructura, personal técnico y financiamiento.
- iv) Empresas integrales de servicios (adquisición, procesamiento e interpretación): Schlumberger, Halliburton, Compañía Mexicana de Exploraciones, Compañía General de Geofísica, Consultores en Ingeniería Geofísica S.A. de C.V.

Estas instituciones podrían brindar proyectos, infraestructura, personal técnico y financiamiento.

- v) Empresas dedicadas a la venta y/o renta de equipo: *GEOTEM, Scintrex, Sensor & Software*. Grupo GEOLEC (*Geometrics*).
Estas instituciones podrían brindar equipo, soporte técnico y financiamiento.
- vi) Empresas dedicadas al desarrollo y venta de software: *Landmark*.
Estas instituciones podrían brindar software, soporte técnico y financiamiento.
- vii) Empresas dedicadas al procesamiento: *Paradigm, Comerlat*.
Estas instituciones podrían brindar software, soporte técnico y financiamiento.
- viii) Empresas dedicadas a la interpretación: *Fusion Petroleum Services de México*.

Estas instituciones podrían brindar soporte técnico y financiero.

VII. Conclusiones

Los estudios geofísicos realizados durante intercambios y estancias profesionales de carácter internacional muestran resultados satisfactorios en sus respectivos ámbitos de interés. La aplicación de logísticas y de ejecuciones estructuradas y predefinidas permite la integración multidisciplinaria de la información geofísica recolectada, validando los resultados descritos en capítulos previos.

VII. 1. Conclusiones particulares de cada método de exploración

Las conclusiones expuestas a continuación, para cada caso, prueban de manera infalible la importancia de estudios multidisciplinarios e integrales, los cuales llevados a cabo con una organización depurada y ejecución meticulosa, producen información confiable de interés académico e industrial.

La interpretación y análisis del perfil gravimétrico adquirido en la etapa de desarrollo de MASE desde Acapulco a Tampico, reveló indicios de la posible geométrica del plano de Benioff de la placa de Cocos. El descenso gradual de la placa en distancias cercanas a la trinchera es reflejado como un máximo gravimétrico, de tal suerte que en la zona de interplaca, la anomalía de Bouguer decrece hasta llegar a un mínimo relativo, cercano a la FVTM, donde los datos gravimétricos no permiten la resolución adecuada. La pendiente gráfica en el primer segmento de la anomalía está indirectamente relacionada con la inclinación de la placa, próxima a 30°. Los resultados obtenidos son coherentes con estudios previos realizados en la zona de interés. El comportamiento en latitudes mayores a la FVTM está regido, principalmente, por las variaciones superficiales geológicas presentes. Dicha información permitirá obtener modelos tectónicos de mayor validez y realidad geológica. Los nuevos estudios a realizar, examinarán los resultados presentados, a fin de diseñar de manera óptima levantamientos que reduzcan la incertidumbre en áreas de análisis complejo, así como evaluar su validez.

Por otro lado, la adquisición, procesamiento e interpretación, de manera conjunta, de una línea sísmica de reflexión durante el programa SAGE 2006, mostró la compleja relación sedimentaria, estructural y tectónica presente en la cuenca de Hagan. Se logró obtener una aproximación confiable de los espesores de las unidades Terciarias, como el grupo Santa Fe, Galisteo y Espinazo, así como de unidades cretácicas y jurásicas. La interpretación sismoestratigráfica realizada muestra el espesor total del grupo Santa Fe en 400 m, disímil al reporte hidrogeológico de Hawley (2006). La profundidad del basamento en la zona de estudio es cercana a 2600 m. Toda la información obtenida a partir de la línea sísmica fue correlacionada con datos de pozo, estudios gravimétricos y electromagnéticos con el objeto de complementar la interpretación final.

El estudio electromagnético transitorio conjunto realizado en el área Vulcan con objetivos hidrogeológicos, mostró que la profundidad del manto freático en la zona es cercana a 100 m. La información del pozo PBS permitió realizar una correlación geológica de las diversas facies eléctricas presentes, mostrando espesores para el grupo Santa Fe coherentes con la información sísmica adquirida en SAGE 2006. No obstante, debido al contenido de arcilla presente en la formación, la estimación de parámetros petrofísicos, a partir de la ecuación de Archie, no es confiable.

El estudio con el radar de penetración terrestre (GPR) realizado en la zona arqueológica del pueblo de San Marcos, mostró que las piezas arqueológicas y estructuras de muros se encuentran a una profundidad promedio de 2 m. La información adquirida con el GPR es comparable con las anomalías obtenidas en la misma zona con los datos magnetométricos y a la primera capa de velocidades obtenida con sísmica de refracción. Dada la profundidad de las estructuras y las anomalías coincidentes en algunos datos, la estimación precisa de la localización de los muros es clara y puede seleccionarse con coordenadas UTM. Este último estudio nos permitió explorar diferentes aplicaciones de la geofísica, disímiles a los objetivos usualmente practicados.

VII. 2. Conclusiones de nuestra experiencia en estancia profesional e intercambio internacional

La experiencia en general que nos dejan programas como MASE y SAGE la podríamos dividir en al menos dos aspectos importantes: académicos y culturales.

Aspectos técnicos académicos:

- La teoría, adquisición, procesamiento e interpretación del programa, capacita a personas ajenas al área, permite entender realmente las bases físicas.
- La logística y ejecución del programa es lo que determina el éxito del mismo, ya que si están mal estructuradas o no se contemplan todos los aspectos no es posible el adecuado funcionamiento en cada una de las partes contempladas.
- La forma de evaluación posee un formato en el cual el alumno debe estar lo suficientemente motivado para cumplir con las exigencias del mismo.
- La ideología de "aprender geofísica haciendo geofísica" no se entiende hasta que está en el campo adquiriendo datos y luego procesando e interpretando los mismos; en sí el desarrollo de un estudio integral completo en el que pases por todas las etapas fortalecen tu experiencia y visión al respecto.
- La buena planeación del trabajo de campo y los asesores técnicos adecuados facilitan el correcto aprendizaje así como economizan tiempo y vuelven más eficiente la adquisición de los datos en campo.

- Debido a la forma de trabajo en equipos multidisciplinarios de información deducida el de mayor impacto interpretativo en contenido de que la integración de todas las disciplinas complementa y enriquece.

Cultural:

- La experiencia cultural de este tipo de eventos permite conocer diversas personas, culturas, formas de pensar distintas así como lidiar cotidianamente con estas.
- Una nueva visión acerca de la cultura de la organización y del trabajo en equipo efectivo, ese es un aprendizaje cultural del orden y la disciplina de hacer bien las cosas.
- Debido a la convivencia con estudiantes de todo el mundo existe un enriquecimiento en las formas de organización de trabajo y de pensamiento lo que permite la diversidad de ideas, propuestas y debates que enriquece en general al programa.

VII. 3. Conclusiones generales

Indudablemente, la propuesta presentada en esta tesis, basada en un marco de organización y trabajo cuidadoso, permitirá cabalmente que los resultados, obtenidos a partir de una práctica como la diseñada, sean de la más alta calidad y abrirán la puerta a discusiones y nuevos estudios en el sitio seleccionado. La relación estrecha que se genere con las instituciones involucradas fortalecerá los lazos académicos e industriales a favor de la Facultad de Ingeniería y de sus estudiantes. Finalmente, estamos seguros que la realización de un evento como el planteado en el Capítulo VI, cubrirá el objetivo principal de la carrera de Ingeniería Geofísica de la UNAM: la formación de egresados de alto nivel que cubran plenamente las necesidades del país.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D. C., y Keller, G. R., 1994. Crustal structure and basin geometry in south central New Mexico, Geological Society of America, **291**, 241-255.
- Annan, A. P. y Cosway, S. W., 1992. Ground penetrating radar survey design: Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 329-351.
- Annan, A.P, 1993. Practical processing of GPR data: Proceedings of the second government workshop on ground penetrating radar, Ohio, EEUU.
- Baldrige, W. S., 2006. Electrical resistivity data, Enviado a Geophysics.
- Baldrige, W. S., Bartov, Y. y Kron, A., 1983. Geological map of the Rio Grande rift southeastern Colorado Plateau, New Mexico and Arizona (1:500,000), Suplemento a: R. E. Ricker (Editor), Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, Am. Geophys. Union, Publicación Especial.
- Baldrige, W. S., Keller G. R., Haak V., Wendlandt E., Jiracek, G. R. y Olsen, K. H., 1994. The western margin of the Rio Grande Rift in northern New Mexico: An Aborted Boundary?, Geological Society of America Bulletin. 12, 106.
- Baldrige, W. S., Olsen, K. H. y Callender, J. F., 1984a. Rio Grande rift: Problems and perspectives, N. M. Geol. Soc., Field Conf. Guideb., 35: 1-12.
- Baldrige, W. S., Dickerson P. W., Riecker R. E. y Zidek J., 1984b. Río Grande rift: Northern New Mexico. New Mexico Geological Society Guidebook 35, 379.
- Blakeley, R. J., 1996. Potencial theory in gravity and magnetic applications, Cambridge University Press, Londres, Inglaterra, 441 pp.
- Brister, B. S. y Gries, R. R., 1994. Tertiary stratigraphy and tectonic development of the Alamos Basin (northern San Luis basin), Rio Grande rift, south Central Colorado. Geol. Soc. Am., Artículo especial, **291**, 39-58.
- Brown, L. D., Krumhansl, P. A., Chapin, C. E., Sanford, A. R., Cook, F. A., Kaufman, S., Oliver, J. E. y Schilt, F. S., 1979. COCORP seismic reflection studies of the Rio Grande rift. Tectonics and Magmatism. Am. Geophys. Union. Publicación especial. 169-184.

- Brown, L. D., Chapin, C.E., Sanford, A. R., Kaufman, S., y Oliver, J., 1980. Deep structure of the Rio Grande rift from seismic reflection profiling, *J. Geophys. Res.*, **85**: 4773-4800.
- Campos-Enríquez, O., Sánchez-Zamora, O., 2000. Crustal structure across southern Mexico inferred from gravity data, *Journal of South American Earth Sciences*, **13**, 479-489.
- Campos-Enríquez, O., Sánchez-Zamora, O., 2000. Crustal structure across southern Mexico inferred from gravity data, *Journal of South American Earth Sciences*, **13**, 479-489.
- Cárdenas, S. M. y Gómez, C. A., 2005. La carrera de Ingeniería Geofísica en la Facultad de Ingeniería, UNAM, Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería, pp 10.
- Chapin, C. E. y Seager, W. R., 1975. Evolution of the Rio Grande rift in the Socorro and Las Cruces areas. *N. M. Geol. Soc., Field Conf. Guideb.* 26, 191-201.
- Clayton, R., 2006. A progress report on MASE: Shallow subduction in central Mexico. <http://www.tectonics.caltech.edu/mase/MASE2006.pdf>, 22 de febrero de 2006.
- Cordell, L. 1978. Regional Geophysical setting of the Rio Grande rift. *Geol. Soc. Am. Bull.* **89**, 1073-1090.
- Connell, S.D., Cather, S.M., McIntosh, W.C., y Dunbar, N., 2002. Stratigraphy of the Tanos and Blackshare formations (lower Santa Fe Group), Hagan embayment, Rio Grande rift, New Mexico, *Geology*, **24**, 107-120.
- Daggett, P. H., Keller, G. R., Morgan, P. y Wen, L. C. 1986. Structure from the southern Rio Grande rift from gravity interpretations. *J. Geophys. Res.* **81**, 6147-6167.
- Davis, T. L. y Stoughton, D., 1979. Interpretation of seismic reflection data from the northern San Luis Valley, south central Colorado, Rio Grande rift: Tectonics and Magmatism. *Am. Geophys. Union. Publicación especial*, 185-194.
- Davis, P. M., Snack, P., Dahlheim, H. A., Green, W. V., Meyer, R. P. y Achauer, U. 1993. Teleseismic tomography of continental rift zones. *Seismic tomography- Theory and Practice*, Chapman and Hall, Nuevo México, EE.UU. pp 848.

- Del Valle, E., 2005. Prospección sísmológica. Capítulos 2, 3. En preparación.
- Facultad de Ingeniería, 2005. Plan y programas de estudios de la licenciatura de Ingeniería Geofísica, Tomo I, Facultad de Ingeniería, UNAM, 65 pp.
- [Greene Gondi, F. y L. Espejo Arellano, 2007. Geometría de la Subducción de Acapulco, Gro. a Puente de Ixtla, Mor. a partir de Funciones Receptor. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.](#)
- Hawley, J. W., 2006. Hydrogeological setting of proposed federal land exchange area in the eastern Hagan Basin, Sandoval and Santa Fe Counties, New Mexico, Albuquerque Field Office.
- Jiracek, G. R., Kinn, C. L., Curran, S. A. y Kuykendall, M. G., 1993. Magnetotelluric mapping of upper crustal isotherms beneath the Valles caldera hydrothermal system, Eos, Trans. Am. Geophys. Union, **74** (Suppl.), 229.
- Keller, G. R. y Cordell, L., 1984. Bouguer gravity anomaly map of New Mexico, Nat. Ocean. Atmos. Admin., Nat. Geophys. Data Center Map, 1:500,000.
- Keller, G. R., Seager, W. R. y Thompson, S., 1986. A seismic reflection study of part of the southern Jornada del Muerto, N. M. Geol. Soc. Field Conf. Guideb., **37**, 139-142.
- Kluth, C. F. y Schaftenaar, C. H., 1994. Depth and geometry of the northern Rio Grande rift in San Luis basin, south-central Colorado, Geol. Soc. Am. Artículo Especial, **291**, 27-37.
- Kostoglodov, V., Bandy, W., Dominguez, J., y Mena, M., 1996. Gravity and seismicity over Guerrero seismic gap, Mexico, Geophysical Research Letters, **23**, 3385-3388.
- [Gómez-Tunea, A., Orozco-Esquivel, T., Ferrari, L., 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Temas Selectos de la Geología Mexicana, **56**, 227-283.](#)
- ~~[Kostoglodov, V., Ponce, L., 1994. Relationship between subduction and seismicity in the Mexican part of Middle American Trench, Journal of Geophysical Research, **99**, 729-742.](#)~~
- Liner, L. C., 1999. Concepts of normal and dip moveout, Geophysics, **64**, 10 pp.

- Manea, M., Manea, V. C., y Kostoglodov, V., 2004. Sediment fill in the Middle America Trench inferred from gravity anomalies, *Geofísica Internacional*, **42**, 603-612.
- McNeill J. D., 1990. Use of electromagnetic methods for groundwater studies. *Geotechnical and environmental geophysics. Soc. Exp. Geophys.*, **I**, 191-218
- Molina-Garza, R. y Urrutia-Fucugauchi, J., 1993. Deep crustal structure of central Mexico derived from interpretation of Bouguer gravity anomaly data. *J. Geodynamics*. **17**, 181-201.
- Morán-Zenteno, J. D., Cerca, M. y Keppie, J. D., 2005. La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **57**, 319-341.
- Morley C.K., 1989. Extension, detachments, and sedimentation on continental rifts (with particular reference to East Africa), *Tectonics*, **8**, 1175-1192.
- Moritz, H., 1980, Geodetic Reference System 1980, *Bulletin Géodésique*, **54**, 395-405.
- Murphy, B. P., 1991. Determination of the shear wave velocity structure in the Rio Grande rift through receiver functions and surface wave analysis. Tesis de Maestría, University of Texas at El Paso.
- Olsen, K. H., Keller, G. R., Stewart, J. W. 1979. Crustal structure along the Rio Grande rift from seismic refraction profiles. *Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism*, Am. Geophys. Union, *Publicación Especial*, 127-143.
- Olsen, K. H., Baldrige, W. S., y Callender, J. F. 1987. Rio Grande rift: An overview. *Tectonophysics*, **143**, 119-139.
- Pardo, M., Suarez, G., 1995. Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in the southern Mexico: Seismic and tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, **100**, 357-373.
- Ramberg, I. B., Cook, F. A., y Smithson, S. B. 1978. Structure of the Rio Grande rift in southern New Mexico and west Texas based on gravity interpretation, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **89**, 107-123.

- Ramenofsky, A. F., 2001. Summary report of the 2000 season of archeological research at San Marcos Pueblo (LA 98), University of New Mexico.
- Rhodes, G., 2006. Using seismic reflection to resolve stratigraphy in the Hagan Embayment, Sandoval County, New Mexico, SAGE Expanded Abstract, 18.
- Rinehart, E. J., Sanford, A. R., y Ward, R. M., 1979. Geographic extend and shape of an extensive magma body at midcrusal depths at the Rio Grande rift near Socorro, New Mexico. In Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, Am. Geophys. Union, Publicación Especial, 237-251.
- Russell, L.R. y Snelson, S., 1990. Structural style and tectonic evolution of the Albuquerque basin segment of the Rio Grande rift. The potencial of Deep Seismic Profiling for Hydrocarbon Exploration, Editorial Technip, Paris, 175-207.
- Russell, L.R. y Snelson, S., 1994. Structure and tectonics of the Albuquerque basin segment of the Rio Grande rift: Insights from reflection seismic data, Geol. Soc. Am., Artículo Especial, **291**, 83-112.
- Sanford, A. R., Alpektin, O. S. y Topozada, T. R., 1973. Use of reflection phases on microearthquake seismograms to map an unusual discontinuity beneath the Rio Grande rift, Bull. Seismol. Soc. Am., **63**, 2021-2034.
- Sanford, A. R., Mott, R. P., Schuleski, P. J., Rinehart, E., Caravella, F. J., Ward, R. M., y Wallace, T. C., 1977. Geophysical evidence for a magma body in the crust in the vicinity of Socorro New Mexico. The Earth's crust: Its nature and physical properties, Am. Geophys. Union, Geophys. Monograph 20, 385-403.
- Schmucker, U. 1964. Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States. J. Geomagn. Geoelect., **15**, 193-221.
- Schneider, R. V., y Keller, G. R. 1994. Crustal structure of the western margin of the Rio Grande rift and Mogollon-Datil volcanic field, southeastern Arizona, Geol. Soc. Am., Mem., **144**, 227-248.
- Seager, W. R. y Morgan, P. 1979. Rio Grande rift in southern New Mexico, west Texas, and northern Chihuahua. Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, Am. Geophys. Union, Publicación Especial, pp, 87-106.
- Sheriff, R. E., 2002. [Enciclopedia Encyclopedic](#) dictionary of applied geophysics, 4a. Edición, Society of Exploration Geophysics, Oklahoma, EEUU, 429 pp.

- Sinno, Y. A., Daggett, P. H., Keller, G. R., Morgan, P., y Harder, S. H. 1986. Crustal structure of the southern Rio Grande rift determined from seismic refraction profiling, J. Geophys. Res., **91**, 6143-6156.
- Topozada, T. R., y Sanford, A. R., 1976. Crustal structure in central New Mexico interpreted from the Gasbuggy explosion, Bull. Seismol. Soc. Am., **66**, 877-886.
- University of New Mexico, 2006. Notas de SAGE.
- Ward, S. H., 1990. Resistivity and induced polarization methods. Ed., Geotechnical and Environmental Geophysics, vol. I: Society of Exploration Geophysics, 147-189.
- West et al., 2002. Structure of the Uppermost Mantle Beneath the RISTRA Array From Surface Waves, AGU 2002 fall meeting Fall Meet. Suppl., Abstract S61A-1116.
- Wilson et al., 2004. Imaging the Seismic Structure of the Crust and Upper Mantle beneath the Great Plains, Rio Grande Rift, and Colorado Plateau Using Receiver Functions, submitted to Journal of Geophysical Research.
- Woollard, G. P. y Monges, C. J., 1956. Gravedad, geología regional y estructura cortical en México. Anales del Instituto de Geofísica. Vol. II, 52 pp.
- Yilmaz, O., 2001. Seismic data processing, Vol, 1. Society of Exploration Geophysics Publication, Oklahoma, EE.UU, 2027 pp.

ANEXO A

Programa de reducción de datos en MATLAB

El siguiente código fue escrito en MATLAB 7.1. Las correcciones por aire libre, por latitud y por mareas han sido aplicadas. El resultado es el perfil de Bouguer a lo largo de la línea estudiada.

```
%REDUCCIONES GRAVIMETRICAS
%
%Programa Bouguer, realiza la reducción de datos gravimétricos.
%La entrada es un archivo *.txt con las coordenadas geográficas en grados
%decimales, el valor de gravedad observado relativo.
%Este programa realiza las correcciones por latitud, aire libre, Bouguer
%simple e Isostasia. No se hacen las correcciones por deriva y por topografía.
%Los valores de densidad a utilizar son:
%
%Densidad de la corteza continental (rhoc) = 2.67 g/cm3
%Densidad del manto superior (rhom) = 3.27 g/cm3
%
%El modelo de Isostasia usado fue el de Airy
%-----
%Inicio
%Importe de datos *.txt
clear all
%close all
load g33.txt;
latd=g33(:,2);
lond=-g33(:,3);
lat = g33(:,2)*pi/180;
k=6.673e-11; % Constante de la gravedad N*m2/kg2
h = g33(:,4); % m
rhoc=2.670;
rhom=3.270;
gbase=979066.045; %valor absoluto en la base
%Calculo de la gravedad teorica IGF80
igf80=978032.7.*(1+0.0053024.*(sin(lat)).^2-0.0000058.*(sin(2.*lat)).^2);
%Correccion por latitud
lat_correction=9.780327.*(0.0106.*sin(lat).*cos(lat)-2.3200e-005.*sin(2.*lat).*cos(2.*lat));
%Correccion por elevacion y por Bouguer Simple
elev_correction = (.3086 - (.0491*rhoc))*h;
%Correccion por Isostasia
x1=5000;
x2=x1;
ds=30000;
dm=h.*rhoc./(rhom-rhoc)+ds;
gs=log(2*x1)+log(sqrt(x1.^2+dm.^2)-x1)+log(sqrt(x2.^2+dm.^2)+x2);
isostatic_corr=k.*gs.*rhoc+x1/2;
```

```
%Anomalia de gravedad final
g =gbase+g33(:,8)-igf80+elev_correction-lat_correction-isostatic_corr;
figure(1)
[ls, ix]=sort(lat);
plot(latd(ix),g(ix),'--rs','LineWidth',3,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','g',...
      'MarkerSize',9)
xlabel('Latitud [^\circ]','fontsize', 24)
ylabel('Gravedad observada [mgales]','fontsize', 24)
title('Anomalía de Bouguer del trayecto Acapulco - Tampico','fontsize', 24)
figure(2)
plot(latd(ix),h(ix),'--bs','LineWidth',3,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','m',...
      'MarkerSize',9)
xlabel('Latitud [^\circ]','fontsize', 24)
ylabel('Elevación[m]','fontsize', 24)
title('Elevación del trayecto Acapulco - Tampico','fontsize', 24)
```

ANEXO B

Carta estratigráfica de Nuevo México, EE. UU.

STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE CHART

O. J. Anderson, S. G. Lucas, F. E. Kottlowski, P. W. Bauer, D. W. Love, J. W. Hawley, G. S. Smith, F. J. Pazzaglia, and Aaron Cross

Era	Period		Española Basin – Abiquiu Embayment	Southern Sangre de Cristo – Santa Fe Area	Southeastern Sangre de Cristo & Las Vegas Area			
Cenozoic	Quaternary	Recent	alluvium	terrace gravels	alluvium terrace and landslide deposits	valley-fill alluvium terrace and piedmont gravely sand		
		Pleistocene	Española Fm.	Bandelier Tuff		0.8 Ma basalt 1.4 Ma basalt		
	Tertiary	Pliocene	Santa Fe Group	Puye Fm.	Ancha Fm.	Puye Fm.	Ancha Fm.	Cerros del Rio volcanics
				Chamita Fm.				
		Miocene		Tesuque Fm.		Tesuque Fm.		
				Abiquiu Fm.	Picuris Fm.	Abiquiu Fm.		
		Oligocene	Conejos Fm.		Espinaso Fm.			
		Eocene	Blanco Basin/El Rito Fms.		Galisteo Fm.			
	Paleocene							
	Mesozoic	Cretaceous	Upper	Lewis Shale			Pierre Shale	
Mesaverde Gp.				Cliff House Ss. Menefee Fm. Point Lookout Ss.	Mesaverde Gp.	Niobrara Fm.		
Mancos Shale					Mancos Shale	Carlile Shale Greenhorn Fm. Grangeros Shale		
Dakota Fm.					Dakota Fm.	Dakota Gp. Romeroville Ss. Pajarito Fm. Mesa Rica Ss.		
Jurassic		Upper	Morrison Fm.	Brushy Basin Mbr. Salt Wash Mbr.	Morrison Fm.	Brushy Basin Mbr. Salt Wash Mbr.	Morrison Fm.	Salt Wash Mbr.
			San Rafael Group	Bluff Sandstone Summerville Fm.	San Rafael Group	Upper San Rafael Group	San Rafael Group	Summerville Fm.
Todilto Fm.		Todilto Fm.		Todilto Fm.				
Entrada Fm.		Entrada Fm.		Entrada Fm.				
Triassic		Upper	Chinle Group	Rock Point Fm.	Chinle Group	Chinle Group	Redonda Fm.	
				Petrified Forest Fm.			Petrified Forest Fm.	Bull Canyon Fm.
	Poleo Fm.						Trujillo Fm.	
	Salitral Fm.						Garita Creek Fm.	
Permian	Guadalupian	Cutler Fm.						
Paleozoic	Pennsylvanian	Upper	Madera Fm.	Alamitos Fm.	Alamitos Fm.	Madera Fm.		
			Middle	La Pasada Fm.	La Pasada Fm.	La Pasada Fm.		
			Lower	Sandia Fm.		Sandia Fm.		
	Mississippian		Arroyo Peñasco Gp.		Arroyo Peñasco Group	Tererro Fm.	Arroyo Peñasco Group	Tererro Fm.
						Espiritu Santo Fm.		Espiritu Santo Fm.
Precambrian	Proterozoic	Middle			granitic plutons (1.4 Ga)	granitic plutons (1.4 Ga)		
			Early	in subsurface only		granitic plutons (1.6 Ga) various supracrustal rocks Thompson Peak complex (1.6 Ga)	granitic plutons (1.6 Ga) Hondo Group Vadito Group (1.7 Ga) Pecos complex (1.72 Ga)	

*Bridge Creek limestone beds

ANEXO D

Datos Electromagnéticos Transitorios

Los datos siguientes representan la salida de voltaje de la bobina receptora GDP – 32. Los archivos listados están compuestos por un encabezado, que indica los parámetros de adquisición, coordenadas, tiempo de grabación, etc. La segunda parte de los archivos esta formada por los datos adquiridos, en lista: tiempo, voltaje y resistividad aparente. Sólo se muestra el encabezado completo del archivo 0.tem, en los demás archivos se muestran únicamente la lista de datos. No se muestran las estaciones suprimidas.

Estación: 00

Archivo: 0.tem

<HEADER INFO>

TEM_ID 0
PROJECT Vulcano
AREA -
CLIENT -
CONTRACTOR -
OPERATOR -
CONDITIONS -

<COORDINATES>

TYPE METRIC
DATUM
RXLAT 3919519
RXLONG 384889
TXLAT 3919519
TXLONG 384889
ELEVATION

<BLOCK>

<ACQUISITION PARAMETERS>

ACQUISITION_DATE -
ACQUISITION_TIME -
RECEIVER Zonge Engineering
TRANSMITTER Zonge Engineering
CONFIGURATION INLOOP
TXAREA 10000.0 # [m2]
RXAREA 10000.0 # [m2]
CURRENT 4.0 # [A]
REPTRATE 16.0 # [Hz]
TIMESERIES -
TURNOFF 75.0 # [us]
ANTENNA_DELAY 41.0 # [us]
FILTER_DELAY 0.0 # [us]
USER_DELAY 152.6 # [us]

<PROCESSING PARAMETERS>

FILEDATE 7/12/2006
PROGRAM TemMerge Version 1.2.2
FILEVERSION EMEDIT EXPORT 1.0

<INPUT FILE INFO>

INFILE -
RUNS 1
RunNum, GroupNum, Gain

```

-
<DATA>
# Reported time is calculated by the following formula:
# t(i) = USER_DELAY - TURNOFF - ANTENNA_DELAY - FILTER_DELAY + t0(i)
# Time [ms], Voltage [nV/A], Resistivity [Ohmm]
3.659e-2  1.994e8  98.90
6.711e-2  3.306e7  119.24
9.762e-2  2.050e7  87.81
1.281e-1  1.229e7  78.52
1.587e-1  7.917e6  73.67
1.892e-1  5.631e6  68.97
2.344e-1  3.712e6  63.72
2.955e-1  2.342e6  58.88
3.567e-1  1.625e6  54.90
4.321e-1  1.128e6  50.87
5.239e-1  7.838e5  47.03
6.439e-1  5.354e5  43.00
8.110e-1  3.490e5  38.94
1.009e0  2.297e5  35.76
1.251e0  1.510e5  33.05
1.555e0  9.759e4  30.77
1.947e0  6.126e4  28.85
2.462e0  3.834e4  26.67
3.101e0  2.389e4  24.89
3.889e0  1.490e4  23.38
4.875e0  9.121e3  22.25
6.130e0  5.539e3  21.18
7.724e0  3.252e3  20.55
9.696e0  1.073e3  29.46
1.218e1  6.230e2  28.94

<END FILE>

```

Estación: 01
Archivo: 1.tem

```

# Time [ms], Voltage [nV/A], Resistivity [Ohmm]
3.659e-2  1.745e8  108.10
6.711e-2  2.650e7  138.19
9.762e-2  1.954e7  90.66
1.281e-1  1.200e7  79.78
1.587e-1  7.761e6  74.65
1.892e-1  5.576e6  69.43
2.344e-1  3.719e6  63.64
2.955e-1  2.367e6  58.46
3.567e-1  1.647e6  54.41
4.321e-1  1.145e6  50.36
5.239e-1  7.946e5  46.60
6.439e-1  5.367e5  42.93
8.110e-1  3.440e5  39.31
1.009e0  2.216e5  36.62
1.251e0  1.429e5  34.29
1.555e0  9.064e4  32.32
1.947e0  5.649e4  30.46
2.462e0  3.523e4  28.22
3.101e0  2.190e4  26.37
3.889e0  1.362e4  24.82
4.875e0  8.394e3  23.51
6.130e0  5.026e3  22.60
7.724e0  3.049e3  21.45
9.696e0  1.916e3  20.02

```

1.218e1 1.199e3 18.71

Estación: 02
Archivo: 2.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.785e8	106.47
	6.711e-2	3.393e7	117.19
	9.762e-2	2.306e7	81.18
	1.281e-1	1.420e7	71.31
	1.587e-1	9.398e6	65.71
	1.892e-1	6.807e6	60.78
	2.344e-1	4.595e6	55.27
	2.955e-1	2.960e6	50.37
	3.567e-1	2.067e6	46.76
	4.321e-1	1.426e6	43.51
	5.239e-1	9.731e5	40.72
	6.439e-1	6.403e5	38.16
	8.110e-1	3.949e5	35.86
	1.009e0	2.467e5	34.09
	1.251e0	1.537e5	32.66
	1.555e0	9.416e4	31.51
	1.947e0	5.795e4	29.94
	2.462e0	3.795e4	26.85
	3.101e0	2.419e4	24.68
	3.889e0	1.508e4	23.19
	4.875e0	6.580e3	27.66
	6.130e0	5.790e3	20.56
	7.724e0	5.008e3	15.41
	9.696e0	1.142e3	28.26
	1.218e1	1.630e3	15.24

Estación: 03
Archivo: 3.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.891e8	102.46
	6.711e-2	2.906e7	129.95
	9.762e-2	1.903e7	92.27
	1.281e-1	1.163e7	81.47
	1.587e-1	7.539e6	76.11
	1.892e-1	5.434e6	70.63
	2.344e-1	3.640e6	64.56
	2.955e-1	2.339e6	58.93
	3.567e-1	1.631e6	54.76
	4.321e-1	1.131e6	50.78
	5.239e-1	7.784e5	47.25
	6.439e-1	5.205e5	43.82
	8.110e-1	3.292e5	40.48
	1.009e0	2.107e5	37.87
	1.251e0	1.342e5	35.76
	1.555e0	8.456e4	33.85
	1.947e0	5.274e4	31.88
	2.462e0	3.266e4	29.68
	3.101e0	2.026e4	27.78
	3.889e0	1.285e4	25.80
	4.875e0	7.902e3	24.48
	6.130e0	4.866e3	23.09

7.724e0	2.673e3	23.42
9.696e0	1.107e3	28.85
1.218e1	8.075e2	24.35

Estación: 04
Archivo: 4.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	2.060e8	96.77
	6.711e-2	3.474e7	115.37
	9.762e-2	2.190e7	84.03
	1.281e-1	1.340e7	74.12
	1.587e-1	8.635e6	69.52
	1.892e-1	6.143e6	65.09
	2.344e-1	4.054e6	60.08
	2.955e-1	2.544e6	55.72
	3.567e-1	1.738e6	52.49
	4.321e-1	1.184e6	49.25
	5.239e-1	7.995e5	46.41
	6.439e-1	5.289e5	43.35
	8.110e-1	3.316e5	40.29
	1.009e0	2.135e5	37.54
	1.251e0	1.382e5	35.06
	1.555e0	8.870e4	32.79
	1.947e0	5.644e4	30.47
	2.462e0	3.482e4	28.44
	3.101e0	2.193e4	26.35
	3.889e0	1.368e4	24.74
	4.875e0	8.463e3	23.39
	6.130e0	4.823e3	23.23
	7.724e0	3.293e3	20.38
	9.696e0	1.915e3	20.02
	1.218e1	1.416e3	16.74

Estación: 05
Archivo: 5.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.777e8	106.79
	6.711e-2	2.598e7	140.02
	9.762e-2	1.893e7	92.60
	1.281e-1	1.156e7	81.79
	1.587e-1	7.437e6	76.80
	1.892e-1	5.322e6	71.62
	2.344e-1	3.514e6	66.09
	2.955e-1	2.199e6	61.40
	3.567e-1	1.501e6	57.88
	4.321e-1	1.016e6	54.54
	5.239e-1	6.859e5	51.41
	6.439e-1	4.468e5	48.51
	8.110e-1	2.783e5	45.28
	1.009e0	1.769e5	42.56
	1.251e0	1.136e5	39.96
	1.555e0	7.285e4	37.39
	1.947e0	4.702e4	34.42
	2.462e0	2.912e4	32.04
	3.101e0	1.845e4	29.56
	3.889e0	1.144e4	27.88
	4.875e0	7.258e3	25.91
	6.130e0	4.560e3	24.11

7.724e0	2.897e3	22.19
9.696e0	1.363e3	25.12
1.218e1	9.462e2	21.90

Estación: 09
Archivo: 9.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.814e8	105.34
	6.711e-2	3.075e7	125.14
	9.762e-2	1.962e7	90.42
	1.281e-1	1.164e7	81.42
	1.587e-1	7.452e6	76.70
	1.892e-1	5.288e6	71.92
	2.344e-1	3.480e6	66.52
	2.955e-1	2.170e6	61.95
	3.567e-1	1.476e6	58.53
	4.321e-1	9.870e5	55.60
	5.239e-1	6.521e5	53.17
	6.439e-1	4.155e5	50.92
	8.110e-1	2.492e5	48.74
	1.009e0	1.538e5	46.72
	1.251e0	9.657e4	44.53
	1.555e0	6.149e4	41.87
	1.947e0	3.921e4	38.85
	2.462e0	2.483e4	35.63
	3.101e0	1.592e4	32.62
	3.889e0	1.002e4	30.45
	4.875e0	5.943e3	29.60
	6.130e0	3.196e3	30.56
	7.724e0	1.558e3	33.56
	9.696e0	1.042e3	30.04
	1.218e1	1.069e3	20.19

Estación: 10
Archivo: 10.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.845e8	104.15
	6.711e-2	2.952e7	128.59
	9.762e-2	1.894e7	92.57
	1.281e-1	1.130e7	83.04
	1.587e-1	7.251e6	78.11
	1.892e-1	5.137e6	73.33
	2.344e-1	3.374e6	67.91
	2.955e-1	2.106e6	63.20
	3.567e-1	1.432e6	59.72
	4.321e-1	9.604e5	56.62
	5.239e-1	6.413e5	53.76
	6.439e-1	4.105e5	51.33
	8.110e-1	2.496e5	48.69
	1.009e0	1.548e5	46.52
	1.251e0	9.870e4	43.88
	1.555e0	6.280e4	41.28
	1.947e0	4.022e4	38.20
	2.462e0	2.551e4	34.99
	3.101e0	1.623e4	32.20
	3.889e0	9.749e3	31.01
	4.875e0	5.790e3	30.12
	6.130e0	3.442e3	29.08

7.724e0	2.146e3	27.11
9.696e0	1.752e3	21.25
1.218e1	1.346e3	17.32

Estación: 11
Archivo: 11.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.813e8	105.38
	6.711e-2	3.193e7	122.04
	9.762e-2	2.039e7	88.12
	1.281e-1	1.222e7	78.82
	1.587e-1	7.893e6	73.82
	1.892e-1	5.572e6	69.46
	2.955e-1	1.834e6	69.30
	3.567e-1	1.230e6	66.09
	4.321e-1	8.193e5	62.95
	5.239e-1	5.341e5	60.74
	6.439e-1	3.412e5	58.06
	8.110e-1	2.080e5	54.98
	1.009e0	1.295e5	52.39
	1.251e0	8.168e4	49.79
	1.555e0	5.144e4	47.15
	1.947e0	3.264e4	43.90
	2.462e0	2.090e4	39.97
	3.101e0	1.322e4	36.92
	3.889e0	8.700e3	33.46
	4.875e0	5.413e3	31.50
	6.130e0	2.769e3	33.62
	7.724e0	1.565e3	33.46
	9.696e0	1.171e3	27.79
	1.218e1	1.131e3	19.45

Estación: 12
Archivo: 12.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.884e8	102.71
	6.711e-2	3.080e7	125.01
	9.762e-2	2.034e7	88.27
	1.281e-1	1.227e7	78.61
	1.587e-1	7.920e6	73.65
	1.892e-1	5.630e6	68.98
	2.344e-1	3.683e6	64.05
	2.955e-1	2.307e6	59.47
	3.567e-1	1.570e6	56.17
	4.321e-1	1.058e6	53.09
	5.239e-1	7.043e5	50.51
	6.439e-1	4.551e5	47.92
	8.110e-1	2.767e5	45.45
	1.009e0	1.718e5	43.40
	1.251e0	1.078e5	41.38
	1.555e0	6.803e4	39.14
	1.947e0	4.331e4	36.36
	2.462e0	2.676e4	33.90
	3.101e0	1.701e4	31.21
	3.889e0	1.134e4	28.04
	4.875e0	7.309e3	25.79
	6.130e0	4.677e3	23.71
	7.724e0	3.122e3	21.11

9.696e0	1.326e3	25.58
1.218e1	3.922e2	39.40

Estación: 13
Archivo: 13.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.787e8	106.39
	6.711e-2	3.096e7	124.57
	9.762e-2	2.052e7	87.75
	1.281e-1	1.239e7	78.10
	1.587e-1	7.992e6	73.21
	1.892e-1	5.700e6	68.42
	2.344e-1	3.768e6	63.09
	2.955e-1	2.384e6	58.18
	3.567e-1	1.637e6	54.63
	4.321e-1	1.110e6	51.41
	5.239e-1	7.460e5	48.61
	6.439e-1	4.837e5	46.01
	8.110e-1	2.950e5	43.55
	1.009e0	1.821e5	41.74
	1.251e0	1.148e5	39.68
	1.555e0	7.085e4	38.09
	1.947e0	4.465e4	35.63
	2.462e0	2.708e4	33.63
	3.101e0	1.714e4	31.05
	3.889e0	1.074e4	29.08
	4.875e0	6.731e3	27.24
	6.130e0	4.131e3	25.75
	7.724e0	2.673e3	23.42
	9.696e0	1.407e3	24.59
	1.218e1	7.971e2	24.56

Estación: 14
Archivo: 14.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.879e8	102.89
	6.711e-2	2.817e7	132.67
	9.762e-2	1.897e7	92.47
	1.281e-1	1.142e7	82.46
	1.587e-1	7.286e6	77.86
	1.892e-1	5.214e6	72.60
	2.344e-1	3.451e6	66.89
	2.955e-1	2.183e6	61.70
	3.567e-1	1.504e6	57.80
	4.321e-1	1.022e6	54.32
	5.239e-1	6.898e5	51.21
	6.439e-1	4.472e5	48.48
	8.110e-1	2.718e5	46.00
	1.009e0	1.691e5	43.86
	1.251e0	1.063e5	41.77
	1.555e0	6.553e4	40.13
	1.947e0	4.141e4	37.46
	2.462e0	2.598e4	34.57
	3.101e0	1.688e4	31.37
	3.889e0	9.892e3	30.72
	4.875e0	6.627e3	27.53
	6.130e0	4.360e3	24.84
	7.724e0	3.119e3	21.13

9.696e0	1.808e3	20.80
1.218e1	3.941e2	39.28

Estación: 15
Archivo: 15.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	2.243e8	91.44
	6.711e-2	3.619e7	112.26
	9.762e-2	2.343e7	80.33
	1.281e-1	1.399e7	72.02
	1.587e-1	8.941e6	67.93
	1.892e-1	6.366e6	63.56
	2.344e-1	4.209e6	58.60
	2.955e-1	2.654e6	54.17
	3.567e-1	1.829e6	50.73
	4.321e-1	1.244e6	47.65
	5.239e-1	8.370e5	45.02
	6.439e-1	5.446e5	42.51
	8.110e-1	3.314e5	40.30
	1.009e0	2.057e5	38.49
	1.251e0	1.288e5	36.75
	1.555e0	8.044e4	35.00
	1.947e0	5.019e4	32.95
	2.462e0	3.047e4	31.08
	3.101e0	1.872e4	29.28
	3.889e0	1.178e4	27.34
	4.875e0	6.719e3	27.28
	6.130e0	4.007e3	26.28
	7.724e0	2.251e3	26.26
	9.696e0	1.503e3	23.53
	1.218e1	1.359e3	17.21

Estación: 16
Archivo: 16.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	2.196e8	92.74
	6.711e-2	4.129e7	102.82
	9.762e-2	2.395e7	79.16
	1.281e-1	1.432e7	70.91
	1.587e-1	9.153e6	66.88
	1.892e-1	6.480e6	62.81
	2.344e-1	4.276e6	57.99
	2.955e-1	2.688e6	53.71
	3.567e-1	1.846e6	50.42
	4.321e-1	1.255e6	47.37
	5.239e-1	8.456e5	44.71
	6.439e-1	5.472e5	42.38
	8.110e-1	3.346e5	40.05
	1.009e0	2.071e5	38.31
	1.251e0	1.302e5	36.48
	1.555e0	8.105e4	34.82
	1.947e0	5.069e4	32.74
	2.462e0	3.030e4	31.20
	3.101e0	1.853e4	29.48
	3.889e0	1.017e4	30.15
	4.875e0	6.309e3	28.45
	6.130e0	5.325e3	21.74
	7.724e0	2.222e3	26.49

9.696e0	2.362e3	17.41
1.218e1	6.485e2	28.18

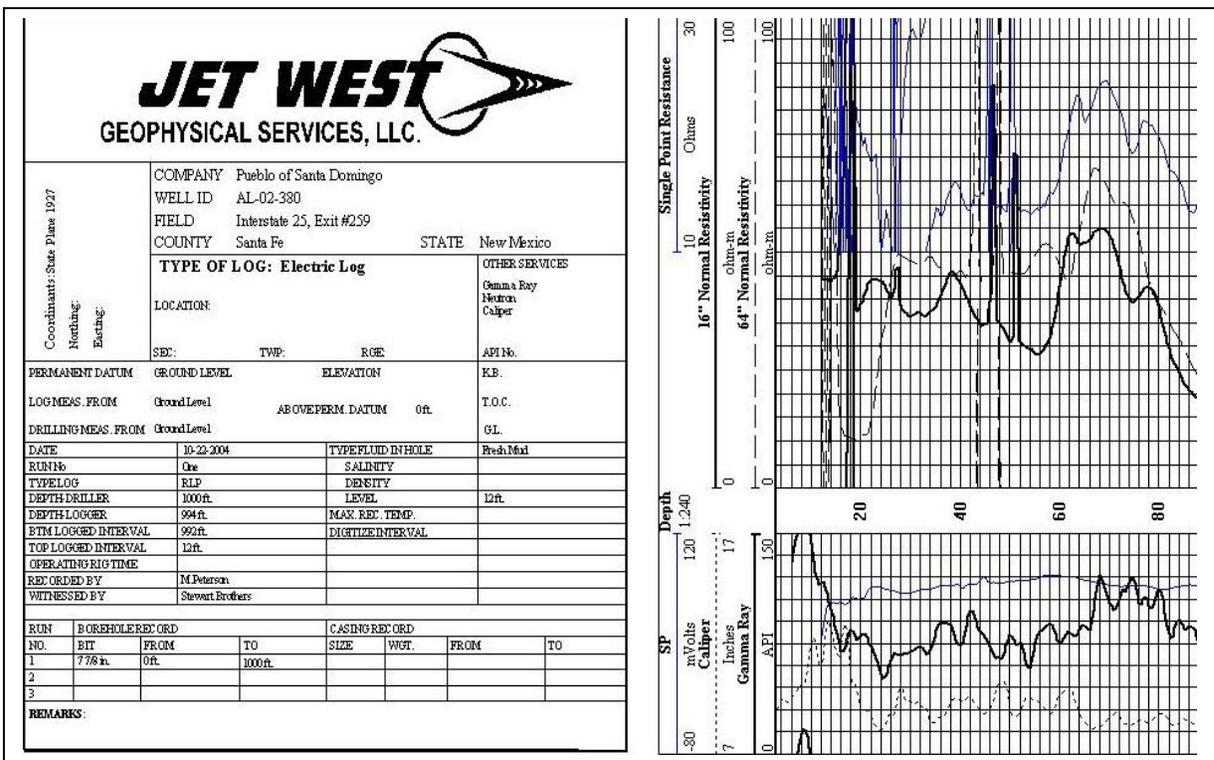
Estación: 17
Archivo: 17.tem

#	Time [ms]	Voltage [nV/A]	Resistivity [Ohmm]
	3.659e-2	1.789e8	106.32
	6.711e-2	4.886e7	91.90
	9.762e-2	2.839e7	70.67
	1.281e-1	1.675e7	63.88
	1.587e-1	1.096e7	59.31
	1.892e-1	7.797e6	55.52
	2.344e-1	5.174e6	51.07
	2.955e-1	3.277e6	47.06
	3.567e-1	2.260e6	44.06
	4.321e-1	1.543e6	41.28
	5.239e-1	1.042e6	38.90
	6.439e-1	6.802e5	36.66
	8.110e-1	4.147e5	34.71
	1.009e0	2.580e5	33.09
	1.251e0	1.601e5	31.79
	1.555e0	9.907e4	30.46
	1.947e0	6.011e4	29.22
	2.462e0	3.604e4	27.79
	3.101e0	2.196e4	26.32
	3.889e0	1.335e4	25.15
	4.875e0	8.279e3	23.73
	6.130e0	4.606e3	23.95
	7.724e0	2.700e3	23.26
	9.696e0	1.746e3	21.29
	1.218e1	1.006e3	21.03

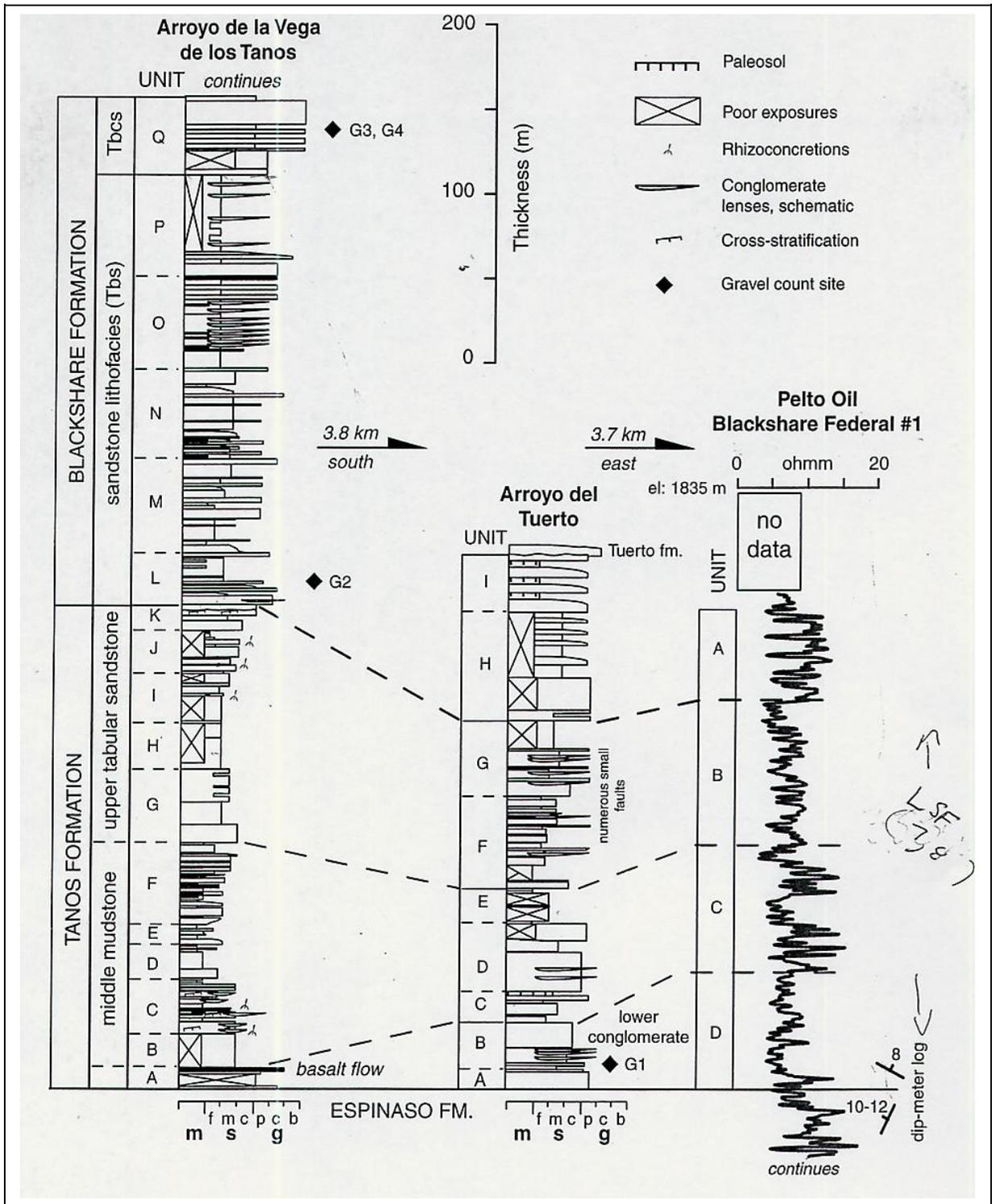
ANEXO E

Registros Geofísicos

1.- Pozo exploratorio AL – 02 – 380 fue perforado en 2004, JET WEST Geophysical Services, LLC, salida #259 de la carretera interestatal 25, Santa Fe, Nuevo México. Sólo se muestra el encabezado. El registro se extiende hasta 300 m.



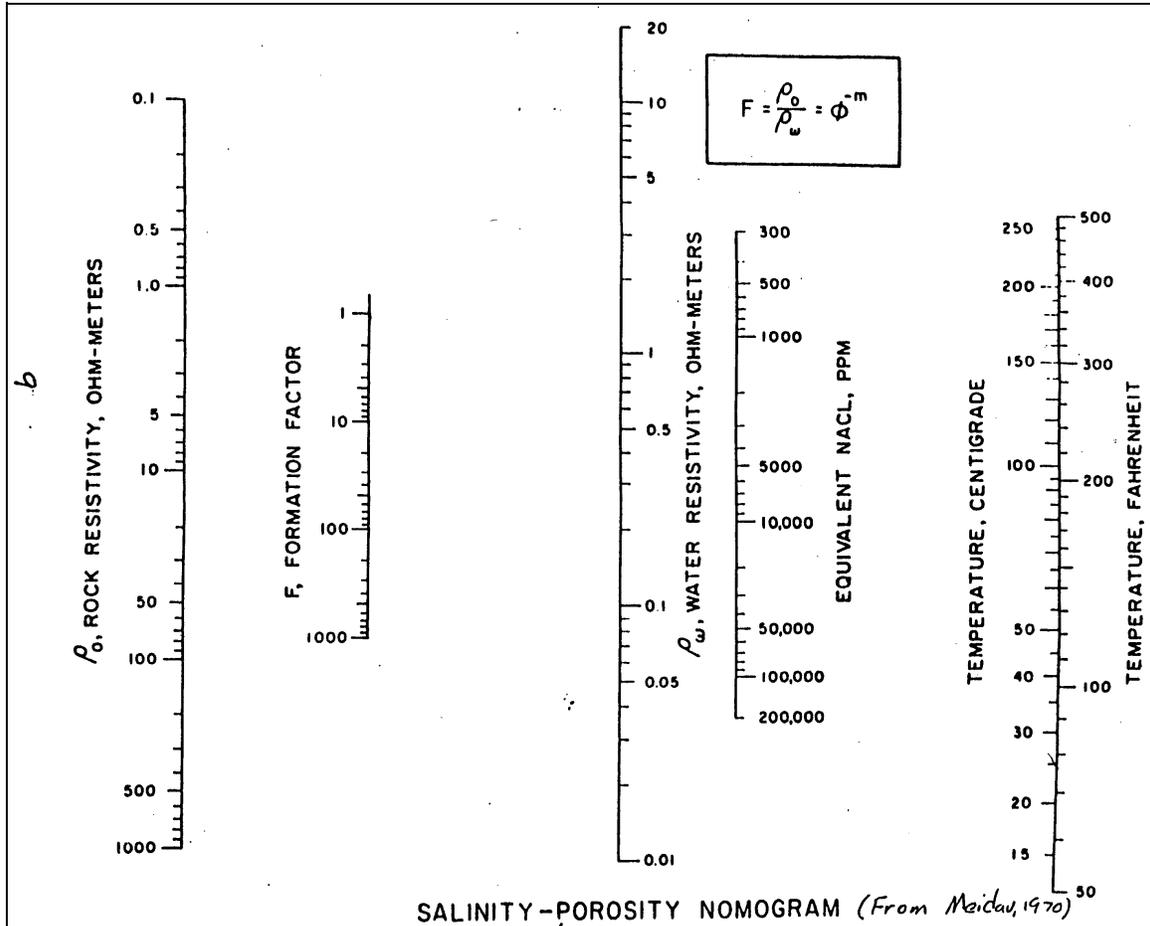
2.- Pozo exploratorio Pelto Oil Blackshare Federal # 1. Los valores de resistividad fueron utilizados para la correlación geológica con el perfil TEM adquirido.



ANEXO F

Nomograma de Meidaiv, 1970.

Las variables involucradas en la ecuación de Archie pueden ser relacionadas con la salinidad y la saturación del agua de formación. El nomograma de Meidaiv, permite conocer dos cuantificaciones distintas a partir de tres variables definidas.



ANEXO G

Encuestas de sondeo

Se entrevistó a 7 de los 10 asistentes a SAGE de todas las generaciones de geofísicos que han asistido al programa con el fin de comparar opiniones respecto su experiencia allá, su aprendizaje y sus sugerencias respecto al programa y la creación de algo similar en México. Estas fueron sus respuestas:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



Nombre:	Xyoli Pérez Campos	Generación:	1992
Periodo de asistencia:	1995	Año de egreso	1996
Método de prospección seleccionado:	Magnetotelúricos		
Título del Reporte Final:			
Actualmente te encuentras :	<input type="radio"/> Estudiando <input type="radio"/> Trabajando <input type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input checked="" type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	¿Cómo?	Estableciendo relaciones con asistentes a SAGE de mi año y de otros años, así como con el coordinador del programa.
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	<input type="text"/>	Calificación:	<input type="text"/>
Práctica:	<input type="text"/>	Calificación:	<input type="text"/>
1.- Consideras tu estancia en términos generales:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2.- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3.- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4.- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5.- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6.- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7.- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input type="radio"/> Mucho <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8.- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input type="radio"/> Buena <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
9.- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10.- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?	Porque es un programa integral que permite a los estudiantes ampliar su panorama e intercambiar experiencias y conocimiento.		
Comentarios Finales:	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> SAGE resultó una excelente experiencia para conocer otras formas de hacer las cosas, no sólo exploración geofísica. </div>		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



Nombre:

Xyoli Pérez Campos

Sección de Preguntas Abiertas

1.- Te ha ayudado en tu vida profesional o académica la asistencia a SAGE

 Si No

¿Porqué sí o porqué no?

El ambiente de cooperación y trabajo en equipo y multidisciplinario realizado en SAGE me ha ayudado mucho.

2.- ¿Recomendarías a alguien asistir a un curso así?

 Si No

¿Porqué?

Es una experiencia bastante enriquecedora, no sólo en el aspecto académico, sino también en el personal.

3.- ¿Consideras apropiada la secuencia de actividades realizadas?

 Si No

¿Qué mejorarías?

Creo que nada, por lo menos en mi año. La secuencia tenía una lógica que me ayudó a comprender mejor incluso prospección sísmica que todavía no había cursado.

4.- ¿Consideras adecuado el tiempo para la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos?

 Si No

¿Porqué?

Tal vez el tiempo de procesamiento me resultó corto, pero creo que el objetivo fue cubierto.

5.- ¿Consideras adecuado el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación?

 Si No

¿Qué propondrías?

Creo que sería conveniente aclarar a los estudiantes que existen varios softwares, por lo que es indispensable que aprendan las bases y lo que hay detrás de ellos, para que así fácilmente puedan migrar a cualquier software que se enfrenten.

6.- ¿Que tipo de habilidades consideras que se desarrollan mejor durante estos cursos?

¿Porqué?

Habilidades interpersonales, es indispensable para sobrevivir.

7.- ¿Consideraste que hubo alguna desventaja en tu preparación con respecto a los demás?

 Si No

Explícate

Incluso sin haber visto prospección sísmica, llevaba las bases teóricas como para comprender el método fácil y rápidamente.

8.- ¿Incremento tu motivación por el estudio de la geofísica asistiendo a este tipo de actividades?

 Si No

¿En qué medida?

Me hizo dudar entre dedicarme a Sismología o a prospección sísmica.

9.- ¿Crees posible el hecho de que se pueda aprender geofísica haciendo geofísica?

 Si No

¿Cómo?

Cada quien aprende diferente, pero es importante para tener un aprendizaje completo el que se tenga una componente de "hands in action".

10.- ¿Cómo calificas el trabajo multidisciplinario de equipo?

Explícate

Como mencione, en SAGE fue una parte fundamental, y resulta que en la vida diaria en el trabajo es lo mismo, eso hace falta en la Facultad.

11.- ¿Cuáles obstáculos tuviste que vencer para salir adelante en este tipo de cursos?

Explícate

Mi timidez.

12.- Si tuvieras la oportunidad de diseñar un programa similar ¿qué cambiarías para mejorarlo?

Explícate

Para el caso de México, añadiría muchos elementos motivacionales.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



Nombre:	Nahúm Pérez Campos	Generación:	96
Periodo de asistencia:	Jun-98	Año de egreso	1998
Método de prospección seleccionado:	Electromagnético - Magnetotelúrico		
Título del Reporte Final:			
Actualmente te encuentras:	<input type="radio"/> Estudiando <input type="radio"/> Trabajando <input checked="" type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No	¿Cómo?	
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	6	Calificación:	9
Práctica:	??	Calificación:	10
1.- Consideras tu estancia en términos generales:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2.- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3.- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4.- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5.- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6.- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7.- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input type="radio"/> Mucho <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8.- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
9.- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10.- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?	Como estudiante de licenciatura y posgrado en el área de geofísica, la experiencia de asistir a este curso es invaluable, tanto en términos de repaso y aprendizaje de conceptos teóricos y prácticos, como de contacto		
Comentarios Finales:	Si están proponiendo crear un programa similar aquí en México, yo los apoyo.		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



SUMMER of
 APPLIED GEOPHYSICAL
 EXPERIENCE

Nombre:	Sergio Gámez Galicia
Sección de Preguntas Abiertas	
1- Te ha ayudado en tu vida profesional o académica la asistencia a SAGE	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué si o porqué no?	Profesionalmente es valioso para el curriculum porque representa cierta capacidad y académicamente solo es un refuerzo del aprendizaje
2- ¿Recomendarías a alguien asistir a un curso así?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	Es el tipo de experiencia que no se puede rechazar si se presenta la oportunidad
3- ¿Consideras apropiada la secuencia de actividades realizadas?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué mejorarías?	definitivamente no hay mucho que mejorar pues se nota que despues de tanto tiempo de realizarse ya se han afinado muchos detalles, en general serian cuestiones que suelen surgir aleatoriamente
4- ¿Consideras adecuado el tiempo para la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	porque en realidad son mas como ejemplos que estudios reales, es decir una escala menor, el tiempo de adquisicion es el adecuado, y para procesamiento también, pues son pocos datos, no hay que perder de vista que es un proyecto enfocado a introducir a la
5- ¿Consideras adecuado el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué propondrías?	evidentemente no estamos en los inicios de la geofísica y es necesario conocerla tal y como es, y el desarrollo de una herramienta de software es un lujo que ni en un semestre de clases se da casi ningun estudiante, en tres semanas se pueden hacer program
6- ¿Que tipo de habilidades consideras que se desarrollan mejor durante estos cursos?	
¿Porqué?	Trabajo en equipo, todo el tiempo hay que compartir datos, instrumental, computadoras y ademas integrar los resultados
7- ¿Consideraste que hubo alguna desventaja en tu preparación con respecto a los demás?	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Explicite	de ninguna manera, un estudiante de geofísica de la FI esta en franca ventaja con respecto a los demás estudiantes a excepción de aquellos que ya son estudiantes de geofísica, en cuyo caso estan a un nivel igual o menor a la UNAM, la mayoría de los asiste
8- ¿Incremento tu motivación por el estudio de la geofísica asistiendo a este tipo de actividades?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿En qué medida?	Mucho, porque permite ver de forma global cosas que se ven previamente y que se van dejando atras
9- ¿Crees posible el hecho de que se pueda aprender geofísica haciendo geofísica?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Cómo?	Soy de la opinion de que la mejor forma de aprender es haciendo, incluso la teoría es mas comprensible habiendo visto su aplicación
10- ¿Cómo calificas el trabajo multidisciplinario de equipo?	
Explicite	Es la parte mas valiosa pues si algo no aprendemos en la escuela es el trabajo en equipo
11- ¿Cuáles obstaculos tuviste que vencer para salir adelante en este tipo de cursos?	
Explicite	La redacción del informe y no por el idioma sino porque no acostumbramos hacer ese tipo de "articulos"
12- Si tuvieras la oportunidad de diseñar un programa similar ¿qué cambiarías para mejorarlo?	
Explicite	Los cambios que haría serían en función de a quien voy a dirigir el programa, por ejemplo si fuera para estudiantes de la carrera le daría un carácter menos introductorio y más aplicado a no ser que se aplicara a estudiantes que no han cursado prospeccion



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



Nombre:	Luis Edgar Rodriguez Abreu	Generación:	2001-2005
Periodo de asistencia:	Jul-05	Año de egreso	2006
Método de prospección seleccionado:	Eléctrica		
Título del Reporte Final:	Análisis de resistividad en la zona de Cochiti Pueblo, Río Santa Fe		
Actualmente te encuentras :	<input type="radio"/> Estudiando <input checked="" type="radio"/> Trabajando <input type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No	¿Cómo?	
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	7	Calificación:	10
Práctica:	5 +geologías	Calificación:	9
1.- Consideras tu estancia en términos generales:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2.- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue :	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3.- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4.- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5.- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6.- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7.- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input type="radio"/> Mucho <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8.- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input checked="" type="radio"/> Mala		
9.- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input type="radio"/> Buena <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10.- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?			
Comentarios Finales:	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Creo que este fue un curso que cambió de manera positiva mi punto de vista respecto a las diversas áreas de la geofísica. El intercambio de conocimientos y experiencias con profesores y alumnos de diferentes escuelas y países, fortaleció mis conocimientos </div>		



**SUMMER of
APPLIED GEOPHYSICAL
EXPERIENCE**



Nombre:	ERICKA A. SOLANO HDZ.	Generación:	2001-1
Periodo de asistencia:	2005	Año de egreso	2006
Método de prospección seleccionado:	ELECTROMAGNÉTICOS: MAGNETOTELÚRICOS		
Título del Reporte Final:	THE EXISTENCE OF A CRUSTAL CONDUCTOR IN SANTA FE RIVER SITE		
Actualmente te encuentras :	<input type="radio"/> Estudiando <input checked="" type="radio"/> Trabajando <input type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	¿Cómo?	POR LAS EMPRESAS QUE VAN A DAR PLATICAS Y DEJAN SUS DATOS
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	NO RECUERDO	Calificación:	
Práctica:	NO RECUERDO	Calificación:	
1- Consideras tu estancia en términos generales:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
9- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input type="radio"/> Buena <input checked="" type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?	ZADO EN EL CUAL SE TENGA CONTACTO CON EL EQUIPO, LAS EMPRESAS Y SOBRE TODO SEA DE BUENA CALIDAD.		
Comentarios Finales:	IMPLEMENTAR UNA PRACTICA SIMILAR EN LA CARRERA DE GEOFISICA AYUDARÍA A UN MEJOR ENTENDIMIENTO DE LAS CLASES TEÓRICAS DE PROSPECCIÓN, ADEMÁS QUE SI EL REPORTE ES DE MUY BUENA CALIDAD SE PODRÍA PRESENTAR COMO TESINA PARA TITULACIÓN Y ASÍ DISMINUIR EL TIEMPO		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



SUMMER of
APPLIED GEOPHYSICAL
EXPERIENCE

Nombre: ERICKA ALINE SOLANO HERNÁNDEZ.

Sección de Preguntas Abiertas

1- Te ha ayudado en tu vida profesional o académica la asistencia a SAGE	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Porqué si o porqué no?	POR SER UN CURSO DE BUENA CALIDAD ACADÉMICA, ES UN BUEN REFERENTE.	
2- ¿Recomendarías a alguien asistir a un curso así?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Porqué?	POR DAR UNA VISIÓN AMPLIA DE LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN, ADEMÁS DE QUE SE UTILIZAN VARIOS MÉTODOS EN CONJUNTO PARA UN MISMO FIN, TAL Y COMO SE HACE EN LA REALIDAD Y NO MÉTODOS POR SEPARADO.	
3- ¿Consideras apropiada la secuencia de actividades realizadas?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Qué mejorarías?		
4- ¿Consideras adecuado el tiempo para la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Porqué?	TAL VEZ UN POCO MÁS DE TIEMPO EN LA ADQUISICIÓN Y MANEJO DEL EQUIPO DEL MÉTODO QUE SE SELECCIONE PARA EL REPORTE. AUNQUE LOS TIEMPOS ESTÁN BIEN.	
5- ¿Consideras adecuado el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Qué propondrías?	AUNQUE TAMBIÉN ES IMPORTANTE QUE SI HACEN EL PROGRAMA PARA ANALIZAR LOS DATOS, SABRÍAN QUE LO QUE OBTUVIERON AL FINAL ES CORRECTO. PERO TAMBIÉN ES IMPORTANTE QUE SE CONOZCA COMO ES QUE FUNCIONAN ALGUNOS DE LOS PROGRAMAS PARA FAMILIARIZARSE.	
6- ¿Que tipo de habilidades consideras que se desarrollan mejor durante estos cursos?		
¿Porqué?	MÁS QUE NADA EL TRABAJO EN EQUIPO Y LOGÍSTICA PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS, ASÍ COMO LA MANERA DE PRESENTAR UN REPORTE.	
7- ¿Consideraste que hubo alguna desventaja en tu preparación con respecto a los demás?	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Explicite	LA PREPARACIÓN QUE RECIBIMOS EN LA FACULTAD ES MUY BUENA	
8- ¿Incremento tu motivación por el estudio de la geofísica asistiendo a este tipo de actividades?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿En qué medida?	PUES ES TANTA LA MOTIVACIÓN QUE HASTA PARA SEGUIR ESTUDIANDO UN POSTGRADO.	
9- ¿Crees posible el hecho de que se pueda aprender geofísica haciendo geofísica?	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
¿Cómo?	PUES CON ACTIVIDADES COMO SAGE SE REAFIRMAN CONOCIMIENTOS	
10- ¿Cómo calificas el trabajo multidisciplinario de equipo?		
Explicite	EN GEOFÍSICA NOS RELACIONAMOS CON VARIAS DISCIPLINAS, Y NO SÓLO DE CIENCIAS DE LA TIERRA, DE AQUÍ QUE APRENDAMOS A COMUNICAR DE MANERA EFICIENTE Y SENCILLA NUESTROS CONOCIMIENTOS Y RESULTADOS A LOS DEMÁS.	
11- ¿Cuáles obstáculos tuviste que vencer para salir adelante en este tipo de cursos?		
Explicite	PUES EL MAYOR OBSTÁCULO FUE ESCRIBIR EL REPORTE EN INGLÉS, PERO EN CUANTO A LAS BASES TEÓRICAS NO HUBO PROBLEMA.	
12- Si tuvieras la oportunidad de diseñar un programa similar ¿qué cambiarías para mejorarlo?		
Explicite	PUES QUE SE PUDIERA DAR A TODOS LOS ALUMNOS DE LA CARRERA DE GEOFÍSICA	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



SUMMER of
APPLIED GEOPHYSICAL
EXPERIENCE

Nombre:	Oscar Vazquez Garcia	Generación:	2002
Periodo de asistencia:	2006	Año de egreso	2006
Método de prospección seleccionado:	Estudio Electromagnetico Transitorio		
Título del Reporte Final:	TEM Survey at Vulcan Site: Implications for shallow groundwater ocurrence		
Actualmente te encuentras :	<input type="radio"/> Estudiando <input type="radio"/> Trabajando <input checked="" type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	¿Cómo?	El CV que lleve a la empresa en donde trabajo mencionaba mi participacion en SAGE y a los entrevistadores les parecio
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	10	Calificación:	10
Práctica:	8	Calificación:	10
1- Consideras tu estancia en términos generales:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue :	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
9- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?	Le daría la oportunidad a los alumnos de geofísica del país de relacionarse directamente con el trabajo de campo y ampliar sus conocimientos teóricos y prácticos, así como prepararse en un mundo que exige la interrelación con varias disciplinas. Permitir		
Comentarios Finales:	Mi estancia en SAGE es de lo que mas me siento orgulloso academicamente.		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



SUMMER OF
 APPLIED GEOPHYSICAL
 EXPERIENCE

Nombre:	Oscar Vázquez García
Sección de Preguntas Abiertas	
1- Te ha ayudado en tu vida profesional o académica la asistencia a SAGE	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué si o porqué no?	Por el conocimiento adquirido, no solo tecnico, sino personal y ademas de que ser un estudiante SAGE es una muy buena tarjeta de presentacion frente al mundo
2- ¿Recomendarías a alguien asistir a un curso así?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	Por la experiencia que puede adquirir y como puede cambiar su perspectiva, forma de pensar y el amplio panorama que puedes ver respecto a la geofísica en Mexico y en el mundo
3- ¿Consideras apropiada la secuencia de actividades realizadas?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué mejorarías?	Incluiría una parte poco mas extensa de los cursos teoricos
4- ¿Consideras adecuado el tiempo para la la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	El tiempo que tenemos es suficiente para renovar conocimientos, aunque me hubiese gustado tener mas tiempo para la interpretacion geologica
5- ¿Consideras adecuado el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué propondrías?	Una mayor cantidad de equipo de computo y el uso de programas creados por los alumnos para el procesameitno y el modelado de datos
6- ¿Que tipo de habilidades consideras que se desarrollan mejor durante estos cursos?	
¿Porqué?	La comunicacion humana, laq integracion a equipos multidisciplinarios y el respeto y tolerancia y humildad
7- ¿Consideraste que hubo alguna desventaja en tu preparación con respecto a los demás?	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Explicáte	La educacion recibida en la UNAM nos prepara lo suficientemente bien como para hacer un papael notable en este tipo de practicas, aunque, me doy cuenta de que pude aprovechar mucho mas lo que nos enseñaron
8- ¿Incremento tu motivación por el estudio de la geofísica asistiendo a este tipo de actividades?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿En qué medida?	En gran medida, la asistencia a SAGE abre un mundo de posibilidades muy grande, tanto en el ambito academico como industrial
9- ¿Crees posible el hecho de que se pueda aprender geofísica haciendo geofísica?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Cómo?	Con organizacion y deseos de aprender y enseñar
10- ¿Cómo calificas el trabajo multidisciplinario de equipo?	
Explicáte	Bueno, la integracion en equipos permite una interrelacion cercana a diferentes puentos de vista, lo que enriquece los resultados
11- ¿Cuáles obstaculos tuviste que vencer para salir adelante en este tipo de cursos?	
Explicáte	Mi problema de aislamiento y seriedad social
12- Si tuvieras la oportunidad de diseñar un programa similar ¿qué cambiarías para mejorarlo?	
Explicáte	Agregaría una semana mas para cursos teoricos, asi como para la parte final de interpretacion y modelado



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



Nombre:	José David Carrillo Rangel	Generación:	2002
Periodo de asistencia:	2006	Año de egreso	2006
Método de prospección seleccionado:	Radar de Penetración Terrestre (GPR)		
Título del Reporte Final:			
Actualmente te encuentras :	<input type="radio"/> Estudiando <input checked="" type="radio"/> Trabajando <input type="radio"/> Estudiando y Trabajando <input type="radio"/> Investigación		
¿SAGE te ayudó a encontrar alguna oportunidad de trabajo o estudio (directamente/indirectamente)?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	¿Cómo?	De alguna manera pesa en el curriculum el haber hecho una estancia en EU
¿En que medida cambio tu visión respecto a la geofísica tu participación en SAGE?	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
Calificación general y número de cursos recibidos			
Teoría:	<input type="text" value="10"/>	Calificación:	<input type="text" value="10"/>
Práctica:	<input type="text" value="8"/>	Calificación:	<input type="text" value="10"/>
1- Consideras tu estancia en términos generales:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
2- La adquisición de nuevos conocimientos teóricos fue:	<input type="radio"/> Excelente <input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
3- La adquisición de pericia en el manejo de equipo fue:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
4- La preparación del personal para impartir los cursos es:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
5- El estado y cantidad del equipo la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
6- La calidad de las instalaciones la calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Excelente <input type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
7- El interés en la zona de estudio lo calificas como:	<input checked="" type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Poco <input type="radio"/> Nada		
8- La vinculación con el sector industrial la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
9- La vinculación con el sector académico la consideras:	<input checked="" type="radio"/> Buena <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Mala		
10- ¿Crees que debería existir un programa similar en México?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No		
¿Porqué si o porqué no?	Por que es una buena oportunidad de demostrar habilidades y hacer contactos con las instituciones y empresas, así como un gran reforzamiento en la formación académica de cada individuo.		
Comentarios Finales:	Más que el tema de recursos para formar una práctica similar considero más importante la disposición y la organización de la misma ya que si realmente se desea los recursos saldrán de alguna manera.		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Encuesta Para Generaciones Asistentes de SAGE



SUMMER of
APPLIED GEOPHYSICAL
EXPERIENCE

Nombre: José David Carrillo Rangel

Sección de Preguntas Abiertas

1- Te ha ayudado en tu vida profesional o académica la asistencia a SAGE	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué si o porqué no?	Por que fue una forma de confrontar lo que has aprendido en tu país y ver que las cosas dándoles organización y tiempo se llevan a cabo correctamente.
2- ¿Recomendarías a alguien asistir a un curso así?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	Por la experiencia técnica, personal y cultural que puedes adquirir y que de alguna manera cambia tu forma de pensar y de dimensionar lo que estudiaste y posicionarlo en el mundo.
3- ¿Consideras apropiada la secuencia de actividades realizadas?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué mejorarías?	Incrementaría el tiempo de procesado y adquisición de datos.
4- ¿Consideras adecuado el tiempo para la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Porqué?	Si bien los tiempos estan calculados correctamente, el dar mayor tiempo a procesado e interpretación mejoraría mucho las cosas sobre todo en sísmica
5- ¿Consideras adecuado el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Qué propondrías?	El desarrollo de programas creados por los alumnos para el procesamiento y el modelado de datos
6- ¿Que tipo de habilidades consideras que se desarrollan mejor durante estos cursos?	
¿Porqué?	Obviamente aspectos técnicos desde la adquisición hasta la interpretación. Lo interesante es que no solamente esta diseñado para eso, también es parte importante la convivencia humana de todas o en su mayoría de las culturas del mundo
7- ¿Consideraste que hubo alguna desventaja en tu preparación con respecto a los demás?	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Explicáte	La educación recibida en la UNAM nos prepara lo suficientemente bien como para hacer un papael notable en este tipo de practicas, creo que es responsabilidad de cada quien mejor lo que hemos recibido.
8- ¿Incremento tu motivación por el estudio de la geofísica asistiendo a este tipo de actividades?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿En qué medida?	En gran medida, ya que visualizas la posición de la geofísica en el mundo.
9- ¿Crees posible el hecho de que se pueda aprender geofísica haciendo geofísica?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
¿Cómo?	Trabajando, Organizando y llevando a cabo lo planeado
10- ¿Cómo calificas el trabajo multidisciplinario de equipo?	
Explicáte	Excelente, ya que varios puntos de vista desde diferentes perspectivas y conocimientos son mejor que mil procediendo todos de la misma rama.
11- ¿Cuáles obstaculos tuviste que vencer para salir adelante en este tipo de cursos?	
Explicáte	Naturalmente un idioma diferente a tu idioma natal pero fue un reto.
12- Si tuvieras la oportunidad de diseñar un programa similar ¿qué cambiarías para mejorarlo?	
Explicáte	Dar mayor tiempo y supervisar la organización del programa en México.

ANEXO H

Calendario propuesto de actividades para el desarrollo de la práctica.



Calendario General de Actividades

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA

PRÁCTICA FINAL DE MÉTODOS GEOFÍSICOS



Destino: _____

Fecha de inicio: _____

Semestre: _____

■ Día 0

Arribo e Instalación

14:00 hrs. – Arribo de los estudiantes a las Instalaciones donde en el lugar se realizarán los estudios de campo.

17:00 hrs. – Plática de bienvenida

18:00 hrs. – Evento Social

■ Día 1

Curso Teórico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Geología: Plan y Objetivos

10:00 hrs.–Geología: Marco Tectónico

11:30 hrs. – Receso

12:00 hrs.– GPS, Teoría de mediciones y correcciones

14:00 hrs.– Comida

15:30 hrs.– Seguridad en campo, aspectos locales

17:00 hrs.– Introducción a los métodos geofísicos

18:00 hrs.–Receso

18:15 hrs. – Conferencia Nocturna

19:00 hrs.– Cena

■ Día 2

Curso Teórico/Práctico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Geología: reconocimiento de sitio

14:00 hrs.– Comida

16:00 hrs.– Gravimetría:

Concepto de gravedad observada

Reducción de datos

17:30 hrs.– Magnetometría:

Ecuaciones fundamentales del campo magnético terrestre

Anomalia magnética

19:00 hrs.– Cena

■ Día 3

Curso Teórico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Estratigrafía regional y local

10:00 hrs.–Gravimetría:
 Planeación de levantamientos gravimétricos
 Criterios para la interpretación de anomalías

11:45 hrs. – Receso

12:00 hrs.– Magnetometría:
 Planeación de levantamientos magnéticos terrestres
 Criterios de interpretación

14:00 hrs.– Comida

15:30 hrs.– GPS: Instrumentación de campo y práctica

18:00 hrs.– Primeros Auxilios

19:00 hrs.– Cena

■ Día 4

Curso Teórico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Métodos eléctricos:
 Concepto de resistividad aparente
 Planeación de sondeo eléctrico vertical (SEV).
 Arreglos Wenner y Schlumberger

11:15 hrs. – Receso

11:45 hrs.– Métodos electromagnéticos:
 Ecuaciones de Maxwell
 Estudios FDEM, TDEM, MT y GPR

14:00 hrs.– Comida

16:00 hrs.– Introducción a la adquisición digital y filtrado

18:00 hrs.– Cena/Evento social

■ Día 5

Curso Teórico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Métodos sísmicos:
 Identificación de eventos sísmicos registrados en gráficas (t, x)
 Técnicas del método de refracción

10:45 hrs. – Receso

11:15 hrs.– Métodos sísmicos:
 Esquema de adquisición del método de reflexión
 Secuencia básica de procesamiento

14:00 hrs.– Comida

15:30 hrs.– Métodos eléctricos:
 Diseño de estudios de tomografía eléctrica
 Técnicas de interpretación, 1-D y 2-D

17:00 hrs. – Receso

17:15 hrs.– Métodos electromagnéticos:
 Procesamiento de datos
 Interpretación

19:00 hrs.– Cena

■ Día 6

Curso Teórico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Métodos sísmicos:
 Construcción de imágenes sísmicas
 Bases de interpretación

11:30 hrs. – Receso

11:45 hrs.– Método magneto telúrico:
 Principios fundamentales y aplicaciones

14:00 hrs.– Comida

16:00 hrs.– Metodología del trabajo geofísico de campo:
 Diseño de estudios, revisión y/o calibración de equipo
 Técnicas de adquisición

19:00 hrs.– Cena

■ Día 7

Curso Teórico/Práctico

8:00 hrs. – Desayuno

9:00 hrs.– Geofísica: levantamiento de pequeñas secciones
 con el fin de calibrar/verificar equipo.

14:00 hrs.– Comida

17:00 hrs.– Tarde Libre.

■ Día 8

Día Libre

Mañana libre:

17:00 hrs.– Inspección de equipo y preparación para el campo.

18:00 hrs.– Sorteo del trabajo de campo/adquisición
 Por equipos

19:00 hrs.– Cena

■ Día 9

Trabajo de Campo

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Adquisición de datos/Trabajo de campo:

Equipo 1: Gravimetría

Equipo 2: Magnetometría

Equipo 3: Eléctricos

Equipo 4: Electromagnéticos

Equipo 5: Sísmicos

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Conferencia Nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 10

Trabajo de Campo

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Adquisición de datos/Trabajo de campo:

Equipo 1: Magnetometría

Equipo 2: Gravimetría

Equipo 3: Electromagnéticos

Equipo 4: Sísmicos

Equipo 5: Eléctricos

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Lectura Nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 11

Trabajo de Campo

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Adquisición de datos/Trabajo de campo:

Equipo 1: Eléctricos

Equipo 2: Sísmicos

Equipo 3: Magnetometría

Equipo 4: Gravimetría

Equipo 5: Electromagnéticos

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Lectura Nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 12

Trabajo de Campo

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Adquisición de datos/Trabajo de campo:

Equipo 1: Electromagnéticos

Equipo 2: Eléctricos

Equipo 3: Sísmicos

Equipo 4: Magnetometría

Equipo 5: Gravimetría

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Lectura Nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 13

Trabajo de Campo

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Adquisición de datos/Trabajo de campo:

Equipo 1: Sísmicos

Equipo 2: Electromagnéticos

Equipo 3: Gravimetría

Equipo 4: Eléctricos

Equipo 5: Magnetometría

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Conferencia Nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 14

Trabajo de Gabinete

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Preprocesamiento de datos/vaciado de los mismos:

11:00 hrs.- Curso de Software Geofísico

14:00 hrs.- Comida

15:30 hrs.- Curso de Procesamiento de datos geofísicos

18:00 hrs.- Sorteo del trabajo de procesamiento /interpretación
Por equipos

19:00 hrs.- Cena

■ Día 15

Día Libre

Mañana/Tarde libre:

18:00 hrs.- Conferencia nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 16

Trabajo de Procesamiento

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Procesamiento de datos del método asignado

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Lectura nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 17

Trabajo de Procesamiento

8:00 hrs. - Desayuno

9:00 hrs.- Procesamiento de datos del método asignado

14:00 hrs.- Comida

18:00 hrs.- Lectura nocturna

19:00 hrs.- Cena

■ Día 18

Trabajo de Procesamiento
e Interpretación

8:00 hrs. – Desayuno
9:00 hrs.– Procesamiento /interpretación de datos
del método asignado
14:00 hrs.– Comida
18:00 hrs.– Conferencia nocturna
19:00 hrs.– Cena

■ Día 19

Trabajo de Interpretación

8:00 hrs. – Desayuno
9:00 hrs.– Interpretación de datos de l método asignado
14:00 hrs.– Comida
18:00 hrs.– Lectura nocturna
19:00 hrs.– Cena

■ Día 20

Trabajo de Interpretación

8:00 hrs. – Desayuno
9:00 hrs.– Interpretación de datos de l método asignado
14:00 hrs.– Comida
16:00 hrs.– Preparación del reporte/evaluación oral y escrito.
19:00 hrs.– Cena

■ Día 21

Evaluación

8:00 hrs. - Desayuno
9:00 hrs.- Presentación de reportes orales
14:00 hrs.- Comida
15:30 hrs.- Preparación de reportes orales
19:00 hrs.- Cena

■ Día Final

Partida

8:00 hrs.- Desayuno
9:00 hrs.- Presentación de reportes escritos
14:00 hrs.- Comida
16:30 hrs.- Partida

ANEXO I

Hoja de cálculo de los ingresos/egresos para la práctica.

Financiamiento Anual de la Práctica

Resumen

	Reales	Previstos	Exceso o Defecto	Notas
Total ingresos con compra de equipo geofísico	1,760.0	500.0	1,260.00 exceso	
Total gastos con compra de equipo geofísico	2,327.0	454.2	1,872.80 exceso	
Ingresos menos gastos	- 567.0	45.8	612.80 defecto	La compra puede ser opcional
Total ingresos sin compra de equipo geofísico	1,760.0	500.0	1,260.00 exceso	
Total gastos sin compra de equipo geofísico	1,527.0	454.2	1,072.80 exceso	
Ingresos menos gastos	233.0	45.8	187.20 exceso	Viable con la renta o préstamo de equipo

Ingresos

	Reales	Previstos	Exceso o Defecto	Notas
Aportación del presupuesto de prácticas FI	300.0	200.0	100.00 exceso	Aportación del Dpto. Geofísica
Aportación de la SEFI	50.0	100.0	50.00 defecto	Aportación de Exalumnos
Aportación Colegio de Ingenieros Geofísicos	10.0			
PAPIME	250.0			
Aportación de la institución receptora	250.0	100.0	150.00 exceso	Institución que apoya la práctica
Aportación del alumno	50.0	100.0	50.00 defecto	
Otros (rifas, recaudaciones,...)	100.0	0.0	100.00 exceso	Organización de eventos sociales
Ingresos extraordinarios dpto. de geofísica	750.0			
Total ingresos	1,760.0	500.0	1,260.00 exceso	

Gastos

	Reales	Previstas	Exceso o Defecto	Notas
Seguro de la práctica	5.0	4.2	0.80 exceso	
Gastos médicos	1.0	0.0	1.00 exceso	
Otros	1.0	0.0	1.00 exceso	
Total retenciones	7.0	4.2	2.80 exceso	
Porcentaje sobre gastos	0.30%	0.92%		

	Reales	Previstos	Exceso o Defecto	Notas
Bibliografica (libros, artículos, mapas)	\$15.0	\$0.0	15.00 exceso	5 cartas, 10 libros, 10 artículos
Equipo Geofísico	\$10.0			
Compra de Equipo	\$800.0	\$0.0	800.00 exceso	compra de un equipo por año, renta de otro y/o préstamo
Equipo de Computo	\$45.0	\$0.0	45.00 exceso	1 laptop por año, 1 equipo de impresión
Equipo de Apoyo	\$15.0	\$0.0	15.00 exceso	Periféricos, conectores, compra de brújula y gps por año
Mobiliario	\$15.0	\$0.0	15.00 exceso	carpa, 2 hieleras, tienda de campaña, 5 sillas, 2 som brillas
Total sin compra de equipo	100.0	0.0	100.00 exceso	
Total con compra de equipo	900.0	0.0	900.00 exceso	
Porcentaje sobre gastos sin compra	5.68%			
Porcentaje sobre gastos con compra	38.68%			

	Reales	Previstos	Exceso o Defecto	Notas
Alojamiento	350.0	250.0	100.00 exceso	Hotel, campamento ...
Alimentación	200.0	200.0	Según presupuesto	Restaurant, comedor...
Transporte FI-sitio-FI	250.0	0.0	250.00 exceso	Gasolina, peaje, chofer
Transporte interno local	500.0	0.0	500.00 exceso	Gasolina, peaje, chofer
Papelaria	15.0		15.00 exceso	
Servicios de impresión	10.0	0.0	10.00 exceso	Carpetas, CD's, plumones, borrador
Ferretería	10.0	0.0	10.00 exceso	Herramienta, eléctrico, mecánico
Primeros auxilios	5.0	0.0	5.00 exceso	Equipo básico p/equipo y completo gral.
Materia prima	5.0	0.0	5.00 exceso	Materiales como ácidos y otros accesorios...
Viveres	20.0	0.0	20.00 exceso	Agua, gatorade, sandwich's, ...
Total gastos fijos	1,365.0	450.0	915.00 exceso	
Porcentaje sobre gastos	58.66%	99.08%		

	Reales	Previstos	Exceso o Defecto	Notas
Otros gastos de transporte	\$10.0	\$0.0	10.00 exceso	
Médico y medicinas	\$5.0	\$0.0	5.00 exceso	
Turismo y Esparcimiento	\$15.0	\$0.0	15.00 exceso	
Regalos	\$20.0	\$0.0	20.00 exceso	
Otros	\$5.0	\$0.0	5.00 exceso	
Total gastos variables	55.0	0.0	55.00 over	
Porcentaje sobre gastos	2.36%			

ANEXO J

Cartas de acercamiento o contacto con empresas y/o instituciones con la finalidad de la colaboración.

ASUNTO: Colaboración Institucional

**[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Director de [Nombre de la Institución Receptora]
Presente**

A través del presente medio, me permito hacer de su conocimiento la realización de una práctica integral de prospección geofísica en **[Lugar de investigación]** del **[Fecha inicial]** al **[Fecha de término]**, contemplada en el recientemente aprobado plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La realización de tal práctica tendrá por objetivo que el alumno logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinarlo geofísico. Mediante la interacción y convivencia con personal propio de **[Nombre de la Institución Receptora]**, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en la logística, la adquisición y el procesamiento de los datos recolectados, así como su interpretación y modelación. Dado el uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos de impecable factura en la solución de problemas existentes y de actualidad, bajo condiciones de trabajo reales.

Por lo expuesto anteriormente, solicito el apoyo en recursos financieros, infraestructura, técnicos y humanos, que su bien dirigida y distinguida institución es capaz de acoger. Para su honra y favor, mediante una organización cuidadosa y ejecución sistemática de las actividades descritas anteriormente, se trabajará en proyectos de investigación en desarrollo vinculados a **[Nombre de la Institución Receptora]**. Tal acercamiento brindará la oportunidad de reclutar recursos humanos en actividades de servicio social, tesis y posgrado en los programas propios de la institución a su cargo.

Sin más por el momento, quedo en espera de su pronta respuesta y agradezco su amable atención. Aprovecho la presente para enviar a usted un fraternal saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, México, [Fecha]

**[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Jefe del Departamento de Geofísica
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México**

ASUNTO: Patrocinio Económico

[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Director Técnico de [Nombre de la Empresa]
Presente

A través del presente medio, me permito hacer de su conocimiento la realización de una práctica integral de prospección geofísica en **[Lugar de investigación]** del **[Fecha inicial]** al **[Fecha de término]**, contemplada en el recientemente aprobado plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La realización de tal práctica tendrá por objetivo que el alumno logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinario geofísico. Mediante la interacción y convivencia con personal propio de **[Nombre de la Empresa]**, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en la logística, el diseño de un levantamiento geofísico, la adquisición y el procesamiento de los datos recolectados, así como su interpretación y modelación. Dado el uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos de impecable factura en la solución de problemas existentes y de actualidad, bajo condiciones de trabajo reales, de carácter empresarial.

Por las razones descritas anteriormente, solicito atentamente su participación directa y activa en el desarrollo de las actividades contempladas, mediante el apoyo financiero, técnico y humano que **[Nombre de la Empresa]** pueda proporcionar.

Además de la participación de estudiantes en proyectos de interés empresarial, **[Nombre de la Empresa]** se verá beneficiada por la promoción realizada durante el período de actividades dar a conocer más de la línea de trabajo de la empresa en actividades como la adquisición, procesamiento e interpretación y de los elementos técnicos y humanos que hacen de **[Nombre de la Empresa]** líder en el área de **[Línea de trabajo de la empresa]**; así como de su ideología de trabajo. Para su honra y favor, conocerán a estudiantes de alto nivel interesados en formar parte del equipo de trabajo en **[Nombre de la Empresa]**.

Sin más por el momento, quedo en espera de su pronta respuesta y agradezco su amable atención. Aprovecho la presente para enviar a usted un fraternal saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, México, [Fecha]

[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Jefe del Departamento de Geofísica
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

ASUNTO: Renta y venta de
equipo geofísico

**[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Ejecutivo de Ventas de [Nombre de la Empresa]
Presente**

A través del presente medio, me permito hacer de su conocimiento la realización de una práctica integral de prospección geofísica en **[Lugar de investigación]** del **[Fecha inicial]** al **[Fecha de término]**, contemplada en el recientemente aprobado plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La realización de tal práctica tendrá por objetivo que el alumno logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinario geofísico. Mediante la interacción y convivencia con personal propio de **[Nombre de la Empresa]**, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en la logística, diseño de un levantamiento geofísico y adquisición de datos. Dado el uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos de impecable factura en la solución de problemas existentes y de actualidad, bajo condiciones de trabajo reales, de carácter empresarial.

Por las razones descritas anteriormente, solicito atentamente su participación directa y activa mediante el préstamo temporal de **[equipo geofísico]** de punta que hace de **[Nombre de la Empresa]** una empresa líder en el ramo. Así mismo, solicito el apoyo técnico y humano a fin de contar con personal altamente calificado en el uso y operación del equipo en campo.

Además de la participación de estudiantes en proyectos de interés empresarial, **[Nombre de la Empresa]** se verá beneficiada por la futura compra del equipo geofísico por parte de instituciones académicas involucradas en dicha práctica.

Sin más por el momento, quedo en espera de su pronta respuesta y agradezco su amable atención. Aprovecho la presente para enviar a usted un fraternal saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, México, [Fecha]

[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Jefe del Departamento de Geofísica
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

ASUNTO: Compra y renta de licencias de software

**[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Ejecutivo de Ventas de [Nombre de la Empresa]
Presente**

A través del presente medio, me permito hacer de su conocimiento la realización de una práctica integral de prospección geofísica en **[Lugar de investigación]** del **[Fecha inicial]** al **[Fecha de término]**, contemplada en el recientemente aprobado plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La realización de tal práctica tendrá por objetivo que el alumno logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinario geofísico. Mediante la interacción y convivencia con personal propio de **[Nombre de la Empresa]**, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en el procesamiento de datos geofísicos a través del software especializado. Dado el uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos de impecable factura en la solución de problemas existentes y de actualidad, bajo condiciones de trabajo reales, de carácter empresarial.

Por las razones descritas anteriormente, solicito atentamente su participación directa y activa mediante la activación de licencias temporales de algunos de los paquetes computacionales de procesamiento e interpretación que hacen de **[Nombre de la Empresa]** una empresa líder en la rama del desarrollo de software geofísico. El período máximo por el que se necesita es de siete meses, esto incluye un mes de prueba y capacitación precedente a la realización de la práctica, el período de la práctica, así como los meses subsecuentes en los cuales se llevará a cabo el procesamiento a detalle de todos los datos adquiridos en campo como parte del curso de Procesamiento de Datos Geofísicos.

Además de la participación de estudiantes en proyectos de interés empresarial, **[Nombre de la Empresa]** se verá beneficiada por la promoción realizada durante el período de actividades al dar a conocer más sobre la línea de trabajo de la empresa; conjuntamente, los alumnos conocerán y aprenderán el manejo básico de los paquetes a utilizar, por lo que tales estudiantes estarán capacitados parcialmente en su uso. Para su honra y favor, conocerán a estudiantes de alto nivel interesados en formar parte del equipo de trabajo de **[Nombre de la Empresa]**.

Sin más por el momento, quedo en espera de su pronta respuesta y agradezco su amable atención. Aprovecho la presente para enviar a usted un fraternal saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, México, [Fecha]

[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Jefe del Departamento de Geofísica
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

ASUNTO: Apoyo Académico

**[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Director de Proyectos [Nombre de la Institución Receptora]
Presente**

A través del presente medio, me permito hacer de su conocimiento la realización de una práctica integral de prospección geofísica en **[Lugar de investigación]** del **[Fecha inicial]** al **[Fecha de término]**, contemplada en el recientemente aprobado plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La realización de tal práctica tendrá por objetivo que el alumno logre destreza, habilidades y experiencia en los diversos ámbitos de estudio multidisciplinario geofísico. Mediante la interacción y convivencia con personal propio de **[Nombre de la Institución Receptora]**, altamente calificado, el alumno complementará los conocimientos teóricos y conocerá los elementos más relevantes en la logística, el diseño de un levantamiento geofísico, la adquisición y el procesamiento de los datos recolectados, así como su interpretación y modelación. Dado el uso y correlación de diversos métodos geofísicos de exploración complementarios, el alumno generará modelos geológicos de impecable factura en la solución de problemas existentes y de actualidad, bajo condiciones de trabajo reales.

Por las razones descritas anteriormente, solicito atentamente su colaboración cercana en cuestiones de logística, diseño, evaluación y supervisión de los estudios geofísicos a realizar, orientados a la solución de problemas geofísicos y geológicos inherentes de ciertos proyectos de investigación bajo su digno cargo.

Para su honra y favor, conocerá a estudiantes de alto nivel interesados en la realización de servicio social, la elaboración de tesis y consecuente posgrado en el tema.

Sin más por el momento, quedo en espera de su pronta respuesta y agradezco su amable atención. Aprovecho la presente para enviar a usted un fraternal saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, México, [Fecha]

[Título][Nombre] [Apellido Paterno] [Apellido Materno]
Jefe del Departamento de Geofísica
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

ANEXO K

Plan de estudios 2005 de la carrera de Ingeniería Geofísica

FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA GEOFÍSICA

ASIGNATURAS OBLIGATORIAS						Cred. totales	Cred. optativos	Total
1	ALGEBRA (E)	CÁLCULO DIFERENCIAL (E)	GEOMETRÍA ANALÍTICA (E)	COMPUTACIÓN PARA INGENIEROS (E+)	CULTURA Y COMUNICACIÓN (E)	45		45
2	ALGEBRA LINEAL (E)	CÁLCULO INTEGRAL (E)	ESTADÍSTICA (E)	FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA (E+)	QUÍMICA (E+)			
3	TRIGONOMETRÍA (E)	CÁLCULO VECTORIAL (E)	RELACIONES DIFERENCIALES (E)	MÉTODOS (E)	DIBUJO (E)	44		44
4	ELECTRÓNICA Y MAGNETISMO (E+)	CINEMÁTICA Y DINÁMICA (E)	INTRODUCCIÓN A LA GEOFÍSICA (E)	PETROLOGÍA (E)	GEOLOGÍA PARA CARRERAS DE LA TIERRA (E)			
5	VARIABLE COMPLEJA APLICADA A LA GEOFÍSICA (E)	ANÁLISIS NUMÉRICO (E)	PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA (E)	SEDIMENTOLOGÍA (E+)	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (P)	49		49
6	ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES (E)	MÉDICA DEL TIEMPO CONTINUO (E)	INFERENCIA ESTADÍSTICA (E)	TEORÍA DEL POTENCIAL APLICADA A LA GEOFÍSICA (E)	GEOLOGÍA DE CAMPO (E+)			
7	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE FILTROS DIGITALES (E)	FÍSICA DE LAS ONDAS (E)	FUNDAMENTOS DE TÉCNICA ELÉCTRICA MAGNÉTICA (E)	PROSPECCIÓN GEOMAGNÉTICA Y MAGNETOMETRÍA (P)	ÉTICA PROFESIONAL (E)	42	5	47
8	INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DE SEÑALES (E)	PROSPECCIÓN ELÉCTRICA (P)	PROSPECCIÓN ELÉCTRICA (P)	ARQUITECTURA DEL MÓDULO RELACIONADO (E)	INTRODUCCIÓN A LA ECONOMÍA (E)			
9	INTRODUCCIÓN Y MÉTODOS CONVENCIONALES DE FOS (P)	INSERCIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS (E)	PROSPECCIÓN ELÉCTRICA INVERSA (P)	ARQUITECTURA DEL MÓDULO RELACIONADO (E)	EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (E)	32	5	37
10	PROYECTO TERMINAL DEL MÓDULO RELACIONADO (E)	PROGRAMAMIENTO DE DATOS GEOFÍSICOS (E)	SERIES SELECTOR DEL MÓDULO RELACIONADO (E)	ARQUITECTURA DEL MÓDULO RELACIONADO (E)	RECURSOS Y NECESIDADES DE MÉXICO (E)			

 Asignatura de Ciencias Básicas (147 créditos distribuidos en 15 asignaturas)		Totales obligatorias	492
 Asignatura de Ciencias de la Ingeniería (115 créditos distribuidos en 14 asignaturas)		Totales optativos (mín)	36
 Asignatura de Ingeniería Aplicada (56 créditos mínimos distribuidos en 13 asignaturas)		Totales	432
 Asignatura de Ciencias Sociales y Humanidades (39 créditos distribuidos en 6 asignaturas)			
 Asignatura de Otras Disciplinas (29 créditos distribuidos en 4 asignaturas)			

PENSUM ACADÉMICO OBLIGATORIAS 3736 HRS.
PENSUM ACADÉMICO OPTATIVO MÍNIMO 192 HRS. Y MÁXIMO 256 HRS.

NOTAS:

- (L+) Indica laboratorio por separado
- (L) Indica laboratorio incluido
- (P) Indica prácticas incluidas
- (P+) Indica prácticas por separado
- Indica Señalización obligatoria

- ★ La asignatura incluye el número de créditos optativos mínimos
- (E) Horas teóricas
- (P) Horas prácticas
- T: Total de horas teóricas y prácticas

Los alumnos que hayan cursado y aprobado las asignaturas Prospección Gravimétrica y Magnetométrica, Prospección Eléctrica, Prospección Sísmica y Prospección Electromagnética, deberán llevar una práctica entre el 9 y 10 semestros.