



AGRADECIMIENTOS



A la Universidad Veracruzana por apoyarme para alcanzar una meta más en mi desarrollo profesional.

Al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) por facilitar los recursos necesarios para concretar los estudios de doctorado.

Al Dr. Mario Ordaz Schroeder por ofrecerme la oportunidad de aprender de su amplia experiencia.

Al Dr. Félix Fernando González Navarro por aceptarme en su grupo de trabajo y brindarme su apoyo constante.

Al M. en C. José Luis Soto Ortiz por facilitarme herramientas que sustanciales para el desarrollo de mi trabajo.

A todas las autoridades y personal administrativo del Instituto de Ingeniería que me apoyaron durante mi paso por la entidad.

A todos los investigadores con los que tuve oportunidad de tomar clases, por transmitir generosamente sus conocimientos.

A todos mis compañeros estudiantes que hicieron mucho más grata mi paso por la UABC.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**“El procesamiento de señales sísmicas en México:
Un panorama actual y el empleo de la Ingeniería
de Software en el diseño de una herramienta para
la ingeniería sísmica”**

**Tesis para obtener el grado de:
DOCTOR EN INGENIERIA**

PRESENTA
Abigail Zamora Hernández

DIRECTOR
Dr. Félix Fernando González Navarro

CODIRECTOR
Dr. Mario Ordaz Schroeder

Mexicali, B. C.

Mayo/2014

INDICES

De Contenido

Nº	DESCRIPCION	Pág.
1	Resumen	1
2	Introducción	3
	2.1 Planteamiento del problema	4
	2.2 Justificación	7
	2.3 Objetivos	9
	2.4 Revisión bibliográfica del campo del conocimiento	11
3	Presentación del estudio	28
	3.1 Descripción de aplicaciones	28
	3.2 Análisis Descriptivo	56
	3.3 Metodología de desarrollo de software	74
4	Desarrollo de la aplicación de software	83
	4.1 Análisis	83
	4.2 Diseño	97
	4.3 Desarrollo	99
5	Discusión y Conclusiones	116
	5.1 Discusión	116
	5.2 Conclusiones	117
	5.3 Trabajo Futuro	118
	5.4. Productos académicos	118
6	Referencias	138
7	Glosario	152
8	Apéndices	160
	8.1 Diccionario de datos	160
	8.2 Código de la aplicación	160
	8.3 Artículos	160

De Figuras

Nº	DESCRIPCION	Pág
1	Sismo en Mexicali, B.C. del 4 de abril del 2010, Magnitud 7.2	3
2	Representación gráfica de un acelerograma	4
3	Red Sismológica de Banda Ancha del SSN en México	5
4	Sismicidad reportada por el SSN en el área de Mexicali, B.C. para el sismo del 4 de Abril de 2010	6
5	Placas tectónicas en México	11
6	Falla de San Andrés en California	12
7	Epicentros de los sismos ocurridos en México de 1900 a la fecha	13
8	Estados donde se concentra la actividad sísmica en México	15
9	Torre Latinoamericana en sismo del DF	16
10	Edificio Nuevo León de la U. H. Tlatelolco.	16
11	Vista aérea de la catedral de Puerto Príncipe tras el terremoto	19
12	Vista de una zona de Puerto Príncipe tras el seísmo	20
13	Autos volcados en una autopista de Santiago de Chile	21
14	Rescatistas buscan sobrevivientes en un complejo de departamentos colapsado en Concepción, Chile	22
15	El Tsunami llega a Miyako	22
16	Un barco termina posado sobre un edificio tras el tsunami	23
17	Desarrollo cronológico de las aplicaciones de software	56
18	Producción anual de software en el periodo 1971-2011	57
19	Países de AL que desarrollan aplicaciones de software	58
20	Países de Europa que desarrollan aplicaciones de software	59
21	Arquitecturas de cómputo	59
22	Sistemas operativos de estaciones de trabajo.	60
23	Sistemas operativos empleados en computadoras personales.	60
24	Aplicaciones software que tienen un costo asociado	62
25	Aplicaciones software que no tienen costo	62
26	Lenguajes empleados en el desarrollo de aplicaciones	63
27	Cantidad de funciones que posee cada aplicación	70
28	Prácticas de la programación extrema XP	77
29	Arquitectura del Framework .NET	80
30	Compilación y Ejecución en .NET	81
31	Proyectos en la aplicación origen	84
32	Clases que integran cada proyecto	84
33a	Diagrama de dependencias de la aplicación (primera	85

Nº	DESCRIPCION	Pág
	sección)	
33b	Diagrama de dependencias de la aplicación (segunda sección)	85
33c	Diagrama de dependencias de la aplicación (tercera sección)	86
33d	Diagrama de dependencias de la aplicación (cuarta sección)	86
33e	Diagrama de dependencias de la aplicación (quinta sección)	87
34	Diagrama de la clase Acelerograma	88
35	Diagrama de la clase Espectro Fourier	88
36	Diagrama de la clase Espectro Real	88
37	Diagrama de la clase Fork	88
38	Diagrama de la clase Funciones Generales	89
39	Diagrama de la clase Oscilador	89
40	Diagrama de la clase Seisan	89
41	Diagrama de la clase BasFuentes	89
42	Diagrama de la clase Geometry	90
43	Diagrama de la clase Graficas	90
44	Diagrama de la clase VentanaAcel	90
45	Diagrama de la clase CopiaProfunda	90
46	Diagrama de la clase Complejo	91
47	Diagrama de la clase ClaseBIL	91
48	Diagrama de la clase ClaseRegion	92
49	Diagrama de la clase ClaseShape	92
50	Diagrama de la clase Enumeraciones	92
51	Diagrama de la clase GridHeader	92
52	Diagrama de la clase Malla	92
53	Diagrama de la clase ModGRN	93
54	Diagrama de la clase ModTopo	93
55	Diagrama de la clase ObjectSubdivision	93
56	Diagrama de la clase Curva	93
57	Diagrama de la clase Malla	94
58	Diagrama de la clase MiniGraph	94
59	Diagrama UML de la aplicación original	95
60	Diagrama UML de CLASES	95
61	Diagrama UML de CRISIS	96
62	Diagrama UML de ERN	96
63a	Dependencia jerárquica entre componentes de la aplicación	96
63b	Conjunto de dependencias de la aplicación (Izquierda)	96
63c	Conjunto de dependencias de la aplicación (Derecha)	97

Nº	DESCRIPCION	Pág
64	Interfaz inicial de la aplicación	97
65	Interfaz del menú ARCHIVO	98
66	Interfaz del menú ORGANIZAR	98
67	Interfaz del menú VENTANAS	98
68	Gráfica de Dependencias de la solución corregida	100
69	Diagrama de la clase Acelerograma	101
70	Diagrama de la clase BoundingBox	101
71	Diagrama de la clase claseRegion	101
72	Diagrama de la clase ColeccionVentanas	101
73	Diagrama de la clase Colores	101
74	Diagrama de la clase ColorStructure	102
75	Diagrama de la clase Complejo	102
76	Diagrama de la clase CopiaProfunda	102
77	Diagrama de la clase Curva	102
78	Diagrama de la clase DBFFieldDescriptor	102
79	Diagrama de la clase DBFRecord	102
80	Diagrama de la clase EspectroFourier	103
81	Diagrama de la clase EspectroReal	103
82	Diagrama de la clase GraficaERN	103
83	Diagrama de la clase GridHeader	104
84	Diagrama de la clase IntervaloD	104
85	Diagrama de la clase IntervaloI	104
86	Diagrama de la clase Malla	104
87	Diagrama de la clase MapaBIL	105
88	Diagrama de la clase MiniGRAPH	105
89	Diagrama de la clase ModGRN	106
90	Diagrama de la clase ModTopo	106
91	Diagrama de la clase ObjectSubdivision	106
92	Diagrama de la clase Oscilador	106
93	Diagrama de la clase PointType	107
94	Diagrama de la clase Poligono	107
95	Diagrama de la clase Pulso	107
96	Diagrama de la clase Punto	107
97	Diagrama de la clase Segmento	107
98	Diagrama de la clase SeisanFile	107
99	Diagrama de la clase Shape	108
100	Diagrama de la clase ShapeRecord	108
101	Diagrama de la clase Triangulo	108
102	Diagrama del modulo basFuentes	109
103	Diagrama del modulo DeclaracionesGlobales	109
104	Diagrama del modulo Enumeraciones	109
105	Diagrama del modulo Fork	109

Nº	DESCRIPCION	Pág
106	Diagrama del modulo FuncionesGenerales	109
107	Diagrama del modulo GeneralShape	109
108	Diagrama del modulo Graficas	109
109	Diagrama del modulo Varios	109
110	Diagrama de la estructura CabezaSeisan	110
111	Diagrama de la estructura ColoresPantalla	110
112	Diagrama de la estructura FechaSeisan	110
113	Diagrama de la estructura PuntoDeCalculo	110
114	Diagrama de la estructura RectasLB	110
115	Diagrama de la estructura Tipo_Seisan	110
116	Diagrama de la enumeración ComportamientoOscilador	111
117	Diagrama de la enumeración FamiliaEspectro	111
118	Diagrama de la enumeración TipoArchivo	111
119	Diagrama de la enumeración TipoInterpolacion	111
120	Diagrama de la enumeración TipoPulso	111
121	Diagrama de la enumeración TipoRespuesta	111
122	Diagrama de la enumeración TipoSentido	112
123	Diagrama de la enumeración TipoShape	112
124	Diagrama de la enumeración VersionesGRNSoportadas	112
125	Conjunto de clases de la aplicación	113
126	Conjunto de módulos de la aplicación	113
127	Conjunto de estructuras de la aplicación	113
128	Conjunto de enumeraciones de la aplicación	113
129	Conjunto de formularios en la aplicación	114
130a	Diccionario de datos: Acelerograma	114
130b	Diccionario de datos: Acelerograma	115

De Tablas

Nº	DESCRIPCION	Pág
1	Sismos de Magnitud mayor a 5.5, registrados en la República Mexicana desde 1887	14
2	Datos generales de las 22 aplicaciones de software	64
3	Bap - Funciones Principales	73
4	Degtra - Funciones Principales	74
5	Earthworm - Funciones Principales	74
6	Fuente - Funciones Principales	74
7	Geogiga Microtremor - Funciones Principales	74
8	Hypo71 - Funciones Principales	75
9	Icorrect - Funciones Principales	75
10	Insite - Funciones Principales	75
11	Loca - Funciones Principales	75
12	Pase - Funciones Principales	76
13	Pitsa - Funciones Principales	76
14	Preproc - Funciones Principales	76
15	Promax - Funciones Principales	76
16	Sac - Funciones Principales	76
17	Seisan - Funciones Principales	77
18	Seismosignal - Funciones Principales	77
19	Seispace - Funciones Principales	77
20	Seisplus - Funciones Principales	77
21	Seisware - Funciones Principales	78
22	Seisware - Funciones Principales	78
23	Stk - Funciones Principales	78
24	Zmap - Funciones Principales	79
25	Funciones básicas de las aplicaciones	80
26	Funciones avanzadas de las aplicaciones	81
27	Funciones superiores de las aplicaciones	82
28	Descripción de funciones en barra de herramientas	108

1.- RESUMEN.

Los sismos son de los desastres naturales que mayores pérdidas económicas y humanas producen. La prevención de sus efectos y la mitigación de sus daños impulsa a los científicos a estudiar su comportamiento, por lo que se han instalado diversas redes de monitoreo en el territorio nacional para recopilación de datos en cada evento sísmico. El interés por conocer de manera precisa cómo se producen y las afectaciones que generan, promueve la incorporación progresiva de más equipos de registro, lo que a su vez produce un creciente volumen de datos por analizar. Para automatizar la organización de dicha información, el procesamiento, análisis y obtención de resultados, es inherente al empleo de equipo de cómputo, pero también es imprescindible la aplicación de software especializado.

Este documento inicia con una revisión histórica de los daños por sismos que han afectado a México, desde finales del siglo XIX hasta principios del siglo XXI. Posteriormente se describen las pérdidas ocasionadas por eventos de gran magnitud ocurridos en México (1985), Haití (2010), Chile (2010) y Japón (2011), que debido a su impacto, la historia los registra como algunos de los más destructivos.

Posteriormente se efectúa el estudio de 22 aplicaciones de software empleadas en México para el procesamiento de señales sísmicas. Su análisis considera diversos parámetros como: características básicas, funciones destacadas, costo, tipo de equipo y sistema operativo empleado, entre otros: posteriormente en otra sección se revisa con detalle una aplicación nacional denominada Degtra, la cual fue desarrollada por la UNAM.

Con base en lo anterior, se plantea el desarrollo de una nueva aplicación de software, que mediante la utilización de una metodología de Ingeniería de Software, permita ofrecer una herramienta de apoyo a la ingeniería sísmica para atender el mayor número de funciones de procesamiento requeridas por los investigadores del país.

En el capítulo 4 se describe la propuesta de software planteada, la cual aplica la metodología para el desarrollo de software Xtreme Programming (XP), haciendo uso de herramientas UML para el diseño de una aplicación basada en tecnología orientada a objetos, que se implementa en ambiente VB .NET. Su empleo se orienta a computadoras personales con sistema operativo Windows 7 o superior, por ser los equipos de mayor difusión en

México. Se hace uso de un entorno visual de desarrollo para facilitar la creación de interfaces con el usuario, así como la documentación de la aplicación. Esto permitirá que otras aplicaciones relacionadas, puedan incorporarse en un futuro, para formar un sistema de software más complejo y completo, integrando diferentes componentes que se desarrollen paulatinamente.

2.- INTRODUCCIÓN

Un seísmo o sismo (del griego σεισμός: «temblor» o «temblor de tierra»), también llamado terremoto (del latín: *terra* «tierra» y *motus* «movimiento»), es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre, producido por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los sismos son catástrofes naturales que han azotado a la humanidad durante su largo recorrido histórico y han traído en forma recurrente destrucción, desolación y muerte. Ciudades enteras han sido arrasadas y reducidas a escombros por el violento movimiento del terreno (Fig. 1). Millones de víctimas han reclamado los terremotos y en un solo evento han perecido centenares de miles de personas. No es de sorprender, pues, que estos fenómenos naturales hayan sido siempre temidos por todos los pueblos, sus causas buscadas en el campo del mito y la leyenda, y explicados como producto de deidades que descargan su ira sobre la humanidad (Sauter, 1989).



Figura 1: Sismo en Mexicali, B.C. del 4 de abril del 2010, Magnitud 7.2 (Magaña, 2010)

Éstos tienen la capacidad de causar muerte, daño y pérdidas en gran escala, no solo por la sacudida violenta de la tierra, sino también por la generación de otros fenómenos que acompañan a los movimientos

sísmicos como: maremotos, tsunamis, así como incendios y desprendimientos de tierra en zonas montañosas, que a su vez producen avalanchas y deslizamientos (Sauter, 1989).

2.1 Planteamiento del problema.

El registro de los sismos se lleva a cabo mediante diferentes equipos entre los que destacan: acelerógrafos, acelerómetros, sismógrafos y sismómetros. Aunque la recopilación de datos es solo una de las etapas iniciales en su estudio, es el procesamiento que se hace con éstos lo que da luz acerca de los movimientos de la Tierra. Debido a la gran cantidad de datos que se recolectan, es necesario disponer de herramientas que permitan acelerar su procesamiento y obtención de resultados para que puedan ser de utilidad para los especialistas del área sísmica.

Después de que ocurre un sismo se efectúan varias etapas de procesamiento, antes de poder conocer con detalle todas las características del evento. En general se pueden mencionar:

1.- La captura del evento in situ. A través de equipos de instrumentación que registran las ondas sísmicas en forma de acelerogramas o sismogramas en los equipos de la red (Fig. 2).

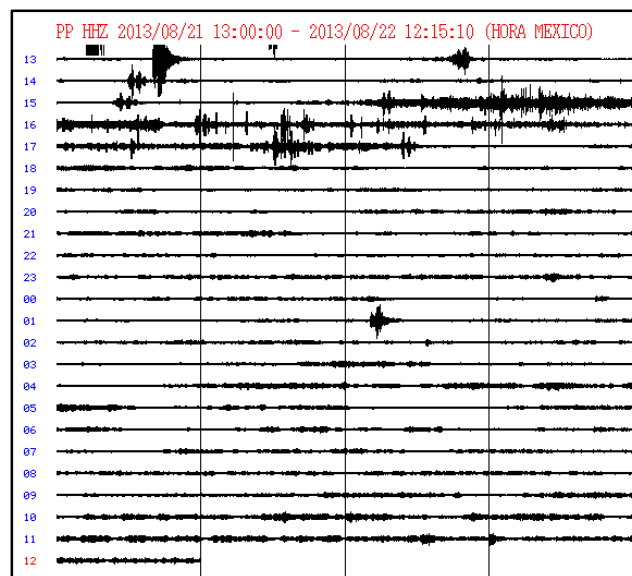


Figura 2: Representación gráfica de un acelerograma (SSN3, 2013).

2.- El envío de los datos recolectados. Los datos se procesan en un lugar central, a donde se hacen llegar de manera manual o automática, mediante el uso de redes de cómputo. Como ejemplo, en la figura 3 se muestran las diferentes estaciones de registro sísmico que integran la red nacional; los datos que estos equipos obtienen se envían a las oficinas centrales del Servicio Sismológico Nacional en la ciudad de México por medio de una red de banda ancha.



Figura 3: Red Sismológica de Banda Ancha del SSN en México (SSN1, 2013).

3.- Procesamiento en el laboratorio. Las señales recibidas se digitalizan y posteriormente se almacenan, ya sea en un disco duro o en una tarjeta de memoria, para poder ser procesadas (Goldstein *et al.*, 2003). Los datos se seleccionan, se corrigen y se les aplican diversas rutinas de tratamiento para poder obtener resultados como: su localización geográfica, determinación de su magnitud, selección de las fases que los integran, la identificación de los mecanismos fuente y de los parámetros de movimiento del suelo y su estimación, aunado a su posible representación gráfica y la conversión a otros formatos, entre otros (Fig. 4).

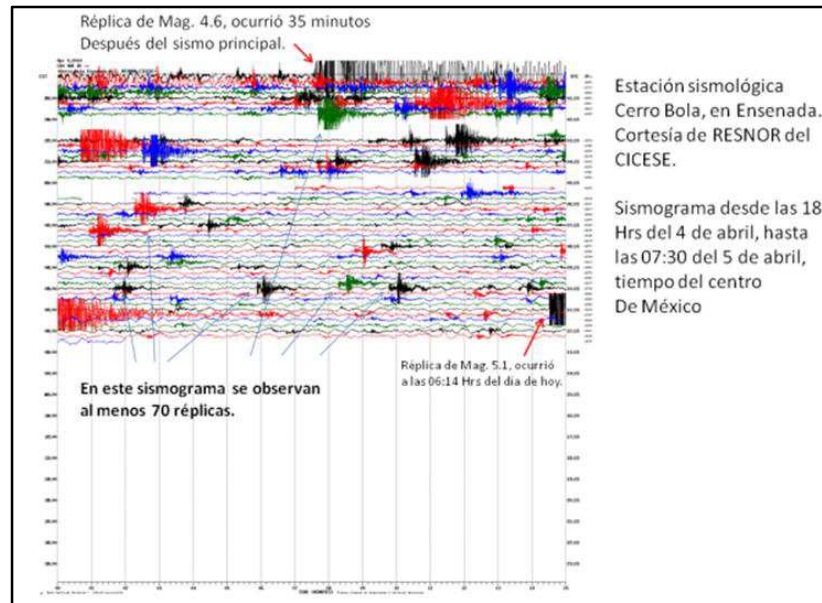


Figura 4: Sismicidad reportada por el SSN en el área de Mexicali, B.C. para el sismo del 4 de abril de 2010 (SSN2, 2013)

Los primeros mecanismos empleados para el registro sísmico disponían de poca capacidad de almacenamiento interno y sus datos eran analógicos; esas señales debían ser transformadas de analógicas a digitales (FUNVISIS, 2013). Actualmente los equipos poseen más memoria y algunos son capaces de guardarlos digitalmente.

De similar importancia es el sistema de almacenamiento y administración de los registros, los cuales deben ser organizados en una base de datos. Además, en la planeación de una red sísmica también debe incluirse la fase de procesamiento de los datos para asegurar, que tanto el hardware como el software adecuados estarán disponibles. De no ser así, se podrían generar substanciales costos extras por el equipamiento de cómputo (Havskov y Ottemoller, 2010).

En una red reducida, como es el caso de una zona de baja sismicidad que genera pocos registros cada año, puede lograr una organización eficiente de sus datos con un árbol de directorios. Las grandes redes en regiones de sismicidad moderada a alta requieren una base de datos mejor organizada. Se deben considerar cuidadosamente diferentes opciones utilizadas por otros observatorios sismológicos, así como las que se ofrecen en el mercado, antes de comenzar a captar registros. Las bases de datos profesionales no son la opción más adecuada para su aplicación en la sismología, debido principalmente a sus altos costos inicial y de

mantenimiento, y también porque muchas de sus funciones nunca se utilizarán (pero por las cuales ya se ha pagado). Las bases de datos especiales que han sido desarrolladas por la comunidad sismológica para las necesidades propias de esta área, cuyo desempeño ha sido ampliamente probado en varias aplicaciones existentes, parecen ser la mejor opción al momento.

2.2 Justificación.

Con la finalidad de conocer más acerca de los terremotos que ocurren en una zona, se emplean equipos de instrumentación sísmica mediante la cual se obtiene, almacena y envía toda la información requerida para su procesamiento y posterior aplicación en las áreas de investigación sismológica y acelerográfica (CENAPRED, 2004).

El procesamiento se simplifica con el apoyo de equipos de cómputo, que por su poder y velocidad favorecen la comprensión de cada evento sísmico. Los datos recibidos deben pasar por diversas etapas como la corrección de la señal mediante filtros para eliminar ruidos ambientales, hasta la extracción individual de cada parámetro registrado y la aplicación de procedimientos matemáticos complejos para su interpretación. Además de las computadoras es imprescindible la utilización de software especializado que facilite tanto a operadores como investigadores, la obtención de resultados.

Existen diversas aplicaciones de software orientadas a este fin, y no es tarea sencilla su elección pues son diversos factores los que deben considerarse antes de optar por alguna. Existen aplicaciones comerciales que poseen múltiples capacidades y funciones, pero que están fuera del alcance de las instituciones de investigación porque éstas no disponen de fondos suficientes para su adquisición. En contraste, se encuentran las aplicaciones de software libre que pueden emplearse sin que involucren un costo. Su debilidad radica en que las de mayor uso fueron creadas para satisfacer los requerimientos de una comunidad específica, con parámetros y características propias de la misma, lo que implica que no cubrirán todas las necesidades de otros usuarios.

Cuando el costo no es un factor determinante, se adquiere una licencia de la aplicación deseada y el fabricante ofrece además soporte técnico y documental. Cuando la inversión sí es importante y se opta por el software

libre, entonces deben emplearse múltiples programas en conjunto. También se generan rutinas de procesamiento parciales para resolver problemas específicos, que al integrar sus resultados, sea necesario someterlos a un procesamiento adicional para permitir la compatibilidad entre estos o con los datos de entrada de la siguiente etapa. Mención aparte es el hecho de que puede haber incompatibilidad con los datos de entrada que cada programa de software requiere.

Así mismo, es importante mencionar que ciertas aplicaciones de software han sido diseñadas para su empleo en equipos mayores, como estaciones de trabajo, que son de mayor costo. Muchas no tienen una interfaz gráfica para el usuario, son de tipo consola lo que no las hace muy atractivas para usuarios familiarizados con entornos visuales. Otras aplicaciones que ofrecen la facilidad de acceder al código, requieren que los interesados descarguen el mismo y lo compilen en sus equipos para su empleo en la arquitectura final; esta no es una tarea simple para quienes no poseen experiencia en el desarrollo de cómputo.

Por lo anterior, se hace notar que no existe una herramienta nacional de bajo costo que ofrezca apoyo a la investigación sísmica, integrando diversas funciones de amplia demanda entre la comunidad, ofreciendo una interfaz gráfica amigable con los usuarios que no tienen experiencia en el desarrollo de software y que sea posible de emplearse en una computadora personal. Por tal motivo, es necesario desarrollar una nueva aplicación, que cumpla con las características arriba mencionadas.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 General

- ▶ Analizar las herramientas de software para el procesamiento de señales sísmicas que se han empleado en México y proponer el diseño de una nueva, mediante la aplicación de la Ingeniería de Software.

2.3.2 Específicos

- ▶ Realizar un análisis exhaustivo de las principales aplicaciones para el procesamiento y análisis de señales sísmicas que se emplean en México actualmente.
- ▶ Identificar cuáles son los parámetros básicos que deben considerarse al elegir una aplicación de software para el procesamiento de sismos.
- ▶ Conocer la situación actual de México con relación a la producción de aplicaciones de software para el procesamiento de señales sísmicas.
- ▶ Analizar con detalle la aplicación nacional Degtra, software predecesor producido en México, para conocer sus puntos fuertes y deficiencias, así como los comentarios de retroalimentación de diversos usuarios.
- ▶ Aplicar los lineamientos de la ingeniería de software para el diseño de una aplicación orientada a objetos que ofrezca una interfaz gráfica al usuario y que se pueda emplear en una computadora personal con sistema operativo Windows.

2.4 Revisión bibliográfica del campo del conocimiento.

2.4.1 Actividad sísmica en México.

A lo largo de los siglos ha habido numerosos terremotos que han causado devastación en las ciudades, así como la muerte de cientos de miles de víctimas, y otras tantas que quedan sin hogar. Aunado a lo anterior, los daños materiales y las pérdidas causadas por los terremotos pueden ser igualmente elevados y producir un impacto severo sobre la actividad económica y la vida social de un país o región. Sin embargo, el número de víctimas y las pérdidas económicas no guardan una relación directa entre sí, pues algunos eventos han causado cuantiosos daños materiales y pérdidas económicas elevadas, pero afortunadamente han reclamado un reducido número de muertos (Sauter, 1989).

El territorio mexicano está situado sobre cuatro placas tectónicas: la placa de Norteamérica, la placa del Pacífico, donde se encuentra la Península de Baja California, y las placas de Rivera y Cocos localizadas en el litoral del Pacífico al sur del país (Fig. 5).

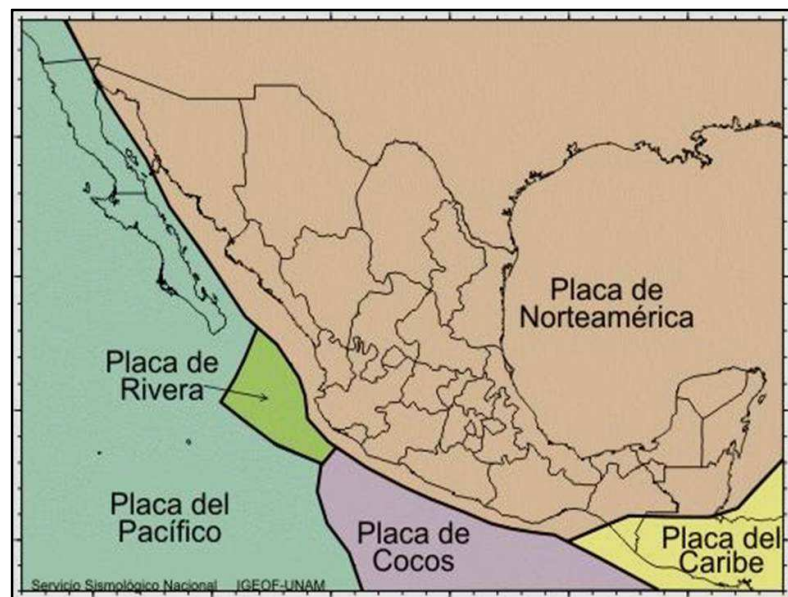


Figura 5: Placas tectónicas en México.

Cuando las placas de Cocos y Rivera se mueven hacia las costas del sur de la República se produce una colisión en la costa que, generalmente, hunde una parte de la placa de Cocos bajo la Norteamericana, proceso al que se le conoce como subducción. Este fenómeno genera sismos de distinta

intensidad que varía según la energía desprendida en el choque, induciendo también la actividad de algunos volcanes (ILCE, 2012). En las fallas también se realiza el movimiento mediante el cual las placas se separan, como ocurre en la falla de San Andrés (Fig. 6) -situada en la Península de Baja California- cuya actividad lentamente aleja a este territorio del resto del país a una velocidad de 5 cm por año, por lo cual en aproximadamente 10 millones de años se convertirá en una isla. De igual manera, las fallas oceánicas permiten la salida de magma, lo cual genera la expansión del fondo oceánico.



Figura 6: Falla de San Andrés en California (Pangeados, 2011).

Los epicentros de la mayor parte de los terremotos de gran magnitud que ocasionan grandes daños (mayores de 7, por ejemplo), se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, también han ocurrido grandes sismos en el centro y el sur de Veracruz y Puebla; norte y centro de Oaxaca y Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos (CENAPRED, 2011).

En la Figura 7 se muestra el registro de actividad sísmica en México desde 1900 hasta la fecha; cada uno de los círculos representa un sismo, su tamaño indica su correspondiente magnitud y el color representa la profundidad a la que fue registrado. Las zonas sísmicas de México se encuentran perfectamente indicadas en este mapa.

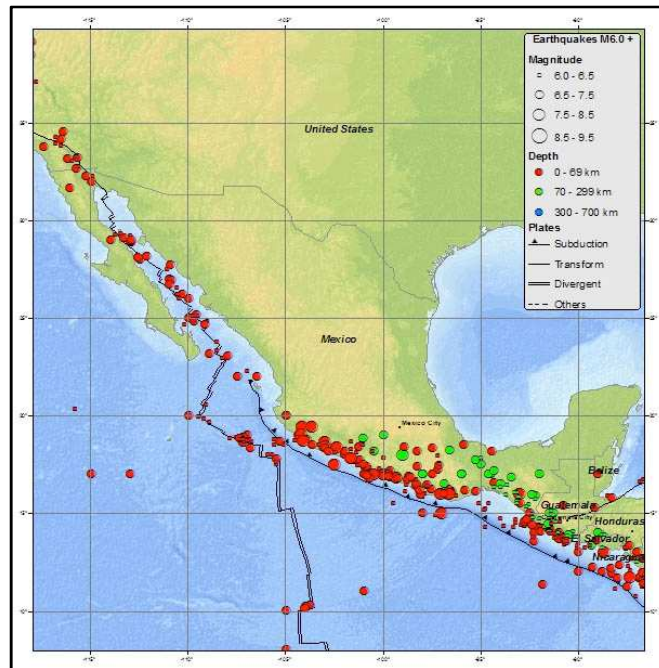


Figura 7: Epicentros de los sismos ocurridos en México de 1900 a la fecha (Temblores1, 2013).

En los estados de Zacatecas, Durango, Sinaloa y Sonora, la sismicidad es más bien escasa y en los estados restantes no se han originado movimientos del suelo de importancia, aunque algunos (por ejemplo: Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y Tabasco) llegan a ser afectados por los grandes terremotos que se originan en otras regiones. En la Tabla 1 se ofrecen los detalles de los sismos de magnitud mayor a 5.5, ocurridos en México del siglo XIX a la fecha.

Tabla 1: Sismos de Magnitud mayor a 5.5, registrados en la República Mexicana desde 1887 Creación propia con datos de: (Temblores2, 2013) y (CNN, 2013).

Fecha	Lugar	Magnitud	Fecha	Lugar	Magnitud
1887 Mayo, 3	Sonora	7.4	1999 Septiembre, 30	Oaxaca	7.5
1907 Abril, 15	Guerrero	7.7	2002 Febrero, 22	Mexicali	5.7
1911 Junio, 7	Guerrero	7.7	2003 Enero, 22	Colima	7.6
1931 Enero, 15	Oaxaca	7.8	2006 Agosto, 11	Michoacán	5.9
1932 Junio, 3	Jalisco	8.1	2006 Enero, 4	Golfo de California	6.6
1932 Junio, 18	Colima	7.8	2008 Febrero, 12	Oaxaca	6.5
1957 Julio, 28	Guerrero	7.9	2009 Agosto, 3	Golfo de California	6.9
1959 Agosto, 26	Veracruz	6.8	2009 Diciembre, 30	Baja California	5.9
1962 Mayo, 11	Guerrero	7.0	2010 Abril, 4	Baja California	7.2
1962 Mayo, 19	Guerrero	7.1	2012 Abril, 11	Michoacán	6.5
1964 Julio, 6	Guerrero	6.9	2012 Abril, 12	Baja California Sur	7.0
1965 Agosto, 23	Oaxaca	7.3	2012 Marzo, 20	Oaxaca	7.4
1968 Agosto, 2	Oaxaca	7.1	2012 Mayo, 1	Chiapas	7.2
1979 Octubre, 15	California	6.4	2012 Noviembre, 8	Chiapas	7.3
1985 Septiembre, 19	Michoacán	8.0	2013 Agosto	Chiapas	5.8
1999 Junio, 15	Centro de México	7.0	2013 Agosto, 21	Guerrero	6.1

Algunos países como China y Japón poseen registros históricos que comprenden gran parte de su pasado, mientras que otras naciones iniciaron sus observaciones de manera más reciente. En México existen documentos oficiales a este respecto, a partir de 1910 y es después del gran sismo de 1985 en la capital del país, que se impulsa el desarrollo de la ingeniería sísmica (Singh *et al.*, 2003).

Utilizando los datos del censo poblacional del año 2000 y la regionalización sísmica, puede tenerse una estimación del volumen de población más expuesto al fenómeno sísmico; son aproximadamente 32.6 millones de un total de 97.4 millones de habitantes (aproximadamente el 33%) quienes están expuestos a un nivel de peligro por sismo alto o severo (CENAPRED, 2011).

Así mismo, la cantidad de movimientos telúricos pasó en 2006 de 971 a más de 1,750 en 2011, lo que representa casi el doble respecto al número de eventos que se registraban hace cinco años. Esto no es un indicativo de que tiemble más en el territorio nacional, sino de que han mejorado los sistemas de detección de estos fenómenos (Golfo, 2011).

La investigación sísmica ha progresado pero aun no es suficiente. La mayoría de las estaciones que registran estos eventos se encuentran en el Valle de México, así como en el Noroeste del país; sin embargo, algunos lugares con alto nivel de sismicidad, como Guerrero y Oaxaca (Fig. 8), que son regiones expuestas a un peligro sísmico importante, tienen cobertura instrumental escasa o nula (Alcántara *et al.*, 2005).

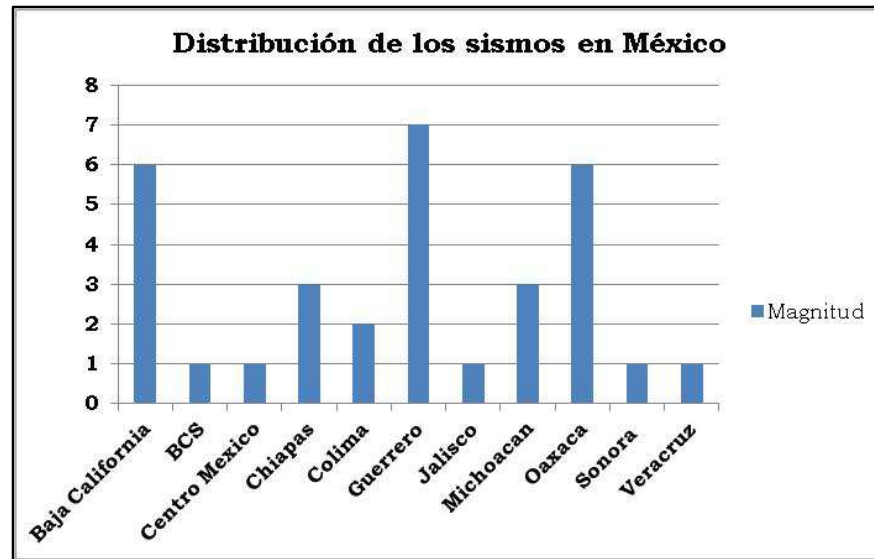


Figura 8: Estados donde se concentra la actividad sísmica en México.

La red sísmica nacional tiene menos de 50 estaciones, mientras que regiones como California, en Estados Unidos, cuenta con más de un millar. Esto muestra que la instrumentación es fundamental para la detección de los movimientos telúricos grandes, medianos y pequeños, que además de aportar información en tiempo real, permita profundizar estudios sobre el origen, tipo y trayectoria en zonas específicas de estudio (Boletines, 2010).

La investigación sísmica en el país se impulsó, a través de la creación de diversas entidades con infraestructura específica, para generar nuevos proyectos de investigación sísmica y promover la formación de personal especializado en esta área. Esto implica no solo la instrumentación de las zonas más proclives a sufrir estos eventos, sino también la inversión en tecnología para la obtención, análisis y procesamiento de información que los sismos proporcionan, con el objetivo de generar mayor conocimiento sobre los mismos. Algunas de las entidades que destacan en estas funciones son: las gubernamentales federales como el Servicio Sismológico Nacional (SSN), el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES); las estatales como las Secretarías de Protección Civil, así como diversas entidades académicas como la Universidad Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

2.4.2 Costo de los sismos.

Los desastres naturales en sí no existen, pero sí los fenómenos naturales como terremotos, huracanes y erupciones volcánicas, entre otros. La palabra “desastre” hace alusión a las pérdidas humanas y materiales que se generan a raíz de los fenómenos naturales (Etcétera, 2010).

Los desastres por terremotos que han impactado al mundo podrían clasificarse de acuerdo a: su magnitud, su localización, su duración, la cantidad de muertes que dejaron a su paso, y muchas categorías más. Aquí se ofrece un resumen cronológico de los terremotos más costosos que han ocurrido en América Latina en la última década, y adicionalmente se incluye el de Japón, porque a pesar de estar en otro continente, es el número uno de esta categoría a nivel mundial.

► México (1985).

El terremoto del 19 de septiembre de 1985 que ocurrió a las 07:17:47 hora local (UTC-6), fue el más mortífero y destructivo que se ha registrado en la historia de la ciudad de México. El epicentro se localizó en las costas de Michoacán y Guerrero, rotura del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica, en una extensión de 50 km x 170 km y unos 18 km de profundidad (Figura 9). Su magnitud fue 8.1, según informó el Instituto de Geofísica de la UNAM, con una duración de casi cuatro minutos, de los cuales, un minuto y treinta segundos corresponden a la etapa de mayor movimiento (CIRES, 2013).

Este sismo liberó una energía equivalente a 1,114 bombas atómicas de 20 kilotones cada una. El número de víctimas fatales se calcula entre 35 mil y 40 mil; la cantidad de heridos alcanzó 40 mil personas. Unas cuatro mil personas fueron rescatadas de los escombros y cerca de 50 mil familias quedaron sin hogar.

Las pérdidas materiales se estima que ascendieron a cuatro mil millones de dólares –de aquellos años–, tan sólo en infraestructura (Figura 10). Casi tres mil edificaciones sufrieron daños estructurales: 880 edificios quedaron en ruinas, 13 hospitales (la mayoría del Instituto Mexicano del Seguro Social: IMSS y del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado: ISSSTE), quedaron destruidos total o parcialmente, con lo que una de cada cuatro camas de hospital se

perdieron en los momentos en que más se les requería. Servicios como energía eléctrica, agua y teléfono se vieron interrumpidos y en algunos casos tardaron meses antes de restablecerse en su totalidad. Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), unas 700 mil personas emigraron del Distrito Federal a la zona conurbada del Estado de México tras el devastador sismo (Etcétera, 2010).



Figura 9: Torre Latinoamericana en sismo del DF. (Entregeeks, 2009)



Figura 10: Edificio Nuevo León de la Unidad Habitacional Tlatelolco (UNIVERSAL; 2009)

► **Haití (2010).**

El impacto del terremoto que se produjo el 12 de enero de 2010 en Haití (en adelante denominado “Terremoto de Leogane”, puesto que así se llama la región con mayor desplazamiento cosísmico) fue inmenso, con más de 230,000 muertes y pérdidas de entre 5 y 10 mil millones de dólares, directamente atribuibles al seísmo. La mayoría del daño se produjo alrededor de Puerto Príncipe, capital de Haití, en un conjunto de núcleos urbanos muy pobre y con una gran densidad de población. El Centro Nacional de Información sobre Terremotos (CNIT) del Observatorio

Geológico de Estados Unidos (OGEU), situó el terremoto en las coordenadas 18.44° N, 72.57° O, con una profundidad de 13 km, con hora de comienzo 21:53:10 UTC y una momento de magnitud $M_w=7,0$ (Hayes *et al.*, 2010).

El epicentro del terremoto fue cerca de la superficie (a 10 km de profundidad) y se situó cerca de la ciudad de Leogane, a unos 17 km al suroeste de la capital. Los efectos se sintieron en los departamentos del Oeste (Puerto Príncipe), Sudeste y Nippes. El área metropolitana de Port-au-Prince (incluidos los municipios de Port-au-Prince, Carrefour, Pétion-Ville, Delmas, Tabarre, Cité Soleil y Kenscoff), fue dañada en forma significativa.

El impacto humano fue inmenso: aproximadamente 1.5 millones de personas, que representan el cinco por ciento de la población nacional, se vieron afectadas en forma directa. Más de 220,000 murieron y más de 300,000 resultaron heridos. Alrededor de 1.3 millones de personas viven en refugios temporales, en el área metropolitana de Port-au-Prince. Más de 500,000 abandonaron las zonas afectadas para buscar refugio en otras partes del país. La destrucción de la infraestructura fue enorme: alrededor de 105,000 viviendas quedaron totalmente destruidas y más de 208,000 resultaron dañadas (Fig. 11). Así mismo, 1,300 instituciones educativas, 50 hospitales y centros de salud colapsaron o están inservibles (Cátedra, 2010). El principal puerto del país quedó parcialmente fuera de servicio; el Palacio Presidencial, el Parlamento, el Palacio de Justicia, la mayoría de los edificios de los ministerios y la administración pública quedaron destruidos.



Figura 11: Vista aérea de la catedral de Puerto Príncipe tras el terremoto (20Minutos1, 2014)

El total de daños y perjuicios causados por el terremoto del 12 de enero 2010 se estima en 7,863 millones, lo que equivale a poco más del 120% del PIB del país en 2009. La mayoría de los daños y las pérdidas fueron sufridas por el sector privado (5,491 millones o 70% del total), mientras que la participación del sector público ascendió a 2,374 millones de dólares o el 30%. El valor de los activos físicos destruidos, entre otras unidades de viviendas, escuelas, hospitales, edificios, carreteras y puentes, puertos y aeropuertos - se ha estimado en 4,302 millones de dólares (Cátedra, 2010).

La vivienda es sin duda el sector más afectado (Fig. 12) y las pérdidas se estiman en 739 millones de dólares, incluyendo el costo de proporcionar refugio temporal, el costo de la demolición y la pérdida de valor de la renta. El sector de la vivienda representa aproximadamente el 40% de los efectos del terremoto. Otros sectores, en orden decreciente de importancia en lo que respecta a los efectos sufridos, son (daño al comercio con pérdida de 639 millones de euros, un 8% del total); transporte así como edificios de la administración pública (595 millones dólares cada uno), finalmente educación y salud (con un promedio de 6% del total) (Cátedra, 2010).



Figura 12: Vista de una zona de Puerto Príncipe tras el seísmo (20Minutos2, 2014)

► *Chile (2010).*

De acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el terremoto que asoló a Chile en 2010 ocurrió a lo largo de la costa de la Región del Maule el 27 de febrero a las 03:34 horas (hora local), alcanzando una magnitud de 8.8 en la escala de Mercalli y tuvo una duración aproximada de tres minutos. El terremoto generó una alerta de tsunamis para el Pacífico que se extendió a 53 países localizados a lo largo de la cuenca, incluidos Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, la Antártida, Nueva Zelandia, la Polinesia Francesa y la costa de Hawai.

El epicentro se situó a lo largo de la costa de la Región del Maule, aproximadamente 8 km al oeste de Curanipe y 115 km al nor-noreste de la segunda ciudad más grande de Chile, Concepción. Este movimiento telúrico afectó desde Santiago a Temuco (Fig. 13), lo que representa aproximadamente una distancia de 700 kilómetros e incluye las Regiones de Valparaíso, la Región Metropolitana de Santiago y las Regiones de O'Higgins, el Maule, el Bío Bío y la Araucanía, que acumulan más de 13 millones de habitantes, cerca del 80% de la población del país.



Figura 13: Autos volcados en una autopista de Santiago de Chile (20Minutos3, 2014)

Un fuerte tsunami posterior al terremoto asoló la costa chilena como resultado del terremoto, devastando varios pueblos. El archipiélago Juan Fernández, a pesar de no haber sufrido el terremoto, fue impactado por los tsunamis que devastaron su única población, San Juan Bautista. El terremoto del 27 de febrero de 2010 es considerado el segundo más fuerte de la historia del país y uno de los cinco más fuertes registrados en el mundo.

El número de víctimas fatales fue de 5,072 y se estima que alrededor de 440,000 viviendas han sido damnificadas. Tan solo en tres regiones (O'Higgins, el Maule y el Bío Bío) existen alrededor de 1'800,000 personas que se han visto afectadas por algún nivel de daño en sus viviendas (Fig. 14), producto del terremoto o el maremoto, lo que representa el 46% del total de las tres regiones y el 11 % de la población nacional (ONU, 2010).



Figura 14: Rescatistas buscan sobrevivientes en un complejo de departamentos colapsado en Concepción, Chile (20Minutos4, 2014).

► *Japón (2011).*

El 11 de marzo del 2011, a las 14:46 horas hora local, se registró un terremoto de magnitud 9 en la costa de Honshu, principal isla de Japón, a 38.3° latitud N y 142.4° longitud E; a una profundidad de 32 km (y a 24.4 km debajo del lecho marino). Para una mejor referencia, el epicentro se situó a 129 km al E de Sendai y a 373 Km NE de Tokio. Se trata de uno de los mayores terremotos registrados en el último siglo y el de mayor daño causado en la historia moderna de Japón (Fig. 15), según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (CLICET, 2011).



Figura 15: El Tsunami llega a Miyako (Mundo1, 2014)

El evento sísmico (el principal mas las cientos de réplicas y tsunamis asociados), causó más de 15 mil muertos, más de 7 mil desaparecidos y más de 5 mil heridos, generando también daños multimillonarios a las viviendas y a la infraestructura pública y privada (particularmente al Complejo Nuclear Fukushima, numerosas refinerías de petróleo, plantas de almacenamiento de combustibles, plantas de procesamiento de minerales, centrales termoelectricas, instalaciones portuarias, aeropuertos, fabricas, etc.), a cientos de kilómetros del epicentro y a lo largo de la costa nororiental de Japón (Fig. 16) (CLICET, 2011).



Figura 16: Un barco termina posado sobre un edificio tras el tsunami (Mundo2, 2014)

El banco mundial anunció en marzo 21 de 2011 que el daño podría alcanzar los \$235 billones, mientras que el gobierno de Japón hizo una valoración superior a los \$309 billones. El daño estimado seguramente se elevará debido a que no estaban incluidas las pérdidas en la actividad económica por apagones planificados o por el amplio impacto de la crisis nuclear, lo que lo convierte en el desastre mundial más costoso del que se tiene registro (Accuweather, 2011).

2.4.3 Revisión del software nacional.

DEGTRA es una herramienta de software, académica, sin costo, desarrollado con fines educativos y de investigación, que ha sido extensamente utilizado por profesionales, investigadores y profesores, quienes han aportado ideas para su mejoramiento y optimización. Tiene amplio uso y difusión en toda América Latina y en países como España e India, por lo que se ha convertido en una aplicación básica para el procesamiento de señales sísmicas. Fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería (II) de la Universidad Autónoma de México (UNAM), como resultado de las investigaciones realizadas por el Dr. Mario Ordaz Schroeder, encaminadas a resolver algunos de los principales problemas que se presentan al estudiar los sismos.

Posee gran variedad de funciones pero también tiene algunas limitaciones, entre las que se pueden mencionar:

- ▶ El procesamiento de acelerogramas se efectúa uno a uno, requiriendo para ello aproximadamente 40 minutos, en el caso de usuarios familiarizados con el software.
- ▶ Solo puede procesar registros sísmicos compuestos de hasta 16,000 puntos de registro de microtemores, cuando en la práctica este número es fácilmente superado.
- ▶ Actualmente solo es posible efectuar cálculos de estratigrafía con materiales lineales.

Así mismo, es necesario considerar que tanto las computadoras personales, plataforma para la cual fue desarrollado el software, así como los sistemas operativos que éstas poseen, han evolucionado significativamente en estos años, por lo que el DEGTRA no refleja este avance en cuanto a calidad de interfaz con el usuario y explotación de recursos de la arquitectura en las que se desempeña.

Por otro lado, debido a que es un software de distribución gratuita con fines académicos, se han recibido múltiples peticiones acerca de liberar una nueva versión del software que resuelva las limitaciones arriba descritas (Ordaz, 2010).

A continuación se exponen algunos trabajos de investigación realizados en diferentes ciudades del mundo, que utilizan el software DEGTRA en parte del procesamiento que requieren en sus análisis. Los países que emplearon este software se presentan ordenados alfabéticamente,

mencionando a las entidades involucradas, así como el nombre de cada proyecto y la descripción de las funciones que fueron aplicadas.

► Colombia.

- “Utilización de los métodos no destructivos- MND- para determinar propiedades físico mecánicas en rocas sedimentarias”.

Empleado en el cálculo de espectros de Fourier en los registros sísmicos analizados (Torres, 2005), en el análisis y tratamiento de señales de fuentes sismogénicas de campo cercano a San José de Cúcuta, Colombia” y para realizar análisis comparativos en lo que tiene que ver con el cálculo de frecuencias dominantes y los espectros de respuesta (Flores y Lozano, 2007).

► España

- MFS Daños.

El Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo, MFS, contiene acelerogramas y espectros de respuesta procedentes de todo el mundo, debidamente organizados y clasificados. Fue realizado con el fin de facilitar la caracterización del movimiento esperado en zonas de sismicidad moderada, en las que no hay suficientes registros “in situ”. El Banco se complementa con una base de datos, que recoge la información sísmica correspondiente a los registros, y con una serie de programas y utilidades informáticas destinadas a la explotación y tratamiento de los datos (Cabañas *et al.*, 1999a), (Cabañas *et al.*, 1999b).

En él se utiliza el software para el procesamiento de acelerogramas obtenidos de los registros sísmicos.

- “Evolución de la respuesta sísmica del terreno en el subsuelo arcilloso de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México”

Para el análisis evolutivo de la respuesta de las arcillas plásticas que subyacen en la Catedral Metropolitana, se usan como movimientos de diseño los acelerogramas registrados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (dentro de Ciudad Universitaria ó CU), relativos a los sismos del 19 de septiembre de 1985 y del 15 de junio de 1999. Ambos sismos tienen un contenido muy diferente de frecuencias y es por ello que fue interesante obtener las diferentes respuestas del terreno. Para la obtención del acelerograma y su posterior transformación a espectro de respuesta de aceleraciones en terreno duro. Así mismo, se empleó para la

transformación del acelerograma a espectro de respuesta de aceleraciones y a espectro de amplitudes de Fourier en terreno duro (Giralt, 2002).

► Ecuador.

- “Reto en el análisis sísmo resistente de puentes colgados y atirantados”.

En este trabajo se utiliza el software DEGTRA para calcular el espectro de respuesta de sismos registrados y compararlos con los espectros de diseño del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC2000)” (Caiza, 2006), (ESPE, 2006).

- “Diseño estructural de un edificio de 15 pisos de estructuras metálicas con aplicación del programa SAP 2000 mediante el método LRFD”.

Para poder realizar el escalamiento entre el espectro de diseño según el CEC2000 y el espectro de respuesta elástico del centro, se convierte la señal a un espectro de respuesta elástico. Con los archivos generados en DEGTRA se puede hacer ahora el procesamiento de los mismos en el SAP 2000 (Tisalema, 2004).

- “Estudios de espectros inelásticos y factores de reducción para la ciudad de Guayaquil”.

Los registros se utilizan para la generación de espectros elásticos y espectros de Fourier, con gráficos bastante avanzados (Moncayo, 1999).

► India

- “Microzonificación sísmica de la región de Delhi”.

La capital nacional de India, Delhi atrajo la atención de varios estudios científicos después del terremoto de Bhuj en el 2001. Debido a que Delhi se ubica en una zona con alta actividad sísmica, hay una gran necesidad de caracterizar los suelos y de microzonificar el área. Se llevaron a cabo análisis de múltiples cales de ondas superficiales en 118 sitios en mallas predefinidas de 2 km por 3 km cada una, para estimar las velocidades de ondas cortantes. Estas pruebas fueron llevadas a cabo utilizando un sismógrafo digital de 48 canales, analizando los datos recolectados con el software SeisImager/SW. Así mismo, la velocidad promedio de onda cortante de hasta 30 m estimada, se utiliza para la caracterización del sitio. Basándose en la

velocidad de onda cortante y la densidad del substrato, la amplificación del suelo se realizó mediante este software para poder generar el mapa de microzonificación (Rao y Satyam, 2005).

► México

BUAP (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)

- Estación de registros sísmicos.

En la facultad de Ingeniería se encuentra ubicada una estación que registra eventos sísmicos. El registro se recupera, procesando los datos con el DEGTRA, del cual se obtienen: aceleración máxima, velocidad máxima y desplazamiento máximo, espectro de Fourier, espectro de respuesta, entre otros.

Con la envolvente de los espectros de respuesta, se puede obtener un espectro de diseño, mismo que proporcionará el coeficiente sísmico de la zona en estudio, dependiendo de las características geológicas del suelo.

También, los datos son utilizados para el diseño y construcción de cimentaciones superficiales y profundas, anclajes, estructuras de contención y todo lo relacionado con el concreto y el acero en contacto directo con suelos y/o rocas.

Los eventos que son pequeños en cuanto a la información obtenida, se omiten y solo se guarda los que pudieran proporcionar información de interés en un futuro (BUAP, 2005).

UNAM (Universidad Autónoma de México)

El Instituto de Ingeniería de la UNAM ha desarrollado varios proyectos, entre los que se puede mencionar los siguientes:

- “Obtención de espectros de respuesta considerando efectos de sitio obtenidos de registros por medio de la utilización de algoritmos genéticos”.

Se empleó en las series de tiempo de los sismos bajo estudio, para obtener los espectros de respuesta de cada estación que intervino en el registro sísmico. Posteriormente, fueron normalizados con respecto al valor máximo (Contreras y Aguirre, 2000).

- “Respuesta sísmica en el Lago de Texcoco. Resultados a partir de registros de movimientos fuertes”.

A fin de obtener la respuesta de sitio en la zona del arreglo TXCL, se consideraron los registros de los componentes Z, NS y EW; el análisis se realizó para ventanas de 40 s de duración a partir del inicio del movimiento. A cada ventana de registro se le aplicó un taper del 5% de la longitud total de la ventana y posteriormente se calcularon los espectros de amplitud de Fourier, los cuales fueron suavizados mediante una ventana que conserva la energía en frecuencias altas (Flores *et al.*, 2009).

- “Estudio de la respuesta sísmica de puentes de la ciudad de México. Implicaciones de diferentes consideraciones de análisis”.

Se calculó el espectro elástico de respuesta del sismo simulado, considerando un factor de amortiguamiento crítico igual a 0.05 (Torres y Rodríguez, 2005).

UAM (Universidad Autónoma de México)

- “Factores de reducción de fuerzas sísmicas para el diseño de estructuras con sistemas pasivos de disipación de energía”.

Se emplearon 152 acelerogramas registrados en diferentes sitios de terreno firme a lo largo de la costa del pacífico mexicano y en la zona de lomas del DF. Cabe mencionar que los acelerogramas utilizados fueron filtrados, para eliminar las frecuencias bajas y corregir problemas de línea base (Arroyo y Terán, 2002).

UV (Universidad Veracruzana)

- “Estudios del peligro sísmico y reducción del riesgo en las construcciones en Veracruz, Ver., México.”

Se escogieron los segmentos de los registros no contaminados por transitorios de corta duración (paso de vehículos, peatones, etc.), y se seleccionaron varias ventanas de 40 s de duración para cada punto, a partir de las cuales se calcularon los espectros de Fourier y las razones espectrales con el software bajo estudio (Riquer *et al.*, 2009).

3.- PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO.

Este capítulo contiene toda la información relacionada con el software para el procesamiento de señales sísmicas que se ha analizado, incluyendo la descripción y detalles técnicos de cada uno de los programas.

3.1 Descripción de aplicaciones.

A continuación se describe cada una de las aplicaciones para el procesamiento de señales sísmicas previamente mencionadas; se ofrecen ordenadas alfabéticamente.

3.1.1 BAP.

El software de procesamiento de acelerogramas de movimiento fuerte básico, BAP 1.0 por sus siglas en inglés (Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software), es un conjunto de rutinas desarrolladas a mediados de 1992, en el Estudio Geológico de los Estados Unidos (USGS: United States Geological Survey).

Está formado por un conjunto de subrutinas desarrolladas en Lenguaje Fortran, algunas de estas realizadas por autores de otras organizaciones fuera del USGS, como I.M. Idriss de la Universidad de California en Berkeley, Keith Mc Camy del Observatorio Geológico Lamont-Doherty, Norman Brenner del MIT y los autores del libro de texto “Recetas numéricas” (Press *et al.*, 1992).

Todas las herramientas de software utilizadas para construir BAP y sus programas de apoyo en las computadoras VAX, fueron proporcionadas por el sistema operativo VAX/VMS. Se utilizó software de varias fuentes para construir las versiones para PC, entre los que se encuentran: el compilador de Microsoft Fortran, el compilador de Fortran Lahey F77L-EM/32; el extensor de DOS Ergo/OS; el analizador sintáctico de Fortran ForWarn de

Quibus Inc., el software de compresión PKZIP de PKWare, Inc., y el Norton Antivirus de Peter Norton Computing Inc.

El programa de cómputo BAP se puede usar para procesar y trazar registros de terremotos de fuerte movimiento. El BAP puede calcular la velocidad y desplazamiento desde cualquier serie de tiempo de entrada de aceleración o de entrada de velocidad. El programa hace correcciones de línea de base, aplica corrección de instrumentos, filtros de alta frecuencia y/o contenido de baja frecuencia en series de tiempo; calcula espectro de amplitud de Fourier y espectro de respuesta. También traza los resultados después de cada etapa de procesamiento.

BAP es parte de un grupo de programas, que fueron desarrollados por el USGS para digitalizar registros de movimiento fuerte análogos. Los datos registrados digitalmente, después de procesamiento preliminar para cada mecanismo de registro, pueden también procesarse con BAP (Converse y Brady, 2002).

La versión de BAP para PC podía descargarse desde la página del organismo, en secciones que debían almacenarse en diskettes de 1.44M de 3.5" o por medio de FTP de manera anónima. Fue diseñado para computadoras PC/DOS con procesador Intel 80386 y superior y sistema operativo DOS 3.3 o superior. A esta versión se le identificó como la 1.1 (USGS, 2013).

3.1.2 DEGTRA.

DEGTRA es un sistema de cómputo para plataforma Windows, diseñado para procesar señales de aplicación en la ingeniería sísmica y estructural. Fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería (II) de la Universidad Autónoma de México (UNAM), como resultado de las investigaciones realizadas por el Dr. Mario Ordaz Schroeder, encaminadas a resolver algunos de los principales problemas que se presentan al estudiar los sismos. Se ha utilizado como herramienta profesional y académica por más de 10 años (Ordaz y Montoya, 2002a).

La primera versión fue desarrollada en el año 2002 y se conoció con el nombre de DEGTRA, aunque posteriormente se liberaron algunas actualizaciones correspondientes a las versiones 4.0.6 y 4.0.8, en donde su nombre cambió a DEGTRA A4 (Ordaz y Montoya, 2002b), (Ordaz y

Montoya, 2004). El DEGTRA A4 proviene de DEGTRA2000 y DEGTRA 95 que son antepasados remotos de DEGLINT y DEGLITCH (UNAM, 2005).

Entre sus funciones principales se encuentra la capacidad de visualizar señales y manipularlas, permitiendo aplicar filtros básicos y avanzados, evaluar la coherencia, correlación cruzada, integrar, derivar, calcular espectros de amplitudes de Fourier, mostrar en forma de odograma los registros sísmicos de componentes diferentes, rotar, sumar, restar, corregir línea base de diversas formas y para muchos otros aspectos que interesan a sismólogos e ingenieros sísmicos.

También puede calcular espectros de respuesta lineal o no lineal, así como respuesta de osciladores de un grado de libertad o intensidad de Arias. Así mismo, es de gran apoyo para usuarios de la ingeniería estructural, al ofrecer conocimiento sobre un espectro de resistencia o de desplazamiento de un oscilador de comportamiento bilineal, asociado a una demanda de ductilidad prescrita.

Brinda además la evaluación de funciones de transferencias (FT), a partir de espectros de Fourier y permite realizar cálculos de funciones de transferencia teóricas lineales con el método de Thompson Haskell para depósitos de suelo, aplicaciones de amplio uso en la ingeniería de suelos (Ordaz y Montoya, 2002b).

3.1.3 EARTHWORM.

El proyecto Earthworm comenzó en 1993 en el US Geological Survey (USGS) en Menlo Park, CA. en EU, con el objetivo inicial de proporcionar notificación automática mejorada de sismos. El énfasis de su primera edición fue en velocidad e integridad, además de que los principios básicos de diseño como: modularidad, independencia del sistema, escalabilidad, conectividad y robustez han permitido al Earthworm madurar durante 10 años hacia la versión v6, un sistema capaz de cumplir con la mayoría de las necesidades de un red sísmica moderna. Tales necesidades incluyen: revisión interactiva de eventos adquiridos, intercambio de datos en tiempo real por medio de TCP/IP, asociación de datos tardíos, incorporación de diversos tipos de datos y producción de catálogos y volúmenes de archivos.

Hoy su desarrollo está progresando a varios sitios de cooperación y es coordinado en el USGS de Golden, Colorado. Desde aquí el equipo de

desarrollo del núcleo del Earthworm distribuye nuevas liberaciones y documentación de mantenimiento, además de proporcionar soporte. Los futuros esfuerzos consisten en dos proyectos distintos, pero integrados: Automatic Earthworm y el Interactive Earthworm (Earthworm, 2003).

El desarrollo y soporte del Automatic Earthworm proporciona notificación rápida e íntegra sobre sismos; incluye apoyo al procesamiento telesísmico; es operacional en muchas aplicaciones y es extremadamente estable. Por otro lado, el Interactive Earthworm es más complicado y requiere del Sistema de Manejo de Bases de Datos (DBMS: Data Base Management System) de Oracle®, códigos de interfaces asociados y un servidor web. Los requerimientos de configuración y mantenimiento son considerablemente mayores que para el sistema automático. Esta creciente complejidad permite un mayor número de servicios y modos de interacción, incluyendo revisión basada en el web. Algunas instituciones prefieren usar solamente el sistema automático, porque no requiere el gasto adicional ni la experiencia para ejecutar el DBMS de Oracle. En este escenario, una red podría utilizar las capacidades de procesamiento automático e intercambio de datos en tiempo real del Earthworm y utilizar un paquete de software ajeno al Earthworm, para la revisión interactiva de acceso a los datos disparados automáticamente y archivados en varios formatos (Earthworm, 2011).

El Automatic Earthworm puede adquirir datos de la mayoría de los mecanismos de registro de datos digitales (por ejemplo: K2, Guralp, Nanometrics, RefTek, GeoTech, Quanterra, PC Systems Design), así como digitalizadores basados en PC, capaces de adquirir cientos de canales. Apoya protocolos de comunicación seriales, así como IP, permitiendo una variedad de métodos de telemetría urbana como radio, voz, teléfono, de tramas (frame relay), ATM, Internet o DSL. También tiene módulos para desplegar datos en forma de ondas animadas en tiempo real (solo para sistemas NT) y generar despliegues de sismógrafo en formato gif (helicorder) para monitorear la calidad de la forma de onda y publicarla en la Web.

El equipo de desarrollo de Earthworm 7.0 en el 2007, fue originalmente encabezado por Alex Bittenbinder y coordinado por Barbara Bogaert, en conjunto con el U.S. Geological Survey de E.U. Este software es de Arquitectura Abierta desarrollado en lenguaje C y lo más importante, es de código abierto (open source) y disponible libremente para cualquiera (CERI, 2013). El 23 de diciembre del 2008 se libero la versión 7.3 de

Earthworm, con la reparación de muchos detalles, mejoras y el soporte para nuevos digitalizadores. Inicialmente el Earthworm se desarrolló para funcionar sobre plataforma Windows 32 y Solaris; en esta liberación se da soporte a sistemas Windows 2000/Xp y Linux/Unix (ISTI, 2013).

Como una nota adicional, se puede mencionar que hay una variante de este software, conocido como SUNWORM y diseñado en la Universidad de Washington en 1995, que es un conjunto de programas corriendo en una estación de trabajo SUN SPARC, almacenando segmentos sísmicos de interés en archivos Unix con el formato de trazo UW2 (Malone, 1995).

3.1.4 FUENTE.

Fuente 1.0 es un programa escrito en Matlab® 5.3 en la Escuela Superior Técnica de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid, España, que permite realizar el cálculo de los parámetros dinámicos y geométricos de la fuente sísmica, mediante el análisis espectral de registros de banda ancha: momento sísmico, magnitud momento, radio, área de ruptura, dislocación y caída de esfuerzos (JGS, 2014).

3.1.5 GEOGIGA MICROTREMOR

Geogiga Technology Corp. fue fundada en 2005 por un grupo de geofísicos e ingenieros de software experimentados. Sin embargo, el núcleo del equipo comenzó el desarrollo de software geofísico en 1995 y ha proporcionado software comercial para las exploraciones superficiales desde 1997. Sus oficinas están localizadas en Calgary, Alberta, Canadá.

Esta compañía se especializa en investigación de métodos geofísicos y el desarrollo de procesamiento de datos y software de interpretación en geofísica. Como productor líder de software, Geogiga se dedica a producir software de alta calidad, amigable al usuario, de alto desempeño para el procesamiento e interpretación de datos en la geofísica superficial.

La compañía ofrece un paquete comercial con un conjunto completo e integrado de aplicaciones, denominado Geogiga Seismic Pro 6.0, diseñado para el procesamiento de datos sísmicos y su interpretación. Las aplicaciones que lo integran son:

■ Front End:	Pre procesamiento de datos sísmicos.
■ Seismapper:	Mapeo de datos
■ Reflector:	Procesamiento de datos de reflexión
■ SF Image:	Procesamiento de datos GPR/Desfase de reflexión óptimo
■ Refractor:	Procesamiento de datos de refracción.
■ DW Tomo:	Tomografía de refracción
■ Surface:	Procesamiento de datos de onda de superficie
■ Surface Plus:	Procesamiento avanzado de datos de onda de superficie
■ Microtremor:	Análisis y observación de microtremores
■ XW Tomo:	Tomografía de Crosswell
■ VSP:	Perfilamiento de vertical sísmica

De los anteriores, el que destaca por su afinidad con este estudio, es el Geogiga Microtremor que entre otras cosas realiza: el análisis espectral para obtener el periodo predominante y la frecuencia de un sitio de movimientos del suelo; la amplitud o espectro de potencia y el radio H/V pueden ser trazados juntos; filtros de frecuencia incluyendo los Butterworth y Ormsby, con la opción de pase de banda, pase bajo, pase alto, rechazo de banda y corte. Además tiene operaciones múltiples para deshacer/rehacer en datos sísmicos, ofrece segmentos de control de calidad del tiempo, analiza amplitud o poder de espectro, despliega radio H/V, produce el periodo predominante y la frecuencia, da soporte a los formatos SEG-3, SEG-Y y muchos otros. También despliega datos sísmicos con muchos controles y almacena e imprime imágenes de datos.

El software está protegido por licencia y se ha desarrollado para funcionar en plataformas Windows 2000/NT/XP/Vista/7. También se puede descargar desde la página Web del productor, pero para poder utilizarlo se debe hacer uso de una llave de licencia que se aplica mediante un puerto USB. Si se requiere emplearlo en diferentes equipos, deberá adquirirse una clave de protección en versión para red con múltiples licencias. El precio aproximado de una licencia para Microtremor es de \$490 USD al 11 de febrero del 2011, según datos proporcionados por el propio vendedor (Geogiga, 2013).

3.1.6 HYPO71.

HYPO71 fue creado hace más de 30 años que fue usado durante los 70's y principios de los 80's, como rutina de procesamiento de sismos en el USGS

en Menlo Park, CA. y también en muchas redes sísmicas alrededor del mundo (Lahr, 2009). El programa fue escrito en Fortran, por lo que podía ser compilado en la mayoría de computadoras, sin prácticamente ningún cambio. Se ejecuta desde el indicador de comandos en una PC con Sistema operativo Windows 98 o XP. Sus autores son: William Lee and John Lahr (Lee y Lahr, 1972).

Al principio de los 60's muchos sismólogos alrededor del mundo escribieron programas de localización de sismos basados en el método de Geiger, como HYPOLAYR que incluía un listado de código fuente. Para facilitar el procesamiento de datos de rutina en una gran red sísmica regional, el programa HYPO71 se escribió con énfasis en una interfaz simple de usuario para el procesamiento en lotes. El programa HYPO71 original se liberó con su manual de usuario en diciembre 21 de 1971 (ORFEUS1, 2013).

Para generalizar el HYPO71 y que pudiera usarse mundialmente, se corrigieron ciertas fallas y se hicieron varias revisiones desde 1973 hasta 1975, liberando varias revisiones del programa. Cuando se introdujo personal de cómputo a principios de los 80's, se liberó una versión del HYPO71 llamada HYPO71PC la cual fue publicada en la Librería de Software de IASPEI.

HYP071 es un programa de computadora para determinar hipocentros, magnitudes y primeros movimientos de sismos locales. La localización de sismos con este programa requiere considerables cuidados; se deben tener las coordenadas precisas de las estaciones, un modelo razonable de estructura cónica y unos arribos confiables de ondas P y S. Normalmente el programa no responde correctamente si los datos de entrada contienen errores. Por tal motivo, es esencial un chequeo antes de correr el HYP071. También se deben considerar los pequeños errores residuales, aunque esto no es suficiente para garantizar cálculos precisos de hipocentros (Espinosa y Monsalve, 2002).

El HYP071 está escrito en lenguaje FORTRAN IV y ha sido ejecutado con éxito bajo el compilador FORTRAN H o bajo el compilador MNF (Fortran de la Universidad de Minnesota). El programa requiere para su ejecución aproximadamente 150 Kb de almacenamiento al crear un módulo de carga que deberá ser guardado en un disco.

3.1.7 ICORRECT.

El programa Icorrect fue desarrollado como parte de una investigación del Dr. Karen Assatourians y la Dra. Gail M. Atkinson, del Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad del Oeste de Ontario en Canadá (Assatourians y Atkinson, 2008) y de su participación en el proyecto “Caja de herramientas de Ingeniería Sísmica”, de la misma Universidad (SeismoToolBox, 2008).

Este proyecto es un laboratorio virtual instituido por la Fundación de Innovación de Canadá (CFI por sus siglas en inglés: Canada Foundation for Innovation), el cual recopila todos los recursos de ingeniería sísmica de este país. Entre estos recursos se encuentra una base de datos de historias de tiempo, procesadas para sismos moderados registrados en las estaciones sísmicas de todo el país (Assatourians y Atkinson, 2010).

El programa Icorrect ha sido escrito en Fortran y compilado utilizando Compaq Visual Fortran; la aplicación trabaja en ambientes Windows y DOS. El código tiene algunas subrutinas desarrolladas por Gail Atkinson (algunas fueron modificadas) para el programa AGRAM, así también como las subrutinas y funciones escritas por David Boore para el programa SMSIM. Para correr este programa se requieren otras dos aplicaciones: “rdseed.exe” y “dirf.exe”, que deben estar accesibles en la ruta de trabajo.

Icorrect lee un archivo de datos SEED y crea una estructura de datos en forma de carpetas, con una de estas para el archivo del evento y sub-carpetas para cada canal de datos disponibles en el archivo. En la siguiente etapa, pone las series de tiempo no corregidas e información de respuesta del instrumento de cada canal, en el folder correspondiente (en un conjunto de formatos: SEED, SAC, GSE2). Entonces, basado en un conjunto de parámetros de control definidos por el usuario, se aplica una secuencia de etapas de procesamiento que incluyen: manejo de errores, de tendencias, creación de ventanas, filtrado y corrección del instrumento, para obtener series de tiempo de aceleración de movimientos del suelo.

Finalmente, calcula el espectro de respuesta del instrumento con series de tiempo de aceleración corregida y aplica un algoritmo simple de suavizado para mejorar la visualización del espectro obtenido. Toda esta información, incluyendo series de tiempo, parámetros de respuesta del instrumento en varios formatos, productos de procesamiento de datos en cada etapa y la

información del espectro de respuesta de cada canal, son almacenadas en el subdirectorío correspondiente del evento bajo estudio.

Los diferentes elementos del programa Icorrect fueron validados con las salidas de otras aplicaciones conocidas, sin embargo este programa como cualquier otro, debe ser probado por los usuarios para asegurarse de que todos los problemas y fallas sean registrados y corregidos. La salida de la subrutina de cálculo de respuesta del instrumento muestra una perfecta correspondencia con las salidas de PITSA, Resp (Cálculo de respuesta del instrumento del paquete SEISAN) y el programa JPlotResp de IRIS.

Las series de tiempo después de la corrección del instrumento muestran una muy cercana correspondencia, con aquellas obtenidas con SAC y SEISAN. También la salida del espectro de respuesta de Icorrect muestra una buena correspondencia con aquél obtenido con el programa “SPECEQ” de la librería de software NISEE. Las etapas intermedias de procesamiento fueron probadas visualmente después del desarrollo de gráficas útiles de inspección visual. La versión actual de Icorrect debe considerarse la versión beta y se espera que ofrezca mejoras en el futuro (Assatourians y Atkinson, 2008).

3.1.8 INSITE.

La empresa Consultores de Sismología Aplicada (ASC por sus siglas en inglés: Applied Seismology Consultants), de Shrewsbury, Reino Unido, es una empresa pionera y un líder mundial reconocido en el desarrollo de tecnologías de hardware y software, así como en técnicas de interpretación para el monitoreo del comportamiento de macizos rocosos alrededor de excavaciones subterráneas, al interior de reservorios energéticos estimulados y en estructuras críticas de ingeniería. Se especializa en proporcionar monitoreo sísmico y estructuras de hormigón, para múltiples industrias que abarcan: minería, almacenamiento de residuos nucleares, petróleo, geotermia, carbón, ingeniería y ensayos de laboratorio.

El paquete de software InSite ha sido desarrollado durante los últimos diez años e integra procesamiento sísmico, manejo de datos y visualización. Es utilizado como una solución completa para las operaciones de consultoría de la empresa y en la actualidad, es empleado por muchas organizaciones internacionales para el procesamiento y manejo interno de datos sísmicos. ASC se especializa en el registro y proceso de señales sísmicas generadas

en rocas o estructuras de hormigón. En especial aplicado a la industria Petrolífera y Geotérmica, Minería, Almacenamiento de Residuos Radiactivos, Almacenamiento de CO₂ y Ensayos de Laboratorio.

InSite de ASC suministra un paquete de software que integra el proceso, gestión y visualización de datos sísmicos; ha sido desarrollado para actividades de investigación y consultoría propias y también es usado por organizaciones de todo el mundo para el proceso de sus datos. Funciona en computadoras PC con sistema operativo Windows 2000/XP/Vista/7.

InSite es un programa que integra la recopilación, proceso, gestión y visualización de datos sísmicos. Ha sido desarrollado como una solución completa para estudios sísmicos, aplicados a escalas que van desde "emisiones acústicas" en experimentos de laboratorio hasta terremotos de escala regional, pasando por microsismos en excavaciones subterráneas o explotaciones petrolíferas (ASC, 2013).

- ▶ El sistema de gestión ("data management") permite la visualización y gestión de extensos conjuntos de datos (normalmente varios miles de eventos).
- ▶ Se pueden exportar datos procesados, ondas y espectros de frecuencia, a través de archivos de texto de diversos formatos.
- ▶ El software es independiente del hardware usado en la recopilación, ya que las ondas son importadas hacia su base de datos especialmente diseñada. Puede ser integrado con diversos equipos de hardware para la captura y proceso en tiempo real.
- ▶ Contiene un amplio rango de opciones de proceso, estándar y avanzadas, con alto nivel de automatización, que facilita las tareas de proceso y re-proceso.
- ▶ Contiene un conjunto de visualizadores para examinar los datos, incluidas las ondas capturadas por instrumentos poliaxiales, la localización en 3D y los mecanismos de fuente.
- ▶ El software puede combinarse con códigos desarrollados por el cliente a través de un interface que intercambia datos hacia y desde la base de datos.
- ▶ InSite puede instalarse como un sistema cliente-servidor, permitiendo a un equipo de usuarios, el acceso a una base de datos centralizada a través de la red.

InSite es un programa protegido por licencia, pero puede descargarse el programa de instalación para una versión de demostración en PC (ASC, 2013).

3.1.9 LOCA.

LOCA 1.0 es un programa escrito en Matlab® 5.3 en la Escuela Superior Técnico de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid, España que calcula la capacidad de localización de magnitud, en una red sísmica a nivel nacional, regional o local, teniendo en cuenta el nivel de ruido de cada una de las estaciones y el número mínimo de estaciones que detectan el evento (JGS, 2014).

3.1.10 PASE.

Algunas entidades académicas realizaron sus propios programas, con el fin de aplicarlo en sus actividades de investigación o académicas. Este es el caso del programa PASE, desarrollado por el Ing. Daniel Roberto Quiun Wong para la Universidad Pontificia Católica de Perú (UPCP), en Lima.

El software fue empleado con fines académicos en algunos artículos, con el fin de corregir acelerogramas analógicos digitalizados y elaborar curvas corregidas de aceleración, velocidad y desplazamientos del terreno de terremotos peruanos. Éstas se compararon con los resultados publicados previamente por Brady y Pérez, pero se obtuvieron datos diferentes. Fue desarrollado en FORTRAN77, y su objetivo principal es el de transformar un registro de datos en el tiempo (a intervalo constante) con una serie de comandos, tales como:

- ESCALA, multiplica por un escalar
- DERIVA, obtiene la derivada numéricamente
- INTEGRA, obtiene la integral numéricamente
- PASABAJOS y PASALTOS, realiza la convolución en el dominio del tiempo para realizar un filtrado de frecuencias; es un proceso necesario para obtener velocidades y desplazamientos de un acelerograma.
- FFT, obtiene la transformada rápida de Fourier
- LBASE, resta una línea base lineal o parabólica al registro

Este programa se hizo para realizar un análisis comparativo de los criterios empleados por el USGS y Caltech para los periodos de corte, utilizando para esto los pocos registros sísmicos peruanos analógicos que en esa fecha se tenían disponibles. Se llegó a la conclusión de que los

criterios, al ser modificados conducen a otros valores de registros de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno, distintos a los publicados por el USGS en su Open File Report 77-587.

Sin embargo, debido a que los espectros de aceleraciones tenían variaciones casi nulas y a la aparición de los acelerógrafos digitales, no se continuó esa línea de investigación y no hubo desarrollos posteriores a dicho software (Quiun, 1985).

3.1.11 PITSA.

El conjunto de Rutinas Interactivas Programables para el Análisis Sismológico (por sus siglas en inglés: Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis), es un programa para el análisis interactivo de datos sismológicos, escrito por Frank Scherbaum, Jim Johnson y Andreas Rietbrock en 1992, que contiene numerosas herramientas para el procesamiento digital de señales y análisis de rutina.

PITSA fue desarrollado para utilizarse en computadoras con plataformas SunOS, Solaris, HP-UX y Linux que utilizan el sistema de ventanas X11 (IRIS1, 2013). Una versión para utilizarse en PC's con sistema operativo DOS, fue publicada en el volumen 5 de la librería de software del IASPEI (Chouliaras, 2009). La principal limitante de PITSA en su versión para DOS, es el sistema operativo mismo. Las versiones para Sun/Unix están disponibles en la página del IRIS, pero la versión para PC DOS solo está disponible en la de IASPEI/SSA por un cargo nominal (IRIS1, 2013). El programa PITSA se incluye en el paquete SEISAN, que se comunica con él a través de otro programa (wavetool), que convierte archivos en formato de onda en SEISAN al formato GSE2, que PITSA apoya desde su versión 5.0.

El Centro de Ciencia Synapse del consorcio IRIS ha desarrollado una librería cliente para PITSA. Ésta es una interfaz conveniente de programas externos escritos en C o FORTRAN, que brinda la capacidad de operar con una pila virtual de trazos en PITSA. La pila de comandos incluye: borrar, crear, obtener datos, ocultar/mostrar (el trazo se vuelve invisible en la pila), activar/desactivar la ventana de tiempo (solo una parte del trazo está disponible), trazado, etc. Los comandos de la pila también están incorporados en el lenguaje TCL/TK que es utilizado como herramienta de escritura. Actualmente está vigente la versión 4.5 de esta librería. De esta forma, la librería cliente de PITSA permite la creación de módulos externos

a PITSA sin la re-compilación de PITSA en sí. La actual versión de PITSA tiene un elemento en su menú denominado “Ejecutar script”, el cual permite la ejecución de un script TC/TK con los comandos del cliente (SYNAPSE, 2013).

A partir de 1998, el grupo SYNAPSE comenzó el desarrollo de un software de análisis de datos sísmicos, 100% en Java, utilizando el código de procesamiento de datos de PITSA. En 1999, Denis Mishin introdujo JPITSA, una caja de herramientas para análisis avanzado de sismogramas. El software en java de JPITSA fue desarrollado en el Centro de Ciencias Synapse bajo el apoyo financiero del consorcio IRIS, para proporcionar a la comunidad sismológica un sistema integrado orientado a objetos, extensible, amigable al usuario y multiplataforma para el análisis de datos sismológicos. Este software proporciona muchas características básicas que los sismólogos requieren, incluyendo facilidad de integración de los algoritmos de los usuarios al ambiente de trabajo. La versión 4.5 de PITSA brinda apoyo incorporado a la librería cliente de PITSA, pero no para el sistema operativo VISTA, debido a los acuerdos de licencia. Se corrigieron muchas deficiencias y se logró portar a otras plataformas (SunOS/SPARC, SOLARIS/ (SPARC, ix86), Linux/ix86 (SYNAPSE, 2013).

Finalmente, se han desarrollado diversos programas que pueden interactuar con PITSA, la librería de PITSA y JPITSA. Estos forman parte de la librería shareware para PC de IASPEI (PCSL), que comenzó a publicarse en 1991. Su objetivo principal es proporcionar una rápida y amplia distribución de software geofísico, que complemente la librería de software sismológico actual (SSL). A diferencia de la SSL, los programas no son revisados críticamente, pero pueden ser compartidos libremente (ORFEUS2, 2013). Algunos de los programas que pueden interactuar con PITSA y se encuentran en la librería PCSL son: SEIPITSA que tiene como finalidad, realizar de manera sencilla la conversión de formatos entre el programa SEISAN y PITSA (SEISAN, 2005), así como PASTA, que es un programa para el análisis espectral de sismogramas, GUNVI que permite el análisis de sismogramas de una estación simple 3-C y ZMAP, que permite el análisis interactivo tiempo/espacio de sismicidad (ORFEUS2, 2013).

3.1.12 PREPROC.

El desarrollo de PREPROC es atribuible a Axel Plesinger, Miroslav Zmeskal y Jan Zednik y aunque fue impulsado por los requerimientos del proyecto

“Periodo de Observación Sismológica Internacional” (ISOP: International Seismological Observing Period), es universalmente aplicable. Se ha realizado en cercana coordinación con desarrollos complementarios de PITSA y pueden considerarse ambos, como un paquete integrado para el análisis interactivo de sismogramas digitales. Se hace la aclaración de que PREPROC es además, totalmente compatible con cualquier programa de análisis de sismogramas que puedan leer el formato GSE.

La fortaleza especial de PREPROC es su habilidad para simular sismogramas, los cuales habrían sido registrados en un sismógrafo diferente del que actualmente se ha utilizado en el registro digital. Esto no es una tarea fácil y en muchos casos requiere aplicaciones cuidadosas, de algunos conceptos más avanzados de la teoría de sistemas dinámicos lineales y procesamiento de señales. PREPROC hace esto actualmente de manera automática.

PREPROC y sus programas compañeros ZESMO y UNICAL, son un grupo de programas a los que en conjunto se les conoce como PREPROC. Estos programas han sido diseñados para asistir al sismólogo, que desea analizar grandes conjuntos de datos sísmicos digitales puros y requiere que los datos sean procesados de manera estándar previa al análisis. Este requerimiento comúnmente surge tanto de la sismología observacional como de la de investigación. PREPROC automatiza el largo, tedioso y proclive a errores proceso de “limpiar” los datos digitales puros, por ejemplo, la reducción de una señal continua a una discreta con un tiempo de incremento común, la remoción de tendencias en una serie y rotación de componentes. Todos los procedimientos son realizados en el dominio de tiempo, para que la longitud arbitraria de los sismogramas pueda ser procesada (ORFEUS3, 2013).

Las versiones de PREPROC, incluyendo ZESMO y UNICAL, fueron desarrolladas para las siguientes plataformas y sistemas operativos:

- Estaciones de trabajo Sun Microsystems corriendo Solaris 2.5
- Estaciones de trabajo Hewlett-Packard corriendo HP-UX 9.05
- PC compatible con IBM corriendo DOS, versión 3.3 o superior. Se recomienda un procesador 80386 o mejor; se requiere un coprocesador matemático.

Los ejecutables pueden que no trabajen adecuadamente en plataformas con diferentes versiones de sistemas operativos (especialmente las más antiguas). Los autores pueden proporcionar el código fuente a aquellos usuarios interesados en compilarlo en otras plataformas o sistemas

operativos. Cuando se obtienen nuevas versiones disponibles para los usuarios, se van colocando en la página web de descarga del programa (ORFEUS3, 2013).

3.1.13 PROMAX.

ProMAX® es un producto de software de la marca LANDMARK, una filial de la empresa Halliburton. Esta empresa fue fundada en 1919 y es uno de los más grandes proveedores mundiales de servicios y productos para la industria energética. Actualmente, Halliburton ofrece el más amplio arreglo de productos, servicios y soluciones integradas alrededor del mundo, para la exploración desarrollo y producción de gas y petróleo. Es un software especializado para el procesamiento de datos sísmicos. El sistema combina facilidad de uso, herramientas efectivas de análisis, flexibilidad con excelentes algoritmos, infraestructura y herramientas de productividad. Con este software, se puede obtener mayor valor a la inversión en datos sísmicos, incrementando la productividad, reducir los tiempos en los ciclos de vida de proyectos, así como el riesgo.

La familia de procesamiento de datos sísmicos ProMAX incluye un conjunto completo de aplicaciones geofísicas para imágenes 2D, 3D y manejo de profundidad de imágenes. Algunas aplicaciones geofísicas especiales que se incluyen son: Análisis de Migración de velocidad (MVA™ Migration Velocity Analysis), ProMAX® 3DPSDM para el manejo por pilas de profundidad de imagen; ProMAX® VSP y ProMAX® 4D; el Servidor ProMAGIC® es una aplicación que crea una liga entre ProMAX y GeoProbe®. Por otro lado, el software SeisSpace® agrega nuevas y mayores mejoras de funcionalidad, utilidad y desempeño para elevar la velocidad y uso.

ProMAX ha sido desarrollado para las plataformas Unix certificadas por R2003: IBM-Linux, SGI and Sun con los siguientes sistemas operativos:

- SGI: IRIX 6.5.11 M (64-bit)
- Sun: Solaris 2.8
- Linux Red Hat Enterprise WS 3.0 – Update 2,
- Linux 32-bit – Intel P4 Xeon,
- Linux 64-bit – Opteron AMD64, Intel EMT64 (HALLIBURTON, 2013).

3.1.14 SAC.

El código de análisis sísmico (SAC por sus siglas en inglés: Seismic Analysis Code), anteriormente SAC2000, es un programa interactivo de propósito general diseñado para el estudio de señales secuenciales, especialmente datos de series de tiempo. El énfasis ha sido en las herramientas de análisis utilizadas para la investigación en sismología, relacionado con el estudio detallado de eventos sísmicos. Las capacidades de análisis incluyen operaciones aritméticas generales, transformada de Fourier, tres técnicas de estimación espectral, filtrado, manejo de pilas de señales, interpolación, correlación y selección de fases sísmicas. SAC contiene también amplias capacidades gráficas (IRIS2, 2013).

SAC, también conocido como SAC2000, es un código de procesamiento y análisis de señales que ha sido desarrollado en el LLNL, Laboratorio National Lawrence Livermore, por más de 20 años para una amplia variedad de proyectos de investigación geofísica y sísmica. SAC ha evolucionado hacia un programa interactivo de propósito general, diseñado para el estudio de señales secuenciales, especialmente series de tiempo.

SAC es de amplio uso en la comunidad sísmica, porque su filosofía de desarrollo orientada al usuario lo hace consistente, de fácil uso y compatible (IRIS3, 2013). Además:

- Tiene amplia capacidad de análisis de datos eficientes y bien probadas (los ejemplos incluyen: inspección de datos, selección de fases, corrección de señal, control de calidad, operaciones de datos unarios y binarios, análisis de tiempo de viaje, análisis espectral, incluyendo estimación espectral de alta resolución, espectrogramas y sonogramas binarios, así como de arreglo y análisis de tres componentes)
- Es fácil de utilizar y confiable
- Tiene un lenguaje de programación de macros que permite a los usuarios desarrollar nuevas e innovadoras técnicas de análisis
- Tiene interfaz con el sistema operativo Unix, MatLab y el software de herramientas de mapeo genéricas (por sus siglas en inglés GMT: Generic Mapping Tools), que lo hacen muy flexible, permitiendo resolver muchos problemas de investigación, de manera innovadora con el mínimo esfuerzo de programación
- El conjunto de funciones de análisis están integradas de manera que los esquemas de procesamiento innovador pueden implementarse fácilmente.

El desarrollo de SAC2000 comenzó en 1993 como seguimiento al desarrollo original de SAC, con la motivación de incluir: el reconocimiento de que las herramientas existentes no podían manejar de manera anticipada los datos sísmicos disponibles, el deseo de mejorar las capacidades de procesamiento y análisis al tomar ventaja del estado del

arte de las técnicas computacionales y la necesidad de mejorar la eficiencia, la utilización de memoria y la portabilidad de herramientas existentes. Para lograr estos objetivos, el código original de SAC de 100,000 líneas fue traducido de Fortran a lenguaje C, con importantes mejoras y modificaciones (Goldstein *et al.*, 2003).

El código original de SAC, el cual había sido desarrollado en Fortran complejo con aproximadamente 140,000 líneas de código, 200 comandos y diversos subprocesos, fue sustituido en SAC2000 por nuevo código que incluía todas las capacidades previas pero más rápido, eficiente y portable. En SAC2000 la asignación de memoria inicial es menor al 12% de la memoria requerida por el código original de SAC en sus inicios. Esta mejora es posible debido a que el SAC2000 utiliza manejo dinámico de memoria, de manera que el programa asigna memoria conforme se requiere en lugar de asignar una cantidad fija al inicio de la ejecución. Además, puede acceder y procesar conjuntos de datos mucho más grandes porque no está limitado por la asignación de memoria predefinida y puede procesar datos más rápido porque demanda menos recursos. Así mismo, es más portable que el código original, pues puede ejecutarse en una computadora PC, bajo el sistema operativo Linux (OSTI, 2013).

La primera versión del programa, denominada SAC 10.5a fue liberada en el año 1990. Actualmente está disponible la versión 101.4 liberada en 2010, la cual apoya las plataformas: Solaris, Linux (32 bit), Linux (nativa de 64 bits), Mac OS X y Windows bajo Cygwin (IRIS4, 2013).

Los programadores de IRIS e ISTI han colaborado en un nuevo módulo para SAC. Este se ha llamado “*read_dhi*” que permite al venerable programa SAC conectarse vía Internet a los sistemas en línea DHI (Data Handling Interface). Esto significa que el programa SAC puede ahora descargar eventos, respuestas de instrumentos y sismogramas desde cualquier servidor compatible con DHI en el mundo. Una vez que este nuevo módulo es cargado en SAC, el usuario puede fácilmente especificar: sismogramas, eventos o servidores de red y descargarlos rápida y directamente en SAC.

En resumen, los usuarios de SAC pueden ahora sacar ventaja de la rapidez y flexibilidad de los sistemas en línea DHI, mientras conservan el poder de las herramientas de SAC. Se hace notar que el módulo que conecta el DHI basado en Java con el programa SAC puede ser usado por

otros desarrolladores para conectar sus programas en lenguaje C ó C++ al DHI (IRIS5, 2013).

Algunas herramientas independientes se han desarrollado para poder ampliar el potencial del software SAC2000. Entre estas se puede mencionar al SACLab que es la integración de SAC, para el procesamiento de señales sísmicas de la tierra, con la herramienta de cómputo técnico MatLab®, haciendo que el poder computacional y de programación de MatLab pueda acceder de manera fácil a los archivos SAC. El SACLab permite leer archivos de SAC para ser procesados en MatLab®, de manera que los programas y archivos de datos sean portables a cualquier plataforma (por ejemplo: Windows, Unix, Linux, etc.). La extensa documentación de MatLab® proporciona un mejor entendimiento de los algoritmos usados y hace más fácil modificar un programa para un uso distinto (Thorne, 2009).

Finalmente, otra herramienta que utiliza el formato de los archivos SAC es el programa SAC_Sun2PC_mat, desarrollado por Christos Saragiotis, el cual lee archivos binarios de SAC, creados en plataforma SUN, para ser leídos por MatLab hacia o desde una PC (Saragiotis, 2003).

3.1.15 SEISAN.

El sistema de análisis sísmico SEISAN, es un conjunto completo de programas y una base de datos simple, para analizar sismos a partir de datos análogos y digitales disponibles, de manera libre y para uso no comercial. Con SEISAN es posible usar sismos locales y globales, para ingresar lecturas de fase manualmente o recogerlas con un cursor, localizar eventos y editarlos, determinar parámetros espectrales, momento sísmico, azimut o llegada de estaciones de 3-componentes y trazar epicentros.

El sistema consta de un conjunto de programas unidos a la misma base de datos (BD). Usando los programas de búsqueda es posible usar diferentes criterios para buscar en la BD eventos particulares y trabajar con este subconjunto sin extraer los eventos. La mayoría de los programas pueden operar tanto de manera convencional (utilizando un archivo simple con muchos eventos) como en forma de base de datos. Además, SEISAN contiene algunos programas integrados del tipo de búsqueda como coda Q,

modelado sintético y un sistema completo para el cálculo de riesgo sísmico.

Los programas han sido escritos en Fortran principalmente, algunos en C y casi todos los códigos fuente se proporcionan, de manera que el usuario sea capaz de reparar fallas y hacer modificaciones. Los programas han sido compilados y ligados para su ejecución en plataforma SUN, Windows, Linux y MacOSX (GEOTECH1, 2013).

SEISAN corre en plataformas Sun Solaris, Linux, MacOSX, Windows 95/98/NT/2000/XP/Vista/Windows 7. Para gráficas se ha utilizado X en sistemas Unix y DISLIN en Windows. No se requiere conversión para mover archivos de datos (binarios y ASCII) entre los sistemas, si se emplea uno de los formatos estándar (SEISAN, GSE, SEED, SAC ASCII). La versión 7.2 fue liberada en el año 2001 (GEOTECH1, 2013), la versión 8.0 preliminar en septiembre del 2003 (ORFEUS2, 2013), la versión 8.3 en julio del 2010 y la versión vigente, la 9.0, en febrero del 2011 (SEISAN, 2005).

3.1.16 SEISMOSIGNAL.

SeismoSignal 4.1.2 constituye una forma fácil y eficiente de procesar datos de movimientos fuertes, por medio de una interfaz visual amigable al usuario y la capacidad de derivar varios parámetros de movimientos fuertes, en ocasiones requeridos por los ingenieros sismólogos, como:

- Espectro de Fourier y Espectro de potencia
- Espectro de respuesta elástica y pseudo espectro
- Espectro de respuesta elástico de ductilidad constante
- Intensidad de Arias y características
- Velocidad absoluta acumulativa y densidad de energía específica
- Raíz media cuadrada de aceleración, velocidad y desplazamiento
- Aceleración y velocidad máxima sostenida
- Periodos medios y predominantes

El programa es capaz de leer acelerogramas definidos en formatos tanto de valores simples como de líneas múltiples, a los cuales se les puede aplicar filtrado y corrección de línea base. Es posible manejar polinomios hasta de 3er orden empleando tres diferentes tipos de filtros. Finalmente y debido a su completa integración con el ambiente Windows, SeismoSignal permite que los resultados gráficos y numéricos puedan ser copiados a cualquier otra aplicación Windows (por ejemplo: MS Excel, MS Word, etc.), cuyos trazos pueden ser personalizados desde el programa mismo.

Este software está protegido por licencia y tiene un costo de 60€; debido a que ha sido desarrollado en Pavia, Italia, se pueden agregar algunos costos adicionales, correspondientes al embarque, envío e impuestos correspondientes a entregas fuera de este país (SEISMOSOFT, 2013).

Dentro de esta misma compañía de desarrollo de software, se pueden encontrar otras aplicaciones orientadas a la solución de problemas en el área de ingeniería sísmica. Entre las que se pueden mencionar las siguientes:

■ SeismoMatch v1.0.3 (€300)

Es una aplicación capaz de ajustar los acelerogramas de sismos para que correspondan a un espectro de respuesta específico, utilizando un algoritmo de ondeletas. Les da a los usuarios la oportunidad de manejar varios acelerogramas simultáneamente y entonces obtener un espectro promedio. Puede usarse en combinación con herramientas de selección de registros y algoritmos de verificación, apropiados para definir conjuntos adecuados de registros para el análisis dinámico no lineal de nuevas estructuras existentes.

■ Seismospect (€90)

Constituye una plataforma simple y eficiente que permite a los usuarios crear su propia librería de registros de movimientos fuertes y grabarlos en un simple archivo para hacer fácil su manejo y poder compartir un gran número de registros. Esta aplicación es capaz de emplear varios tipos de filtros y realizar corrección de línea utilizando polinomios de tercer orden. Esta herramienta también es capaz de procesar la respuesta espectral promedio de un conjunto de acelerogramas y comparar los resultados con un espectro determinado. Así mismo, se pueden procesar algunos parámetros como: máxima aceleración, velocidad, desplazamiento, aceleración efectiva de diseño, intensidad de Arias y características, raíz media cuadrada de aceleración, velocidad y desplazamiento, entre otros (SEISMOSOFT, 2013).

3.1.17 SEISPACE.

Es un software desarrollado para aplicaciones ProMAX de la marca Landmark. Es un complemento de operación para los usuarios del software ProMAX. Las principales mejoras a aplicación son: nuevos componentes de funcionalidad y usabilidad, mejoras en el desempeño que incrementaran la velocidad y facilidad de uso del software ProMAX.

Los principales componentes del software SeisSpace incluyen una interfaz de usuario, que convenientemente consolida varias tareas y flujos de trabajo del software ProMAX en una sola interfaz y la habilidad de correr una prepila de migración de tiempo 3D en ambiente cluster de Linux.

Importantes mejoras en usabilidad y desempeño para la interfaz del usuario incluyen una apariencia “moderna” y se ha puesto especial interés en el uso del teclado y el ratón para reducir el número de pulsos en este dispositivo. Con las herramientas SeisSpace se puede editar y manipular múltiples flujos simultáneamente y permite operaciones de arrastrar y pegar, para mover y copiar objetos de un lugar a otro. Tiene como requerimientos básicos el disponer del software ProMAX 2D/3D y en cuestiones de hardware, son similares a los definidos para ProMAX (HALLIBURTON, 2013).

3.1.18 SEISPLUS.

SeisPlus es un producto de software desarrollado desde 2003 a la fecha, por Geotechnical Instruments LLC en Dallas, Texas. Esta compañía tiene como misión principal, desarrollar la mayoría de los instrumentos del campo sísmico utilizados por la fuerza aérea de los E.U., para el monitoreo de eventos nucleares en todo el mundo. Ha participado en muchos programas debido a su producción de instrumentos de monitoreo de movimientos del suelo. Así mismo, produce equipos para el monitoreo sísmico con alcances como el de proporcionar los sensores y condicionamiento de señales para experimentos de actividad sísmica en la luna.

Su innovación es continua en sensores y digitalizadores diseñados para registrar datos con bajo ruido y alta resolución, así como poderosos programas de software que puedan analizar y extraer rápidamente información de datos brutos. Los productos de Geotech tienen un rango amplio de aplicaciones: investigación, estudio sísmico de sismicidad natural e inducida, ingeniería civil, microzonificación, vibraciones industriales así como también la educación (GEOTECH2, 2013).

SeisPlus realiza despliegue de formas de onda, levantamiento automático y manual de tiempo de llegada, localización del hipocentro de eventos telesísmicos locales y regionales, determinación de magnitud, trazado en mapa del epicentro, inversión del tensor de momento para sismos locales,

basados en amplitudes espectrales de cadenas de ondas de cuerpo, así como la importación/exportación de varias formas de onda y formatos de datos de fase.

La herramienta de procesamiento de señales del SeisPlus realiza filtrado de señales, eliminación de tendencias, integración, diferenciación, escalamiento de amplitud, convolución o des-convolución con la función de respuesta del instrumento, cómputo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform), radio espectral, espectro de respuesta, así como intensidad sísmica JMA y construcción del radio de deriva de construcción.

Como componentes adicionales al paquete estándar de software, un módulo de software de procesamiento de datos de movimiento fuerte puede generar mapas de sacudidas, una caja de herramientas de base de datos de sismos se puede usar para almacenar y acceder a localidades de eventos y así generar boletines de sismos.

Los datos pueden ser proporcionados en cualquiera de los siguientes formatos de datos sísmológicos: SUDS, formato de datos brutos SMART-24®, mini-SEED, SEISAN, CSS 3.0, archivos de forma de ondas en GSE o ASCII, así como HYPO71, SEISAN o SMART para archivos de fases y archivos de configuración. Las formas de onda procesadas se producen en SUDS, SAC, mini-SEED, GSE 2.0 o formato ASCII, mientras que las fases y localidades se almacenan en formato SMART nativo.

El software SeisPlus trabaja en cualquier PC que corra los sistemas operativos Microsoft Windows 7/Vista/XP/2000 y está protegido por licencia. Para la versión 4.5 y previas, la llave de la licencia ya sea temporal para la versión de prueba o permanente para versión completa, se distribuye desde la fábrica como un archivo vía email o con el CD de distribución; después de la instalación, el archivo llave de la licencia tiene que ser copiado al directorio propietario del software.

Para la versión 4.6 y superiores, la aplicación puede correr como versión de prueba por un periodo de tiempo limitado (típicamente 30 días), después de que es ejecutado por primera vez. Puede activarse en cualquier momento hacia la versión permanente, que está asociada a la PC donde se activa, siguiendo los pasos que se explican en el manual (GEOTECH3, 2013).

3.1.19 SEISWARE.

El SeisWare Geophysical Software es un producto de la compañía Seisware International Inc., que nace en 1997 con el fin de desarrollar, vender y dar soporte a los clientes de su paquete de interpretación sísmica basado en PC, que presume ser de bajo precio y con buen soporte técnico.

El precio del software es aproximadamente de C\$9,500.00 dólares canadienses (CAD) por la suscripción anual. El software no se vende, está disponible para renta y no hay módulos adicionales que adquirir, tampoco cargos mensuales por mantenimiento. Funciona con sistemas operativos Windows XP y Vista y de acuerdo a su folleto disponible en 2010, los precios de acuerdo al equipo donde se utilizará son:

- ▮ Sistema de estación de Trabajo: C\$7,000.00 CAD
- ▮ Sistema Laptop: C\$5,000.00 CAD
- ▮ Sistema de estación de trabajo de 64 bits: C\$10,000.00 CAD

El software SeisWare tiene la versión de 32-bits y una versión nativa de 64-bits, para sacar ventaja de la última tecnología de hardware. Es una aplicación multicomponente y multihebra (multithread), que puede emplear más de un CPU para mejorar el desempeño de manera importante. Hoy en día, la mayoría de los procesadores en el mercado son Dual Core (que actúan como dos procesadores separados) ó Quad Core (para cuatro).

Para proyectos más grandes y/o grandes volúmenes de datos, se recomienda la versión de estación de trabajo de 64 bits, de preferencia la edición de negocios. Su principal ventaja es la habilidad de acceder a mayores cantidades de memoria RAM, que permitirán al usuario lanzar y ejecutar más aplicaciones de manera concurrente.

Dentro de las funciones básicas se pueden encontrar: rápido procesamiento y filtrado, análisis espectral, generación sintética interactiva, extracción de ondeletas (wavelets), realización de polígonos de correlación sísmica, cinco algoritmos de mapeo cuadrículado, polígonos de falla integrados a estos algoritmos, herramientas para el manejo de pozos, descomposición espectral para analizar efectos de frecuencia en los datos, análisis de wavelets utilizadas para la distribución de respuesta sísmica, análisis de atributos de zonas sísmicas que proporciona información estadística acerca de datos sísmicos dentro de una zona de interés, tiene gran capacidad para despliegue visual con múltiples dimensiones (2D y

3D), que pueden desplegar de manera interactiva pozos, símbolos, curvas, fallas, redes, rasters y archivos SEG-P (SEISWARE, 2010).

3.1.20 SIGVIEW.

Es un paquete de software de SignalLab para el análisis de señales de tiempo real, con un amplio rango de poderosas herramientas para el análisis espectral, funciones estadísticas y un completo sistema de visualización.

Este software se distribuye como shareware y se puede descargar una versión completamente funcional y utilizarla por 21 días para revisar sus características; después de ese periodo se debe adquirir una licencia. La clave de licencia abre la versión de prueba y da derecho a solicitar apoyo vía e-mail, actualizaciones menores sin costo y acceder a opciones de personalización.

Los precios del software se muestran a continuación (su licencia permite su uso en una sola computadora):

- ▶ Licencia simple: \$ 139.00 USD
- ▶ Licencia para 5 equipos: \$ 490.00 USD
- ▶ Licencia para 10 equipos: \$ 690.00 USD
- ▶ Licencia para un sitio: \$1,290.00 USD

También existe la versión académica de este software, cuyos costos son:

- ▶ Licencia para 5 equipos: \$ 390.00 USD
- ▶ Licencia para 10 equipos: \$ 590.00 USD
- ▶ Licencia para un sitio: \$1,090.00 USD

Entre sus características principales se puede mencionar: Soporte para un amplio rango de mecanismos de adquisición de datos, despliegue de datos en tiempo real, control y análisis de señales, importa y exporta archivos de señales en numerosos formatos: WAV, MP3, ASCII, WMA, AU, AIFF, SND, archivos binarios de 8/16/32 bits, etc.

Posee además un algoritmo para FFT optimizado con ajuste fino de parámetros y varias opciones de pre y post procesamiento, espectrograma

y funciones de tiempo FFT con soluciones de despliegue gráfico poderoso. Análisis de canal dual, filtrado de señales, operaciones aritméticas de tiempo real en las señales, varias funciones estadísticas, curvas de filtrado personalizadas, despliegue avanzado de señales, generador de señales, varias líneas de comando y herramientas para el usuario, para automatización y control remoto de aplicaciones externas o lotes de archivos (SignalLab, 2013).

3.1.21 STK SEISMIC TOOL KIT.

El STK es una herramienta para el procesamiento de datos sísmicos, desarrollada en el 2002 por Dominique Reymond. Existe una versión para PC con sistema operativo WIN32, pero es mucho más lenta que su versión para UNIX/Linux.

Entre sus características principales se encuentran: aceptar los formatos de datos SAC ASCII y SAC Bin; realizar el filtrado de datos con todo tipo de filtros (Butterworth High-Pass y Low-Pass, Farrer 10s-6s Low-Pass, Integrador, Derivador, Integrador con corte de frecuencia, Derivador con corte de frecuencia, eliminación de tendencias, Rechazo de orden N, compensador de Orden N y filtro polinomial). También es capaz de trazar datos: Canal por canal, todos los canales, acercar, alejar, eliminar filtro, información de amplitud con apuntador del ratón. Así mismo, puede calcular la densidad espectral de potencia (PSD: Power Spectral Density) en ejes lineares, ventanas independientes para cada canal, frecuencia instantánea e información de amplitud con apuntador del ratón, acercar o alejar el espectro.

Las versiones que existen de este software son:

- ▶ STK 0.66 del 2009
- ▶ STK 0.62 de julio del 2008
- ▶ STK.0.61 de mayo del 2008
- ▶ STK.0.56 a STK.0.50 fueron desarrolladas en el 2007 (STK, 2013).

Lee señales sísmicas en formato SAC y proporciona variedad en el procesamiento de señales, como es el filtrado, análisis espectral, análisis de polarización, representación de frecuencia de tiempo, transformada de Hilbert y descomposición singular de valores.

Se incluyen además algunas herramientas útiles para aplicaciones sísmológicas como cómputo de momento sísmico, magnitud del manto, magnitud del momento, análisis espectral MTPA, trazado de mecanismos focales, cómputo y trazado de respuesta instrumental de polos y ceros y algunas herramientas para el trazado de señales, respuestas y frecuencia de tiempo en archivos PostScript® para impresoras de alta calidad (STK, 2009).

Este software se puede aplicar en varias plataformas y dependiendo de su versión, es el número que se le ha asignado. De esta manera podemos mencionar que:

- SKT 0.38 del 2006 puede aplicarse tanto a XP, como a Linux y MacOS
- SKT 0.40 del 2006 es para Linux y XP
- SKT 0.41 del 2006 es para XP, Linux y MacOS
- SKT 0.69 del 2009 es para Linux y MacOS (FreeCode, 2013).
- SKT 0.73 del 2010 es para Linux (Hispanista, 2013).
- SKT 0.74 del 2011 es para Linux (OpenSourcePixels, 2013).

3.1.22 ZMAP.

ZMAP es un conjunto de subrutinas para análisis sistemático de datos de sismicidad y catálogos sísmicos, cuyas capacidades en las subrutinas, pueden emplearse también en otras aplicaciones. ZMAP fue implementado inicialmente por Stefan Wiemer en la Escuela Politécnica Federal (ETH) de Zúrich, Alemania. Él también es el creador de uno de los objetivos primarios que conforma la base del programa: el mapeo de la sismicidad y parámetros asociados, relacionándolos a los nodos de una malla. Posteriormente Ramón Zúñiga implementó algunas rutinas adicionales y colaboró en la optimización de las existentes, así como en el desarrollo de la estructura actual. De ahí salió la primera versión que se tuvo el valor de divulgar internacionalmente y que fue respaldada con un manual. Actualmente, el paquete es de uso cotidiano en varios observatorios sísmológicos mundiales.

El objetivo inicial del proyecto fue encontrar medios para mejorar la definición y resolución de anomalías en la tasa de sismicidad de una región dada, así como ofrecer algunas herramientas de análisis disponibles de forma amigable. Con el paso del tiempo, el paquete fue creciendo e incorporando nuevas herramientas y posibilidades de análisis; otros colegas colaboraron con nuevas rutinas que lo hicieron más robusto.

ZMAP está escrito en la plataforma MatLab®, lo que ha permitido la incorporación de rutinas de aplicaciones gráficas y numéricas, adicionalmente a las escritas por los autores, provenientes de The MathWorks Inc., así como de usuarios de otros sitios que han aportado rutinas a la biblioteca de libre acceso, en la misma dirección internet. El paquete está disponible para su descarga, sin costo alguno; desafortunadamente el lenguaje de cómputo y análisis MatLab® sólo debe emplearse bajo licencia con costo, la cual puede ser adquirida con un distribuidor o directamente con The MathWorks (Geociencias, 2013).

La base de datos en la que opera ZMAP es un catálogo de sismicidad, es un compendio básico de parámetros de la fuente sísmica, registrado para cada uno de los sismos con los que cuenta el catálogo. Los parámetros que se utilizan son:

- Tiempo de ocurrencia (año, mes, día, hora, minuto)
- Localización (Latitud y Longitud)
- Magnitud (cualquiera que sea la escala)
- Profundidad (km)

Específicamente para los análisis de sismicidad, con ZMAP es posible efectuar las siguientes operaciones:

- Resolver variaciones en la tasa de sismicidad (Sismos/unidad de tiempo) como una función cuasi-continua de tiempo.
- Llevar a cabo análisis de detalle en regiones seleccionadas interactivamente o por medio de datos de identificación (coordenadas) pregrabados.
- Mostrar resultados en diversos tipos de desplegados como mapas, perfiles, gráficas, etc.
- Utilizar herramientas estadísticas de uso general en la base de datos, o específicas para análisis de sismicidad (valores b y P) de forma accesible y simple.
- Capacidad de llevar a cabo análisis de mayor complejidad por medio de interfaces con orientación hacia el usuario.
- Facilidad de adaptación de otras herramientas para usos particulares (Ciencias, 2010).

Los catálogos de sismos son probablemente los productos más fundamentales de la sismología y se mantienen como los más útiles para los estudios tectónicos. Las redes modernas de sismógrafos pueden localizar hasta 100,000 sismos anualmente, proporcionando un flujo de datos continuo y a veces abrumador.

ZMAP es un conjunto de herramientas manejadas a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI: Graphic User Interface), diseñada para ayudar a los sismólogos a analizar catálogos de datos. Es básicamente una

herramienta de investigación diseñada para la evaluación de la calidad de los catálogos y poder formular hipótesis, sin embargo puede ser útil en las operaciones de rutina de las redes. Aproximadamente 150 científicos a lo largo del mundo han utilizado el software al menos en una ocasión. Cerca de 50 publicaciones revisadas por pares, han hecho uso de ZMAP; sin embargo, se hace notar que no ha sido posible mantener sistemáticamente y actualizado el software.

Los autores han tratado de hacer de ZMAP tan versátil, amigable al usuario y preciso como les ha sido posible. Sin embargo, permanecen algunos detalles e indudablemente se han agregado otros, es más, muchas características permanecen crípticas para muchos usuarios.

El ZMAP puede utilizarse con diferentes versiones de MatLab® (6.1, 6.5 y 6.7), en cuyas versiones trabajan las funciones básicas de ZMAP. Sin embargo, debido a que los autores trabajan principalmente con la versión 6.5 y la 7, puede que surjan algunos problemas o podrían no existir algunas funciones con las versiones anteriores (ETH, 2013).

A continuación, se presentan los datos generales de todas las aplicaciones descritas anteriormente (Tabla 2).

Tabla 2: Datos generales de las 22 aplicaciones de software.

Nº	Nombre	Descripción
1	BAP	USGS: United States Geological Survey. E. U. 1992.
2	Degtra	Instituto de Ingeniería de la UNAM. México. 2002.
3	Earthworm	USGS. E.U. 1993.
4	Fuente	Universidad Politécnica de Madrid. España. 2002.
5	Geogiga	Geogiga Technology Corp. Alberta, Canadá. 2005.
6	Hypo71	USGS. E.U. 1973.
7	Icorrect	Universidad del Oeste de Ontario. Canadá. 2008.
8	Insite	Applied Sesimology Consultants. UK. 2011.
9	Loca	Universidad Politécnica de Madrid. España. 2002.
10	Pase	Universidad Pontificia Católica de Perú. Perú. 1985.
11	Pitsa	Universidad de Munich. Alemania. 1994.
12	Preproc	International Seismological Observing Period. E U. 1990.
13	Promax	Landmark-Halliburton. E.U. 1994.
14	Sac	Laboratorio Nacional Lawrence Livermore. E.U. 1993.
15	Seisan	Universidad de Bergen. Noruega. 2001.
16	Seismosignal	Seismosoft. Italia. 2002.
17	Seispace	Landmark-Halliburton. E.U. 1994.
18	Seisplus	Geotechnical Instruments LLC. E.U. 2003.
19	Seisware	Seisware International Inc. Canada. 1997.
20	Sigview	SignalLab. E.U. 2003.
21	Stk	Dominique Reymond. Francia. 2002.
22	Znap	Stefan Wiemer. Alemania. 1994.

3.2 Análisis Descriptivo

En la sección previa se hizo la descripción de las características de cada una de las aplicaciones de manera individual. En esta sección se ofrece un análisis integral que ofrece una vista global de las características de las aplicaciones, agrupándolas de acuerdo a algunos parámetros, describiendo los detalles más relevantes.

3.2.1 Cronología.

El periodo de análisis es de 41 años y comprende desde el año en que se liberó la primera aplicación hasta el 2011 (Fig. 17). Su origen se remonta a inicios de los 70's con la más antigua: Hypo71, avanzando en forma creciente y alcanzando su auge en los años 90's.

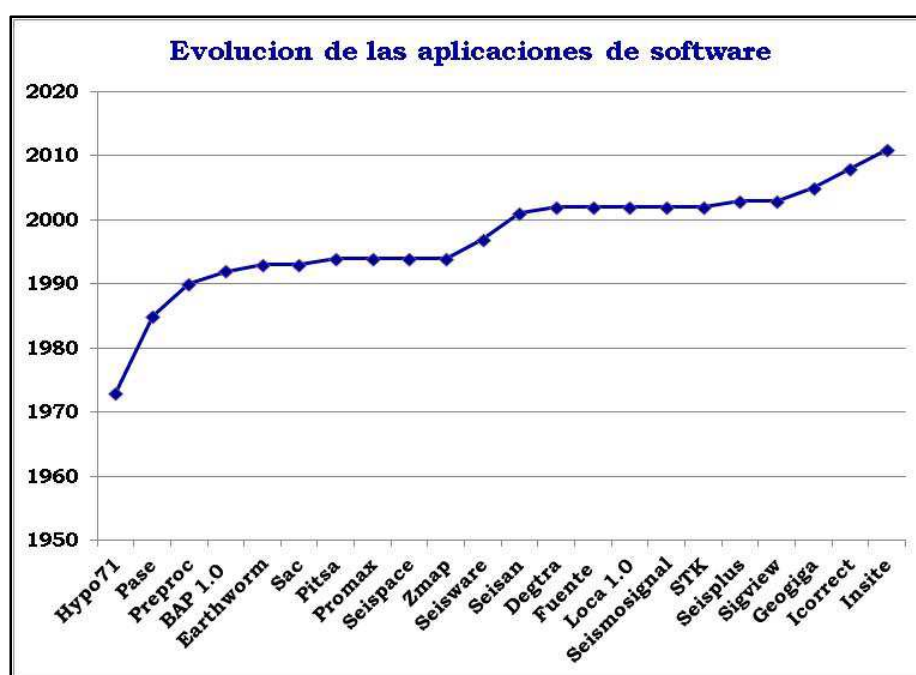


Figura 17: Desarrollo cronológico de las aplicaciones de software

Se observa que de 1971 a 1989, se crearon dos aplicaciones; era una época en la que no era común disponer de una computadora de manera permanente y propia. Así mismo, las personas que usualmente desarrollaban código de programación para aplicación en la ingeniería, habían aprendido de manera autodidacta ciertos lenguajes de programación común en sus respectivas áreas. De esta forma, los programas de cómputo de esos años eran pequeñas funciones o

fragmentos de código creados para efectuar ciertas actividades de manera aislada.

En los años 90's se desarrollaron ocho programas de software que representan el 41% de la producción total. En la década posterior al año 2000 surgieron diez nuevos productos, consiguiendo ser la época de mayor producción, con el 45% del total. Este incremento en los programas de software generados en estos años se vio favorecido por varios factores como: la reducción en el tamaño y costo de los equipos de cómputo, la diversidad de técnicas y lenguajes de programación orientados a los usuarios y la inclusión de nuevas interfaces que permiten la generación de código de cómputo de manera simplificada. Finalmente, en el periodo posterior al año 2011 se nota un marcado descenso en la producción de aplicaciones de software, pues pasó del 45% al 5%, al generarse solo una aplicación (Fig. 18).

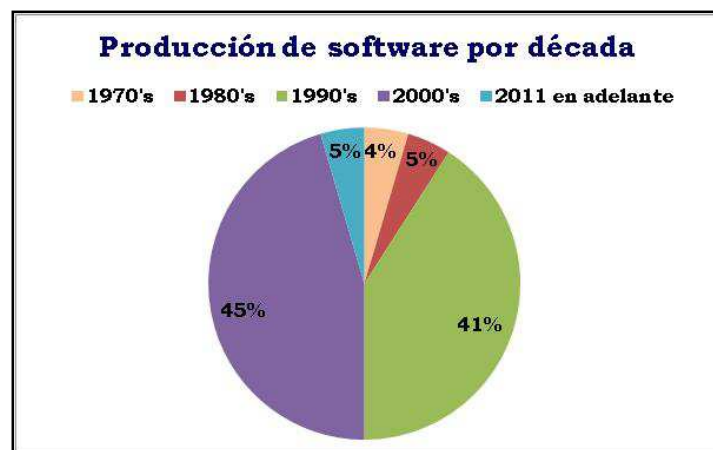


Figura 18: Producción por décadas de software en el periodo 1970-2011

¿A qué se debe que esto suceda? La respuesta es multifactorial y las causas involucradas incluyen:

- Demanda de sistemas integrales que incluyan múltiples funciones y operaciones, más que programas independientes y aislados.
- Demanda de interfaces gráficas de fácil uso para los usuarios.
- Incremento en la complejidad de las herramientas empleadas para el desarrollo de software (como son compiladores, lenguajes de programación, ambientes de desarrollo, etc.)
- Incremento en el costo de las herramientas descritas en el punto anterior.
- Imperante necesidad de personas específicamente capacitadas para el desarrollo de sistemas de cómputo
- Falta de cooperación cercana entre las diferentes ramas de la ingeniería y la ingeniería de software.

3.2.2 País de origen.

En el análisis de las aplicaciones aquí mencionadas no se incluyen a otros países (como Japón, India y Rusia entre otros), que también sufren terremotos. Aunque éstos también desarrollan investigación sobre sismos y utilizan herramientas de software como apoyo, no se tiene información disponible al respecto. Por lo tanto, el análisis se circunscribe a las aplicaciones de software que se han empleado por diversas instituciones en América Latina.

De las 22 aplicaciones que se analizaron, 14 fueron creadas en América y 8 en Europa. De los países de América que contribuyen en esta producción (Fig. 19), se puede observar que el principal creador es Estados Unidos y aunque Canadá tiene más oferta que el resto de los países, está muy por debajo de lo que se genera en EU.



Figura 19: Países de América que desarrollan aplicaciones de software.

Así mismo, al observar de qué manera contribuyen los países de Europa, cuyas aplicaciones se emplean para el procesamiento de señales sísmicas, se puede notar (Fig. 20) que Alemania y España tienen dos productos, y el resto de los países solo uno. Aquí hay que hacer la aclaración de que solo se hace la comparación respecto a la cantidad de aplicaciones generadas, la complejidad de los programas, la cantidad de componentes en las mismas o el número de usuarios que las emplean, no se refleja en la gráfica.

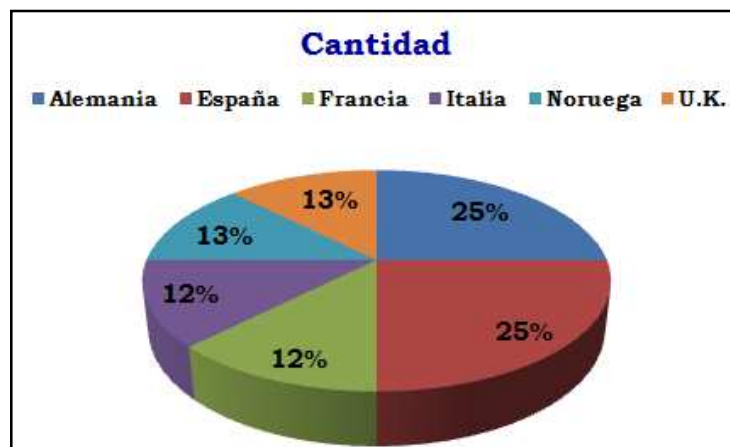


Figura 26: Países de Europa que desarrollan aplicaciones de software

3.2.3 Plataforma de trabajo.

Analizando el tipo de arquitectura sobre la que pueden emplearse las aplicaciones bajo estudio, se logra observar que estos programas se ejecutan principalmente en computadoras personales (Figura 21). Algunas tienen la opción de funcionar también para equipos más grandes, y son mínimas las que lo hacen en múltiples tipos de equipo.

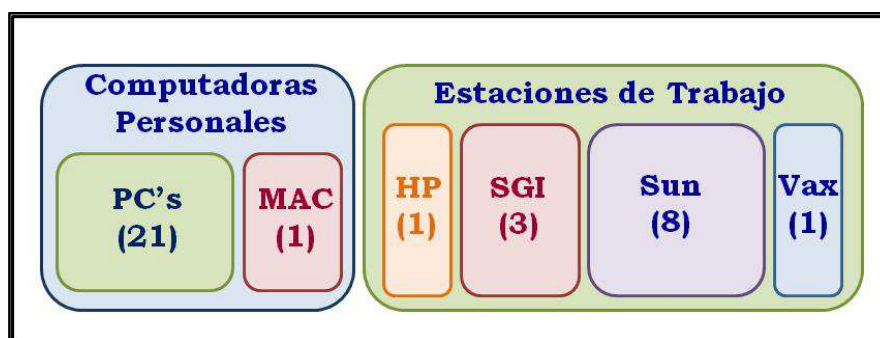


Figura 21: Arquitecturas de cómputo.

Trece programas pueden funcionar en un solo tipo específico de equipo y cinco pueden hacerlo en dos: usualmente una PC y alguna estación de trabajo. Las aplicaciones que pueden emplearse en tres tipos de arquitectura son: Promax, Seisan y Seispace, pero solo es esta última la que ofrece la capacidad de trabajar con equipos MAC. Finalmente, STK es la única aplicación que permite su utilización en dos tipos de estaciones de trabajo y en dos tipos de computadora personal.

Si además del equipo de trabajo se toma en consideración el sistema operativo que requiere para poder funcionar, se obtiene que Solaris es el más popular (Fig. 22), pues ha conservado su esencia durante muchos años de evolución y esto ha permitido que el funcionamiento de los programas se efectuó sin cambios radicales.



Figura 22: Sistemas operativos de estaciones de trabajo.

En relación a las computadoras personales, 35 aplicaciones permiten su funcionamiento bajo plataforma Windows, y en caso de no ser el sistema operativo deseado, existen siete programas que funcionan en Linux. Solo las aplicaciones Sac, Seisan y STK pueden emplear OSX para MAC (Fig. 23).

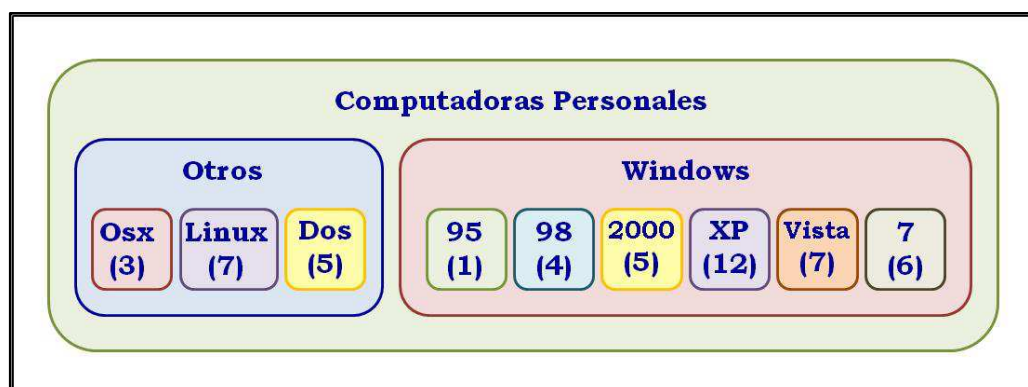


Figura 23: Sistemas operativos empleados en computadoras personales.

Al enfocarse estrictamente en la oferta para Windows, debido al uso extendido en las PC's, hay muchas aplicaciones atendiendo sus diferentes versiones y seguramente esta tendencia permanecerá así.

3.2.4 Costo.

El siguiente parámetro evaluado corresponde al costo de las aplicaciones y es de gran importancia, ya que cuando se efectúa investigación sobre sismos, la mayor inversión que debe efectuarse es la relacionada con los mecanismos para instrumentación de las zonas sísmicas y posteriormente, todo el equipo de cómputo y de apoyo que requerirán los especialistas para procesar los datos recopilados.

Cuando se han adquirido todos los elementos anteriormente mencionados, hay una gran probabilidad de disponer ya de muy pocos recursos financieros, sino es que nulos, para la adquisición de software especializado en esta área. De ahí la importancia de que desde la planeación se considere este concepto, para no ver limitadas las opciones a elegir.

Existen zonas de gran sismicidad que también son muy conocidas por su extrema pobreza, como Chiapas y Oaxaca; para este tipo de casos, se presentan las opciones de software sin costo, que les permitirá realizar el procesamiento sin tener que hacer más desembolsos.

A continuación se presenta en un primer bloque (Fig. 24), todas las aplicaciones que tienen un costo y de las cuales debe adquirirse una licencia para poder utilizarlas de manera legal. Las que se mencionan del lado derecho como “costo indefinido”, son aquellas cuyas compañías que las han creado no proporcionan información para divulgación, o no proporcionan mayores datos a menos que sea un cliente potencial de compra; otros definitivamente no proporcionan respuesta.

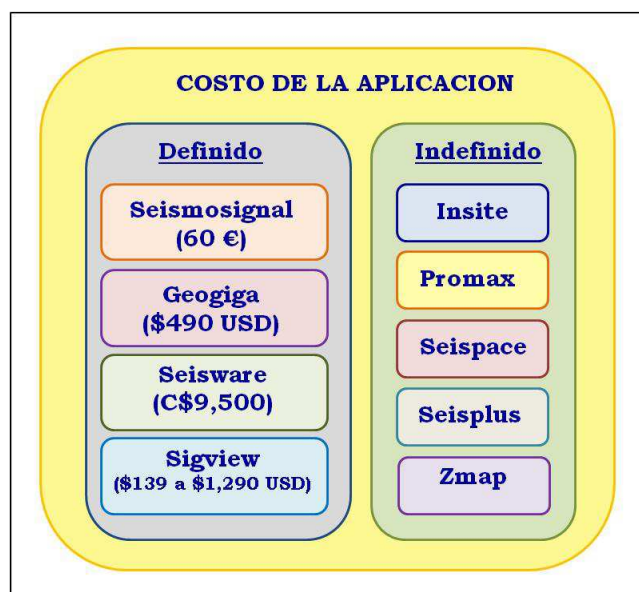


Figura 24: Aplicaciones de software que tienen un costo asociado.

Se puede notar que 9 de las 22 aplicaciones requieren el pago de derechos de autor para su uso; sin embargo, cuando no es posible adquirir las que se venden, se puede elegir alguna de las que se presentan en la figura 25. Muchas de éstas ya no están vigentes actualmente (como Loca y Fuente), pero las demás pueden seguirse empleando. Muchas son de uso extendido como Earthworm y Seisan, y otras solo se utilizan para algunos cálculos específicos, como el Hypo71 para obtención de hipocentros.

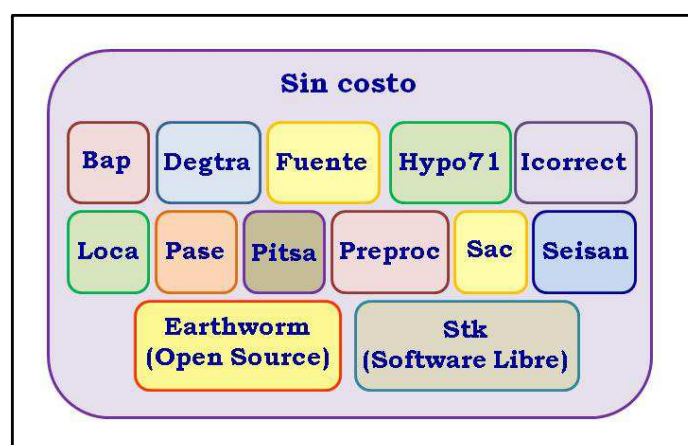


Figura 25: Aplicaciones software sin costo.

Es importante hacer notar que Earthworm apoya el código abierto entre sus usuarios y STK se ofrece como software libre. Estas dos tendencias son muy comunes para plataformas que emplean el sistema operativo

Linux (típicamente en su versión RedHat) y es la comunidad de usuarios la que ayuda a contribuir con mejoras, correcciones, evaluaciones y nuevas aportaciones.

3.2.5 Lenguaje de desarrollo.

Fue posible obtener información acerca del lenguaje de programación empleado para la creación de 13 de las 22 aplicaciones revisadas, que coinciden con aquellas que no requieren el pago de licencia para su utilización.

Las aplicaciones de software fueron desarrolladas con diferentes lenguajes de programación, con tendencia a emplear Fortran en los 70's y 80's (Figura 26). Las variantes de Fortran que utilizan Degtra, Icorrect y Pase, son: VFortran, Compaq VFortran y Fortran77, respectivamente.

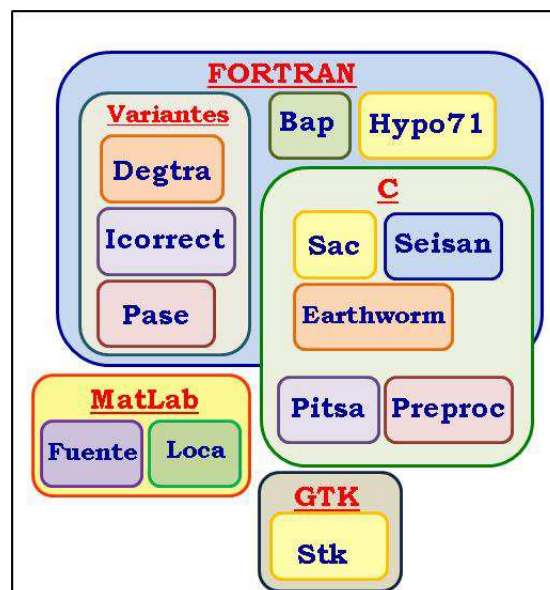


Figura 26: Lenguajes empleados en el desarrollo de aplicaciones.

Con el paso de los años, el Lenguaje C fue tomando fuerza y se utiliza de manera común a partir de 1990. Algunas aplicaciones como Sac, Seisan y Earthworm permiten reutilizar código en Fortran, para incorporarlo a nuevo código en C.

Algunas aplicaciones como Loca y Fuente fueron creadas en MatLab®, por lo que aun cuando éstas se distribuyen sin costo, el paquete con el que se desarrollaron sí lo tiene. Earthworm puede hacer uso de bases de datos en Oracle®, pero como en el caso anterior, éstas tienen un costo asociado independiente al de la aplicación. Finalmente, el software STK informa que fue realizado con una herramienta denominada GTK+, que aunque funciona para varias plataformas, lo más probable es que haya empleado lenguaje C también.

3.2.6 Funciones de las aplicaciones.

Conocer las características, capacidades y limitaciones, además de los factores explicados en las secciones previas, permite a los usuarios tener todos los elementos necesarios para poder elegir el programa de software que mejor se adapte a las necesidades de procesamiento que requiera.

Es difícil encontrar un programa que pueda efectuar todas las actividades que la investigación en ingeniería sísmica requiere; esto puede favorecer el uso combinado de varias de estas aplicaciones, si su compatibilidad de plataformas y datos lo permite. Así mismo, si las necesidades de procesamiento demandan más de dos aplicaciones en trabajo simultáneo, quizás sería recomendable considerar la posibilidad de adquirir una más completa.

A continuación se presenta el resumen individual de las características más sobresalientes del conjunto de aplicaciones analizadas.

1) BAP

Tabla 3: Bap - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Cálculo de Espectro de Respuesta
Corrección de línea base
Obtención de Transformada de Fourier
Procesamiento de sismos de movimiento fuerte

2) Degtra

Tabla 4: Degtra - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de espectros de respuesta lineal/no lineal
Cálculo de Espectro de Fourier
Cálculo de Espectro de Respuesta
Cálculo de funciones de transferencia lineales
Cálculo de intensidad de Arias
Corrección de línea base
Creación de ventanas
Obtención de Transformada de Fourier
Visualización y manipulación de señales

3) Earthworm

Tabla 5: Earthworm - Funciones Principales

Funciones
Análisis/Procesamiento en Tiempo Real
Manejo a través de red
Utilización de Servidor Web
Utilización de Base de Datos
Visualización y manipulación de señales

4) Fuente

Tabla 6: Fuente - Funciones Principales

Funciones
Análisis espectral de registros
Cálculo de hipocentro/magnitud
Cálculo de momento sísmico

5) Geogiga Microtremor

Tabla 7: Geogiga Microtremor - Funciones Principales

Funciones
Análisis espectral de registros
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de densidad espectral de potencia
Genera tomografía de refracción y de Crosswell

Perfilamiento de vertical sísmica
Soporte a archivos con diversos formatos
Visualización y manipulación de señales

6) Hypo71

Tabla 8: Hypo71 - Funciones Principales

Funciones
Cálculo de hipocentro/magnitud

7) Icorrect

Tabla 9: Icorrect - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Cálculo de Espectro de Respuesta
Creación de ventanas
Utilización de Base de Datos

8) Insite

Tabla 10: Insite - Funciones Principales

Funciones
Análisis/Procesamiento en Tiempo Real
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Manejo a través de red
Permite desarrollo de código propio
Procesamiento para obtención de hidrocarburos
Procesamiento de señales sísmicas en rocas
Soporte a archivos con diversos formatos
Utilización de Base de Datos
Visualización y manipulación de señales

9) Loca

Tabla 11: Loca - Funciones Principales

Funciones
Cálculo de hipocentro/magnitud

10) Pase

Tabla 12: Pase - Funciones Principales

Funciones
Corrección de línea base
Obtención de Transformada de Fourier

11) Pitsa

Tabla 13: Pitsa - Funciones Principales

Funciones
Análisis interactivo de datos
Capacidad de operar con Seisan
Permite desarrollo de código propio

12) Preproc

Tabla 14: Preproc - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Permite simular sismogramas
Soporte a archivos con diversos formatos

13) Promax

Tabla 15: Promax - Funciones Principales

Funciones
Manejo de imágenes 2D y 3D
Procesamiento para obtención de hidrocarburos

14) Sac

Tabla 16: Sac - Funciones Principales

Funciones
Análisis espectral de registros
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Obtención de Transformada de Fourier
Permite desarrollo de código propio
Visualización y manipulación de señales

15) Seisan

Tabla 17: Seisan - Funciones Principales

Funciones
Análisis interactivo de datos
Cálculo de momento sísmico
Cálculo de riesgo sísmico
Manejo de datos digitales y análogos
Utilización de Base de Datos

16) Seismosignal

Tabla 18: Seismosignal - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de Espectro de Fourier
Cálculo de intensidad de Arias
Cálculo de velocidad absoluta y relativa
Corrección de línea base
Obtención de Transformada de Fourier
Procesamiento de sismos de movimiento fuerte
Visualización y manipulación de señales

17) Seispace

Tabla 19: Seispace - Funciones Principales

Funciones
Análisis interactivo de datos
Manejo de imágenes 2D y 3D
Visualización y manipulación de señales

18) Seisplus

Tabla 20: Seisplus - Funciones Principales

Funciones
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de Espectro de Fourier
Cálculo de Espectro de Respuesta
Cálculo de hipocentro/magnitud
Capacidad de operar con Seisan
Obtención de Transformada de Fourier

Soporte a archivos con diversos formatos
--

19) Seisware

Tabla 21: Seisware - Funciones Principales

Funciones
Análisis espectral de registros
Análisis interactivo de datos
Aplicación de filtros básicos
Manejo de imágenes 2D y 3D

20) Sigview

Tabla 22: Seisware - Funciones Principales

Funciones
Análisis/Procesamiento en Tiempo Real
Análisis espectral de registros
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de Espectro de Fourier
Obtención de Transformada de Fourier
Soporte a archivos con diversos formatos
Visualización y manipulación de señales

21) Stk

Tabla 23: Stk - Funciones Principales

Funciones
Análisis espectral de registros
Aplicación de filtros básicos
Aplicaciones de filtros avanzados
Cálculo de densidad espectral de potencia
Cálculo de momento sísmico
Cálculo de Transformada de Hilbert
Soporte a archivos con diversos formatos

22) Zmap

Tabla 24: Zmap - Funciones Principales

Funciones
Análisis interactivo de datos
Cálculo de hipocentro/magnitud
Utilización de Base de Datos
Visualización y manipulación de señales

Si solo se considera la cantidad de funciones que cada aplicación brinda (Fig. 27) se puede decir que Degtra e Insite son las que más funciones poseen, con nueve cada una, seguidas muy de cerca por Seismosignal, Seisplus y Seisview con 8, respectivamente. Después están varias aplicaciones que en promedio realizan de tres a cuatro funciones como: Sac, Bap, Seisware, Stk, Earthworm, Geogiga, Icorrect y Zmap. Les siguen las aplicaciones con capacidad para desarrollar dos o tres actividades: Fuente, Pitsa, Seisan, Seispace, Pase, Preproc y Promax y por último, los programas más limitados, que solo ofrecen una función destacada: Hypo71 y Loca.

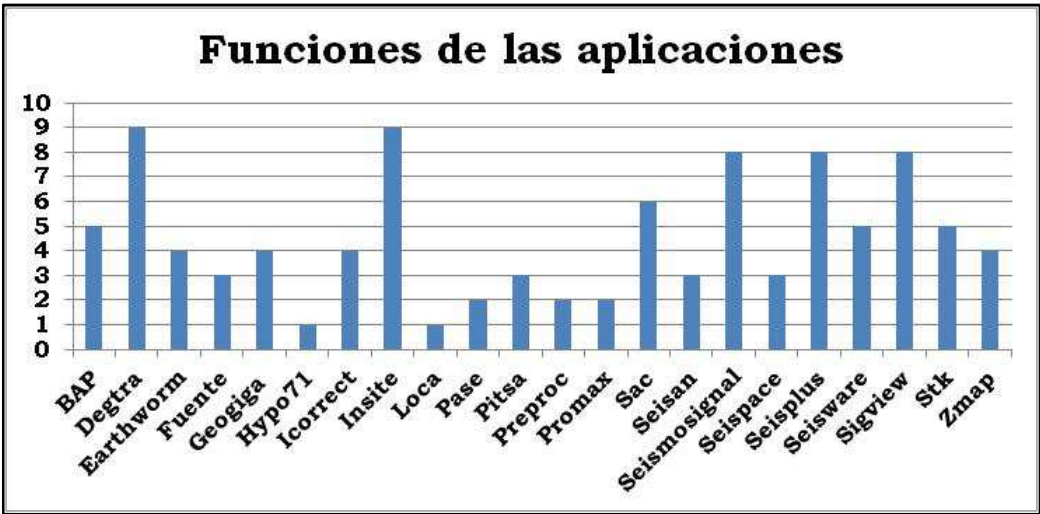


Figura 27: Cantidad de funciones que posee cada aplicación.

A continuación se presentan tres categorías de funciones organizadas de acuerdo a la complejidad de sus capacidades: elementales, avanzadas y superiores. En la tabla 25 se puede observar que la mayoría de las aplicaciones puede realizar las actividades básicas, excepto Hypo71 y Loca, que no efectúan ninguna de las mencionadas en el listado.

Tabla 25: Funciones básicas de las aplicaciones.

Funciones Básicas	Software
Adquisición de datos de registro digital	Earthworm, Sigview
Almacenamiento e impresión de imágenes	Geogiga Microtremor
Análisis de registros de banda ancha	Fuente
Análisis espectral	Sac, Seisware, Sigview, STK
Aplicación de filtros avanzados	Degtra, Geogiga Microtremor, Seismosignal, Seisplus, STK
Aplicación de filtros básicos	BAP, Degtra, Earthworm, Icorrect, Pase, Preproc, Sac, Seisware, Seisplus, STK
Brinda soporte a diferentes tipos de formatos	Earthworm, Insite, Pitsa, Preproc, Seisan, Seisplus, Sigview, STK
Corrección de Línea base	BAP, Degtra, Icorrect, Sac, Seismosignal
Creación de sismogramas digitales	Earthworm
Permite la corrección de instrumentos	BAP, Icorrect
Pertenece a un grupo de programas	BAP, Pitsa, Preproc, Promax, Seisan, Seispace

La siguiente categoría se ha denominado de funciones avanzadas, por tener una mayor complejidad en el tipo de datos de entrada que requieren, en los diferentes cálculos que deben llevar a cabo, así como los resultados que generan (tabla 26). Las aplicaciones de software que no figuran en esta categoría son: Fuente, Pitsa, Preproc, Promax, Seisan, Seispace y Zmap.

Tabla 26: Funciones avanzadas de las aplicaciones.

Funciones avanzadas	Software
Correlación Cruzada	Degtra
Descomposición espectral	Seisware
Espectro de Fourier y/o respuesta	BAP, Geogiga Microtremor, Icorrect, Seismosignal, Seisplus, Sigview, STK
Espectro de frecuencia	Insite, STK
Espectro de potencia	Seismosignal
Espectro de respuesta elástica	Seismosignal
Espectros de amplitud de Fourier	Degtra, Geogiga Microtremor, Seisplus, Sigview, STK
Espectros de respuesta lineal y no lineal	Degtra
Extracción de ondeletas	Seisware
Funciones de transferencia	Degtra, STK
Hipocentro y magnitudes	Hypo71, SeisPlus
Intensidad de Arias	Degtra, Seismosignal
Magnitud de un sismo	Loca
Magnitud del manto	STK
Momento sísmico	STK
Operaciones de integración/derivación	Degtra, STK
Procesamiento de datos de reflexión	Geogiga Microtremor
Procesamiento de datos de refracción	Geogiga Microtremor
Procesamiento de ondas de superficie	Geogiga Microtremor
Serie de tiempo de aceleración del suelo	Degtra, Icorrect
Tiempos pico y amplitudes	Earthworm
Tomografía de refracción	Geogiga Microtremor
Transformada de Hilbert	STK
Transformada rápida de Fourier FFT	Degtra, Pase, Sac, Seisplus, Sigview
Velocidad y desplazamiento en serie de tiempo	BAP

Por último, en el grupo de las aplicaciones superiores se incluyen actividades muy especializadas cubiertas por algunos de los programas. Son actividades diversas no comunes a todas, pero en las que se aprecia que las aplicaciones que requieren la compra de licencia, son las que más actividades de este rubro pueden desarrollar, como son: Geogiga Microtremor, Seisware, Sigview, Seismosignal, Seisplus, y STK (Tabla 27).

Tabla 27: Funciones superiores de las aplicaciones.

Funciones Superiores	Software
Despliegue de datos en forma de ondas	Degtra, Earthworm, Geogiga Microtremor, Insite, SeisPlus, Seisware
Manejo avanzado de imágenes 2D y 3D	Insite, Promax, Seisware
Manejo de Base de datos	Earthworm, Insite, Seisan, Zmap
Manejo de catálogo de sismicidad	Zmap
Manejo de información estadística en datos sísmicos de una zona	Seisware, Zmap
Manejo de pozos	Seisware
Ofrece la revisión interactiva de datos adquiridos	Earthworm
Permite al usuario crear su propio código	Insite, Pitsa, Sac
Procesamiento en tiempo real	Earthworm, Insite, Sigview
Realización de polígonos de correlación sísmica	Seisware
Registro de terremotos de movimiento fuerte	BAP, Seismosignal, Seisplus
Simulación de sismogramas	Preproc
Soporta el modelo cliente-servidor para manejo en red	Insite, Sac
Trazado de mecanismos focales	Sac
Trazado de registros de sismos	BAP, Geogiga Microtremor, Pitsa, Seisplus, STK
Visualización de señales	Degtra, Icorrect, Insite, Sac, Sigview

3.3 Metodología de desarrollo de software.

El desarrollo de software es una labor que por mucho tiempo se llevó a cabo sin una metodología definida. Al respecto, algunos autores definen una metodología como un conjunto de procedimientos, técnicas, herramientas y documentos auxiliares que ayudan a los desarrolladores de software en sus esfuerzos por implementar nuevos sistemas de información. Está formada por fases, cada una de las cuales se puede dividir en sub-fases, que guiarán a los creadores de sistemas a elegir las técnicas más apropiadas en cada momento del proyecto y también a planificarlo, gestionarlo, controlarlo y evaluarlo (Tinoco *et al.*, 2010).

Respecto a estas metodologías, se puede hacer una clasificación en dos grandes grupos: por un lado, las denominadas metodologías tradicionales centradas en el control del proceso, con un riguroso seguimiento de las actividades involucradas en éstas y por otro lado, las metodologías ágiles, centradas en el factor humano, en la colaboración y participación del cliente en el proceso de desarrollo y a un incesante incremento de software con iteraciones muy cortas.

El mundo del software es muy amplio y está en continua evolución, por lo que una metodología debe ser lo suficientemente precisa para que todo el mundo la pueda seguir como pauta común; adaptable para poder aplicarse en distintos proyectos; sencilla para que su utilización no resulte abrumadora, pero también completa y compleja para ser de utilidad al equipo. Considerando los beneficios de las metodologías ágiles, se ha elegido la XP (Xtreme Programming) como base para el desarrollo de este proyecto de software, básicamente por las razones que su autor, Kent Beck, expresa: “*XP es una metodología ligera, eficiente, con bajo riesgo, flexible, predecible y divertida para desarrollar software*” (Beck y Andres, 2004). Se distingue de otras metodologías en que:

- Su retroalimentación es temprana, concreta y permanente en ciclos cortos.
- Su enfoque de planificación gradual, que surge rápidamente con un plan general que se espera evolucione a través de la vida del proyecto.
- Su capacidad para programar con flexibilidad atendiendo las cambiantes necesidades del negocio.

- Al requerir que los programadores documenten sus pruebas junto a los clientes permite monitorear la evolución del sistema y detectar defectos de manera temprana.
- Tiene un fuerte apoyo en la comunicación oral, para transmitir la estructura del sistema y su propósito.
- Posee un modelo de diseño evolutivo permite que el proceso de desarrollo dure tanto como sea requerido.

3.3.1 *Extreme Programming (XP).*

La programación extrema surgió cuando Kent entró a formar parte en un proyecto de DaimlerChrysler, que se denominó C3 (Chrysler Comprehensive Compensation), donde debido a las necesidades del propio proyecto, se vio obligado a aplicar sus investigaciones y a ponerlas en práctica, surgiendo lo que denominó “*Extreme Programming*” (JoSeK, 2009).

La Programación Extrema (XP) fue creada en respuesta a problemas donde los requerimientos cambian con frecuencia; es más efectiva que las metodologías de “peso pesado”, en situaciones en las que los clientes no están seguros acerca de las funciones que desean o que cambian de parecer con frecuencia. Es ideal para crear nuevos tipos de productos de software y como tal, es un reto para los desarrolladores. También es adecuada para los proyectos donde un sistema tiene que ser desarrollado dentro de un estricta restricción de tiempo (Akpata y Riha, 2004).

El denominar a esta metodología como “extrema”, se debe al énfasis en tener buenas prácticas y seguirlas constantemente, pero de una forma extrema, es decir, los principios de la XP deben ser seguidos sin alejarse ni un ápice y cualquier otra práctica será ignorada (Highsmith, 2002). Además, busca dos objetivos: hacer buen software (con calidad) y de la forma más rápida posible; de hecho, estos son los objetivos fundamentales de cualquier metodología aplicada al desarrollo de software y de cualquier otra área en general. A pesar de esto, con las metodologías de desarrollo actuales el 70% de los proyectos fracasan y aproximadamente, también el 70% de las fallas no son debidos a cuestiones técnicas, sino a cambios en la gestión o problemas de comunicación (CodeProject, 2003).

Esta metodología expone planteamientos más globales que el simple desarrollo de software, entre los que destacan (JoSeK, 2009):

- ▶ **Comunicación:** Debe ser total a todos los niveles de trabajo. Se trabaja en grupos de dos personas por ordenador (*pair-programming*), con un máximo de 10 a 12 personas en total. El código debe ser comunicativo y auto explicativo, ya que se intenta eliminar el molesto proceso de la documentación.
- ▶ **Usuario:** El usuario siempre está en mente, por lo que se atienden todas sus necesidades y peticiones.
- ▶ **Simplicidad:** Lo más simple es lo que funciona mejor, más rápido, es más adaptable, más barato y además es más entendible.
- ▶ **YAGNI:** “*You aren’t gonna need it*” (No lo vas a necesitar). No hagas nada que creas que en el futuro puede ser útil, porque probablemente no lo vas a necesitar.
- ▶ **OAOO:** “*Once and only once*” (Una única vez). Las cosas deberán hacerse una sola vez.

La programación extrema está orientada hacia proyectos con un escaso número de participantes (unos 10/12), trabajando en parejas de dos personas. Por lo que uno de los requerimientos más importantes para poder aplicar esta metodología es el tamaño del proyecto. Sobre esta base, se diseña un entorno tipo para poder practicar la XP. Las necesidades de este entorno son:

- ▶ Semanas de 40 horas de trabajo.
- ▶ Todos los desarrolladores deben estar en una única habitación.
- ▶ Todos los días comienzan con una reunión de apertura.
- ▶ En la habitación debe haber comida (básicamente “botanas” para reforzamiento positivo).
- ▶ Alta velocidad de trabajo.

Básicamente, la XP se basa en cuatro valores, denominados como los cuatro pilares de la metodología (Wells, 2013):

Simplicidad. Se hará lo que sea necesario y que ha sido solicitado, pero no más. Esto maximizará el valor creado por la inversión realizada hasta la fecha. Se requieren pequeños pasos simples para lograr cada objetivo y mitigar las fallas que puedan ocurrir. Se creará algo de lo que se pueda estar orgulloso y a lo que se pueda dar mantenimiento a largo plazo, por un costo razonable.

Comunicación. Todos son parte del equipo y la comunicación se efectúa cara a cara diariamente. Se trabajará en conjunto en todos los

requerimientos a codificar y se creará la mejor solución a cada problema que se pueda lograr en conjunto.

Retroalimentación. Cada iteración requiere el compromiso serio de entregar software que funcione. Se muestra inicialmente el software, se escucha cuidadosamente y se efectúan los cambios necesarios. Se hablará sobre el proyecto para adaptar el procesamiento a éste y no al revés.

Respeto. Todos deberán brindar y recibir el respeto que merecen como miembros valiosos del equipo, pues todos contribuyen con algo, incluso si es solo entusiasmo. Los desarrolladores respetan la experiencia de los clientes y viceversa. La administración respeta el derecho a aceptar la responsabilidad y ejercer autoridad sobre el trabajo individual.

Valor. Se deberá ser honesto acerca del progreso y estimaciones. No se documentan excusas por las fallas, puesto que se tiene la intención de tener éxito. No deberá haber temor porque nadie trabaja solo. Habrá adaptación a los cambios cuando se requiera.

Según (Beck (1999), incluir “extreme” en el nombre de la metodología es debido a que ésta lleva los principios y prácticas hasta un nivel extremo, gracias a que el conjunto completo de los mismos es estable, predecible y flexible. Así mismo, como XP es una disciplina para el desarrollo de software, tiene ciertas guías que deben seguirse fielmente para satisfacer e incorporar los valores ya mencionados. Para que todo esto funcione, la programación extrema se basa en trece "prácticas básicas" que deben seguirse al pie de la letra. En la Fig. 28 se presentan de manera resumida (Universidad Bolivariana, 2013):

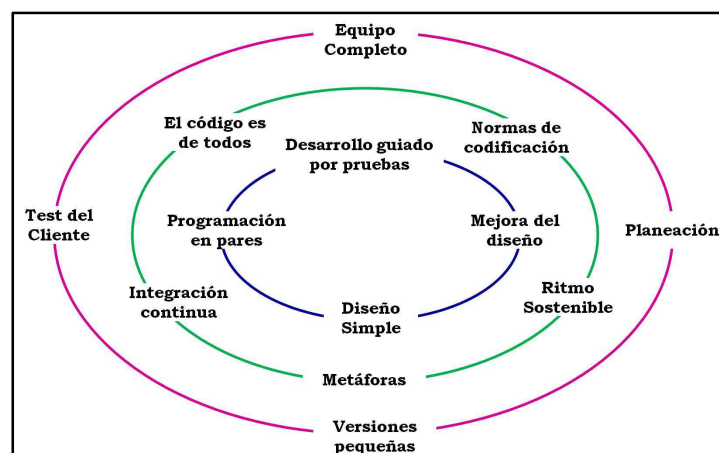


Figura 28: Prácticas de la programación extrema XP (Xprogramming.Com, 2013).

- ▶ **Equipo completo:** Forman parte del equipo todas las personas relacionadas con el proyecto, incluido el cliente y el responsable del proyecto.
- ▶ **Planificación:** Se hacen las historias de usuario y se planifica en qué orden se van a hacer y las mini-versiones. La planificación se revisa continuamente.
- ▶ **Test del cliente:** El cliente, con la ayuda de los desarrolladores, propone sus propias pruebas para validar las mini-versiones.
- ▶ **Versiones pequeñas:** Las mini-versiones deben ser lo suficientemente pequeñas como para poder hacer una cada pocas semanas. Deben ser versiones que ofrezcan algo útil al usuario final y no trozos de código que no pueda ver funcionando.
- ▶ **Diseño simple:** Hacer siempre lo mínimo imprescindible de la forma más sencilla posible. Mantener siempre sencillo el código.
- ▶ **Pareja de programadores:** Los programadores trabajan por parejas (dos delante del mismo ordenador) y se intercambian las parejas con frecuencia (un cambio diario).
- ▶ **Desarrollo guiado por las pruebas automáticas:** Se deben realizar programas de prueba automática y deben ejecutarse con mucha frecuencia. Cuantas más pruebas se hagan, mejor.
- ▶ **Mejora del diseño:** Mientras se codifica, debe mejorarse el código ya hecho con el que nos crucemos y que sea susceptible de ser mejorado. Extraer funcionalidades comunes, eliminar líneas de código innecesarias, etc.
- ▶ **Integración continua:** Debe tenerse siempre un ejecutable del proyecto funcionando y en cuanto se tenga una nueva pequeña capacidad, debe recompilarse y probarse. Es un error mantener una versión congelada dos meses mientras se hacen mejoras y luego integrarlas todas de golpe. Cuando se presente una falla, se complica el proceso de determinar la causa.
- ▶ **El código es de todos:** Cualquiera puede y debe tocar y conocer cualquier parte del código. Para eso se hacen las pruebas automáticas.
- ▶ **Normas de codificación:** Debe haber un estilo común de codificación (no importa cual), de forma que parezca que ha sido realizado por una única persona.
- ▶ **Metáforas:** Hay que buscar unas frases o nombres que definan cómo funcionan las distintas partes del programa, de forma que sólo con los nombres se pueda tener una idea de qué es lo que hace cada parte del programa. Un ejemplo claro es el "recolector de basura" de

Java. Ayuda a que todos los programadores (y el cliente) sepan de lo que se habla y que no haya mal entendidos.

- **Ritmo sostenible:** Se debe trabajar a un ritmo que se pueda mantener indefinidamente. Esto quiere decir que no debe haber días muertos en que no se sabe qué hacer, ni exceso de horas otros días. Al tener claro semana a semana lo que debe hacerse, hay que trabajar duro para conseguir el objetivo cercano de terminar una historia de usuario o mini-versión.

Finalmente, se hace notar que la mayoría del material sobre XP se enfoca en los casos con un grupo de trabajo de dos o más programadores trabajando en equipo. Sin embargo, existen casos donde un programador solitario emplea XP y no es una idea completamente descabellada. Existe incluso un término acuñado para este tipo de situaciones: XP41 “*XP for one*” (Akpata y Riha, 2004).

Es altamente probable que cuando un programador pruebe las prácticas de XP tenga una mejor productividad y mayor calidad, comparada con otros métodos “agiles”. Como mínimo, utilizar XP mantendrá las habilidades de los desarrolladores agudizadas para que cuando se unan a un equipo estén listos para ir al extremo. En las palabras de Kent Beck: “...se aligeran las prácticas cuando se trabaja solo. Por ejemplo, se puede mantener una lista de cosas-por-hacer en lugar de llevar todas las historias”. En opinión de los autores, aligerar las prácticas de la XP para adaptarse a las circunstancias personales es la mejor forma de cosechar los máximos beneficios de XP (Akpata y Riha, 2004).

3.3.2 VB .NET.

Visual Basic .NET (también conocido como VB .NET), es un lenguaje de programación orientado a objetos, que se puede considerar una evolución de Visual Basic implementada sobre la arquitectura .NET. La versión de VB 2010 obliga al desarrollador a programar de forma ordenada, con reglas metodológicas de programación, análogas a las de otros lenguajes de programación orientados a objetos como C++, C# o Java, por citar algunos de los más utilizados (Figura 29).

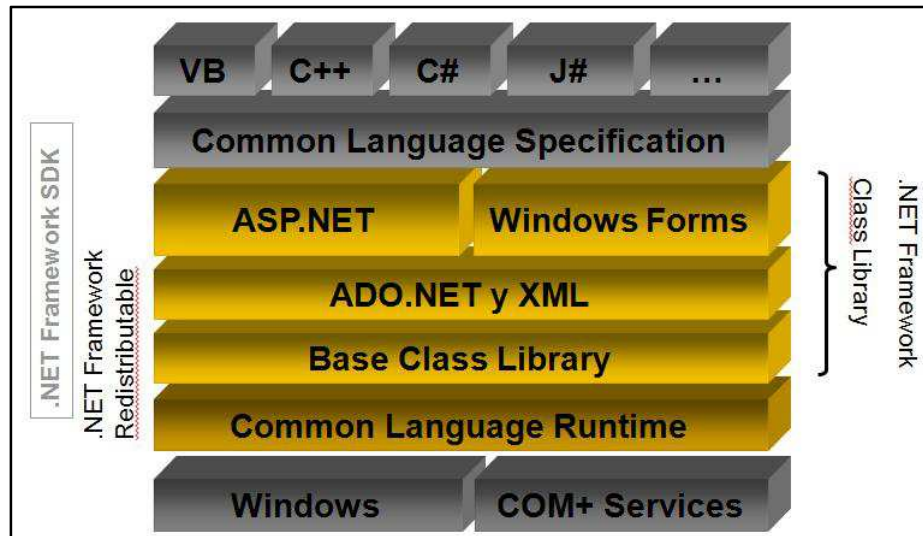


Fig. 29: Arquitectura del Framework .NET (NET, 2012)

La palabra “Visual” hace referencia desde el lado del diseño, al método que se utiliza para crear la interfaz gráfica del usuario, si se dispone de la herramienta adecuada (por ejemplo, con Visual Studio se utiliza el ratón para arrastrar y colocar los objetos prefabricados en el lugar deseado dentro de un formulario) y desde el lado de la ejecución, al aspecto gráfico que toman los objetos cuando se ejecuta el código que los crea, objetos que formarán la interfaz gráfica que el usuario de la aplicación utiliza para acceder a los servicios que ésta ofrece.

La palabra “Basic” hace referencia a BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), el lenguaje utilizado por más programadores que ningún otro en la historia de la informática. Visual Basic ha evolucionado a partir del BASIC original y ahora contiene centenares de instrucciones, funciones y palabras clave, muchas de las cuales están directamente relacionadas con la interfaz gráfica de Windows (Ceballos, 2011).

Para entender lo que es Visual Basic .NET es imprescindible decir antes lo que es *Microsoft .NET Framework* o abreviadamente *.NET*. Se trata de un entorno de desarrollo multilenguaje diseñado por Microsoft para simplificar la construcción, distribución y ejecución de aplicaciones para Internet. Tiene fundamentalmente tres componentes: una máquina virtual (CLR: *Common Language Runtime*) que procesa código escrito en un lenguaje intermedio (MSIL: *Microsoft Intermediate Language*), una biblioteca de clases (biblioteca .NET) y ASP.NET que proporciona los servicios necesarios para crear aplicaciones *Web* (Ceballos, 2011).

En la figura 30 se puede observar cómo el .NET puede utilizar cualquiera de los lenguajes de programación soportados por la plataforma, idealmente editando el código fuente en Visual Studio, para posteriormente compilarlo en el MSIL (Microsoft Intermediate Language), -que es el código intermedio-; luego de este proceso el código objeto es tomado por el CLR con su compilador JIT (Just in time) y vuelve a compilar a código máquina (NET, 2012).

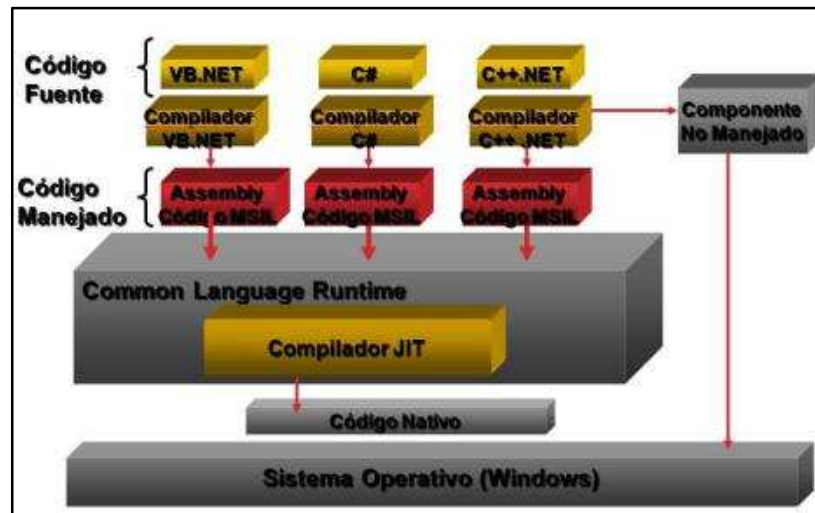


Figura 30: Compilación y Ejecución en .NET (NET, 2012)

Existe controversia acerca del uso de VB frente a otros lenguajes como C# por ejemplo (VS, 2013). Aún cuando todos los lenguajes de la plataforma .NET son traducidos a un mismo MIL, las diferentes opciones de compilación pueden generar un MIL drásticamente diferente, con sus consecuentes diferencias en desempeño. Lo que es un hecho es que los diferentes compiladores, por defecto, tienen diferentes opciones de compilación; por esta razón, es importante comprender cuál es el resultado de compilar un programa con las diferentes posibilidades que ofrece un determinado compilador.

Se puede afirmar que ambos lenguajes son considerados igualmente poderosos y que realmente no existen argumentos para suponer que alguno de estos es superior. En (MSDN1, 2013) se enuncia que: "Debido a las diferencias del pasado entre Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual C, y Microsoft Visual C++, muchos desarrolladores tienen la impresión de que Microsoft Visual C# .NET es un lenguaje mucho más poderoso que Microsoft Visual Basic .NET. Algunos desarrolladores asumen que muchas cosas que son posibles en Visual C# .NET son imposibles en Visual Basic .NET; de igual forma en que muchas cosas que son posibles en Microsoft

Visual C 6.0 ó Microsoft Visual C++ 6.0 son imposibles en Microsoft Visual Basic 6.0. Asumir esto es incorrecto. Si bien existen diferencias entre Visual Basic .NET y Visual C# .NET, ambos son lenguajes de programación de primera clase basados en el Microsoft .NET Framework, y ambos son igual de poderosos”.

4.- DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE SOFTWARE.

En este capítulo se describen las diferentes etapas que se requirieron para construir la aplicación de software propuesta en esta tesis.

4.1 Análisis.

El software que sirvió como base para el desarrollo de la nueva aplicación tiene sus antecedentes en el Degtra A4 (Ordaz y Montoya, 2004), que se describió con detalle en la sección 2.5.4. A partir de los algoritmos y fragmentos de código que ya han sido probados y se sabe cómo funcionan (Conexions, 2009), se inicia la elaboración de una aplicación más compleja, con documentación que permita la incorporación de nuevas funciones, así como la corrección de fallos detectados (Juárez-Ramírez *et al.*, 2007).

Degtra A4 fue desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en un proyecto integrado por diversos colaboradores y programadores. No posee ningún tipo de documentación oficial sobre su desarrollo y solo dispone de un manual de usuario en línea (UNAM, 2005). En su creación se emplearon diversos algoritmos y programas elaborados en Fortran, cuyo código fue incorporado, mediante su previa conversión, a Visual Basic 6.

Debido a que es un programa de software de amplia demanda, se han hecho múltiples requerimientos al autor, Dr. Mario Ordaz Schroeder y colaboradores, para que se continúe el desarrollo de este sistema, adaptándolo a la tecnología actual.

4.1.1 Componentes originales.

Para conocer el sistema se procede a la revisión exhaustiva de cada uno de los componentes que la integran. Primero de manera externa, como son directorios y archivos y posteriormente de manera interna, la correspondencia entre los diferentes bloques: clases, relaciones, dependencias, funciones e interfaces. Con este fin, se hace el análisis uno a uno de estos elementos, para conocer de manera detallada su operación.

Es así que se observa que la aplicación consiste de una solución, integrada por siete proyectos (Figura 31).

Nº	Proyectos
1	Clases
2	Crisis.Geometry
3	Crisis.Graph
4	ERN.Complejos
7	ERN.CopiaProfunda
5	ERN.FileTypes
6	ERN.MiniGraph

Figura 31: Proyectos en la aplicación origen.

Cada una de estas categorías incluye la declaración y descripción de las clases de objetos que se indican en la Fig. 32.

Nº	Clases
1	Acelerograma
2	EspectroFourier
3	EspectroReal
4	Fork
5	FuncionesGenerales
6	Oscilador
7	Seisan

Nº	ERN.CopiaProfunda
1	CopiaProfunda

Nº	ERN.FileTypes
1	ClaseBIL
2	claseRegion
3	ClaseShape
4	Enumeraciones
5	GridHeader
6	GridHeaderV2
7	modGRN
8	modGRNV2
9	modTopo
10	ObjectSubdivision

Nº	Crisis.Geometry
1	bastriangulos2004
2	Geometria

Nº	Crisis.Graph
1	Graficas
2	VentanaAcel

Nº	ERN.Complejos
1	Complex

Nº	ERN.MiniGraph
1	Curva
2	Malla
3	MiniGRAPH

Fig. 32: Clases que integran cada proyecto.

En total, la aplicación está integrada por siete proyectos, siete archivos de clases conteniendo 26 descripciones de objetos, y otros archivos adicionales: 47 clases adicionales, funciones, tipos de datos y fragmentos de código aislado que hacen un total de 128 directorios y 708 archivos. Empleando la herramienta “*Generador de diagrama de dependencias*” de Visual Studio 2010 (VS10), se creó una imagen con la representación gráfica de los componentes en la solución. Cuando esta gráfica pasar a su versión impresa reduce su tamaño de manera considerable, por lo que se ha optado por dividirla en varias secciones contiguas, que en conjunto forman la imagen completa. El objetivo es mostrar visualmente la interacción de los componentes (ver figuras 33a hasta 33e). En cada imagen se incluye la tabla de simbología para mejor comprensión.

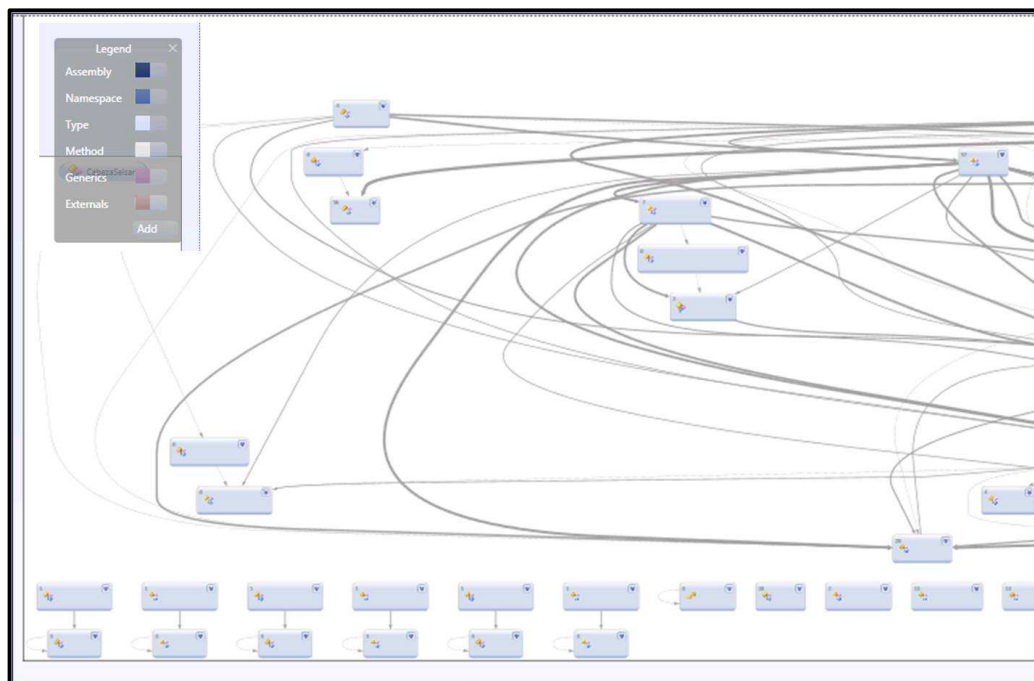


Figura 33a: Diagrama de dependencias de la aplicación (primera sección)

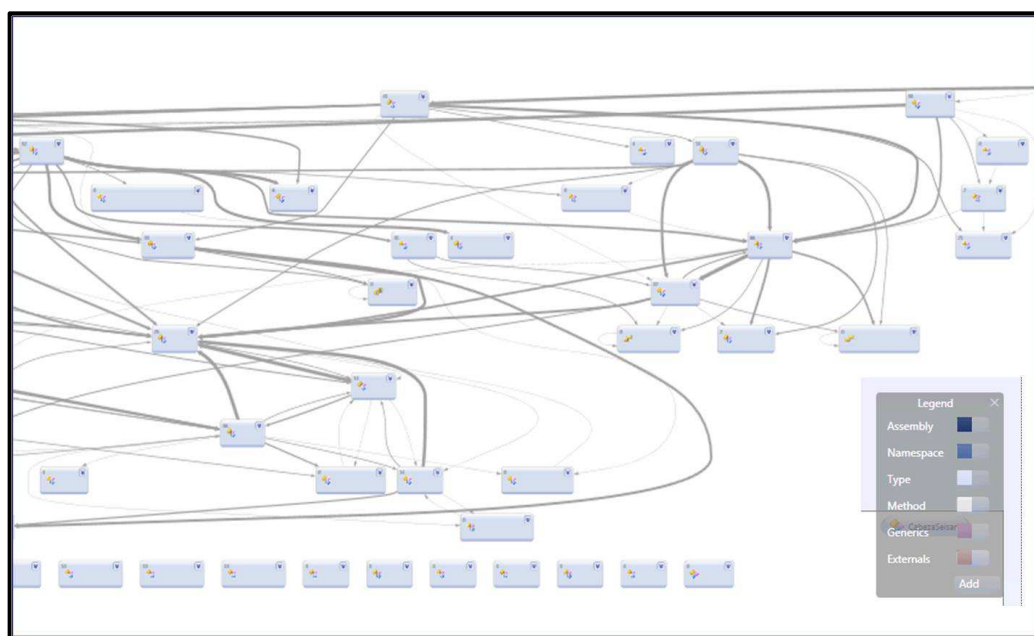


Figura 33b: Diagrama de dependencias de la aplicación (segunda sección)

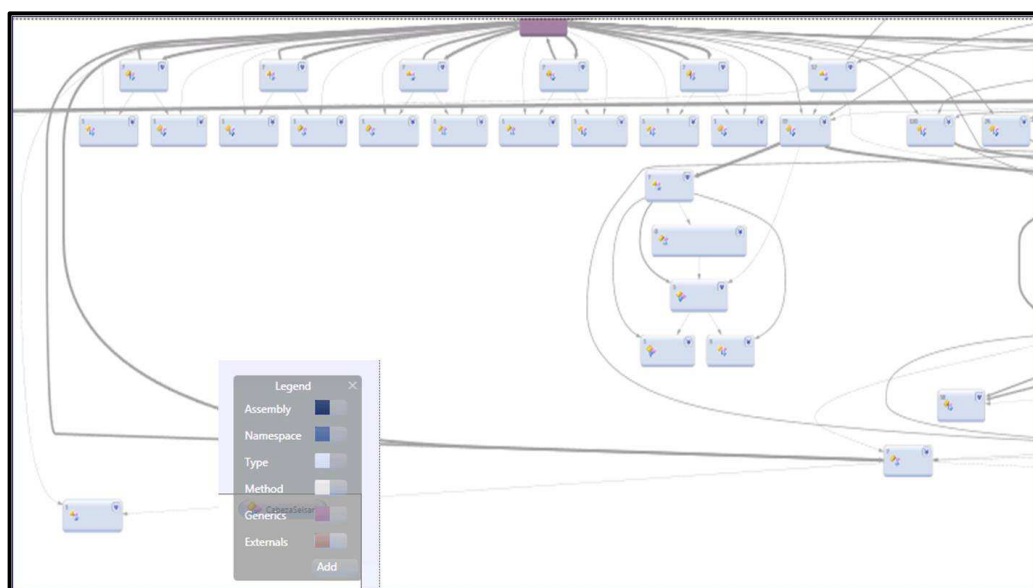


Figura 33c: Diagrama de dependencias de la aplicación (tercera sección)

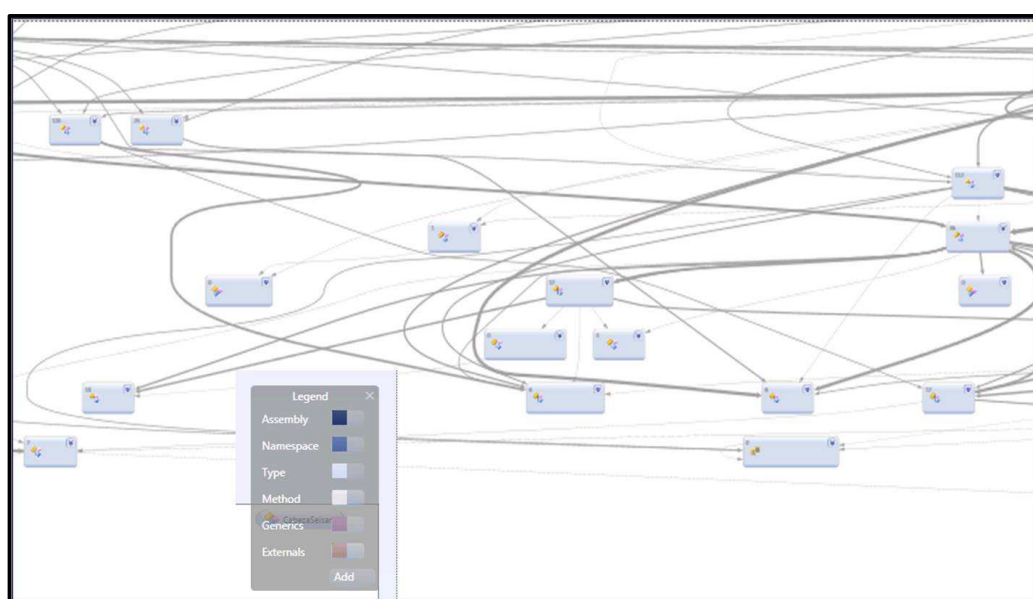


Figura 33d: Diagrama de dependencias de la aplicación (cuarta sección)

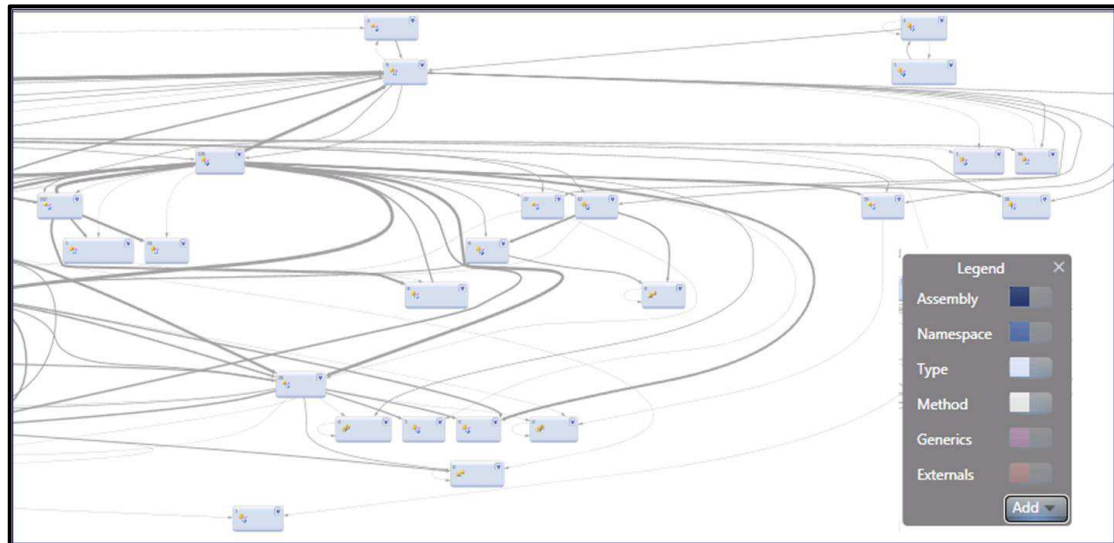


Figura 33e: Diagrama de dependencias de la aplicación (quinta sección)

Por la forma en la que las líneas se cruzan y forman ciclos, se observa la existencia de redundancias innecesarias. Entre las principales causas de esta ocurrencia están: la declaración múltiple de clases en diferentes secciones de la solución; la inclusión repetida de un mismo archivo, la declaración redundante de clases, funciones o variables.

Posteriormente se hizo la revisión de los componentes de cada clase; mediante el uso de la herramienta “*Ver Diagramas de Clases*” del explorador de solución en VS10 (Ver figuras 34 a 58). En estas se puede notar la simbología empleada para diferenciar los distintos componentes: clases, campos, propiedades, métodos y eventos. Esta tarea se efectuó para clases, módulos, estructuras y enumeraciones.

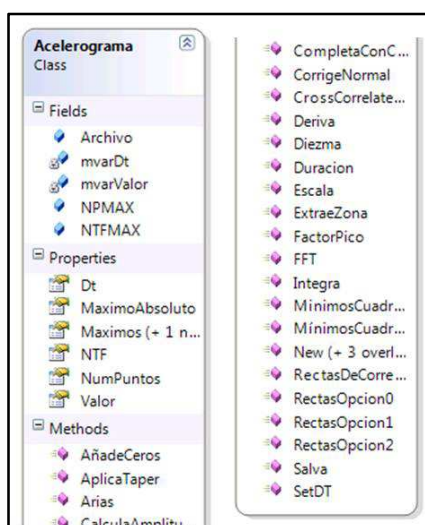


Figura 34: Diagrama de la clase Acelerograma

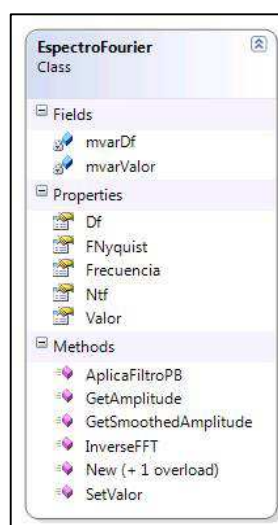


Figura 35: Diagrama de la clase EspectroFourier

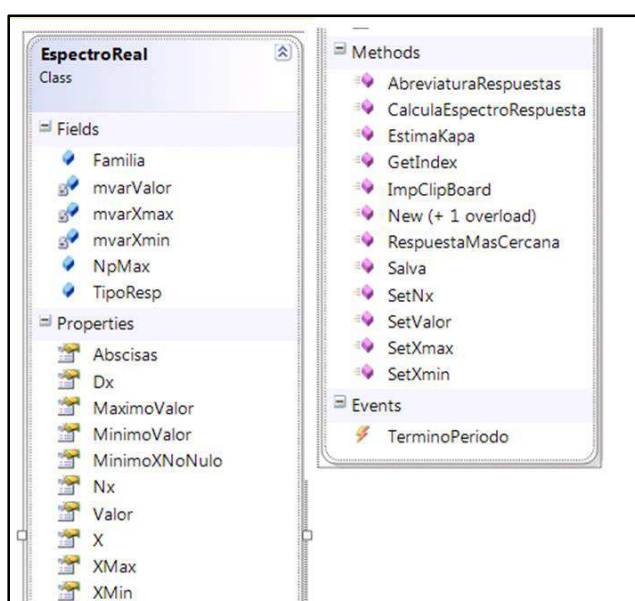


Figura 36: Diagrama de la clase Espectro Real

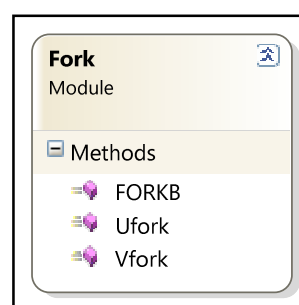


Figura 37: Diagrama de la clase Fork

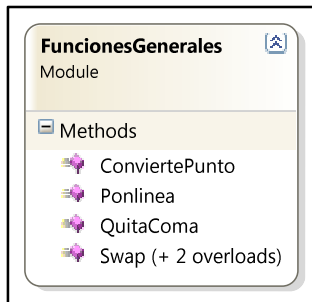


Figura 38: Diagrama de la clase FuncionesGenerales

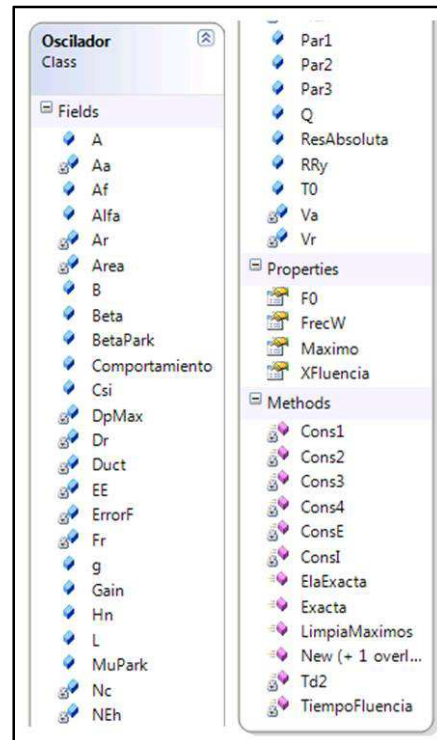


Figura 39: Diagrama de la clase Oscilador

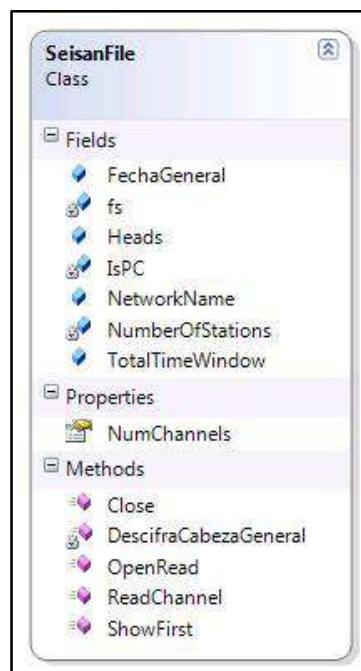


Figura 40: Diagrama de la clase Seisan



Figura 41: Diagrama de la clase BasFuentes

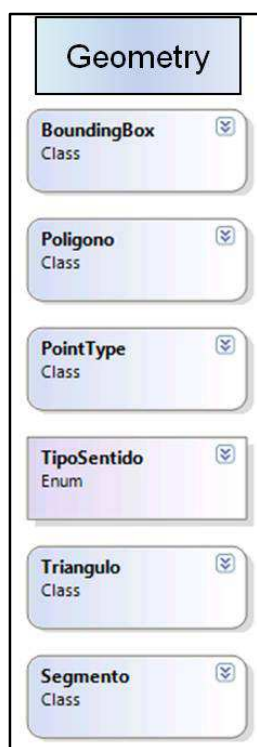


Figura 42: Diagrama de la clase Geometry

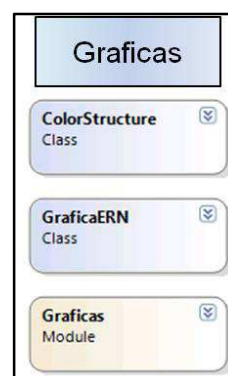


Figura 43: Diagrama de la clase Graficas



Figura 44: Diagrama de la clase VentanaAcel



Figura 45: Diagrama de la clase CopiaProfunda

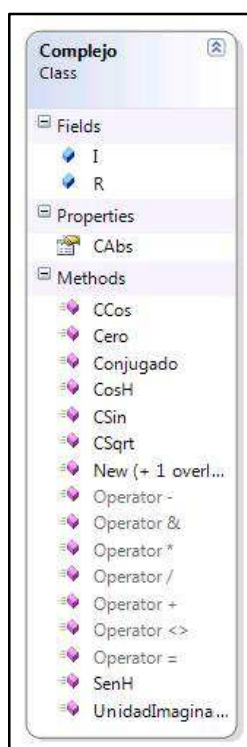


Figura 46: Diagrama de la clase Complejo

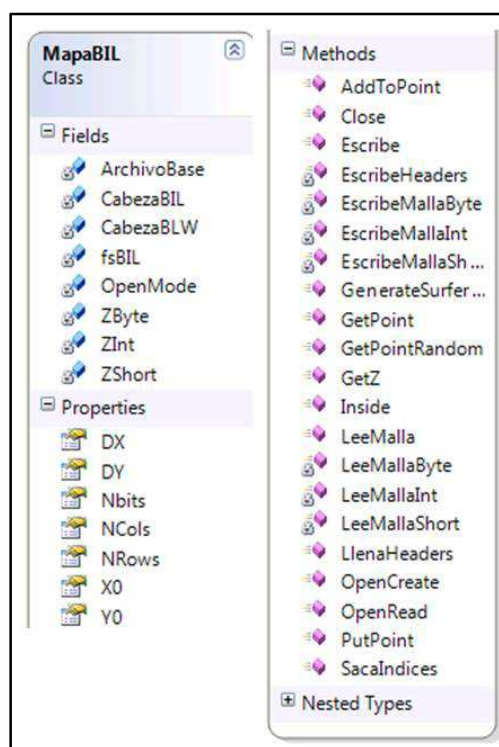


Figura 47: Diagrama de la clase MapaBIL

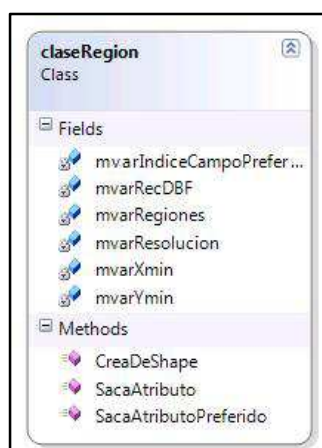


Figura 48: Diagrama de la clase ClaseRegion

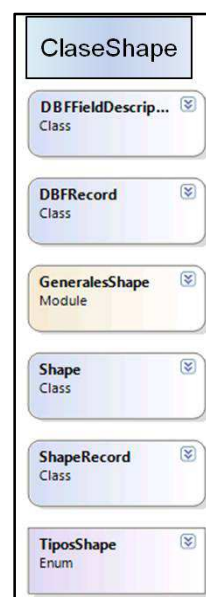


Figura 49: Diagrama de la clase ClaseShape



Figura 50: Diagrama de la clase Enumeraciones

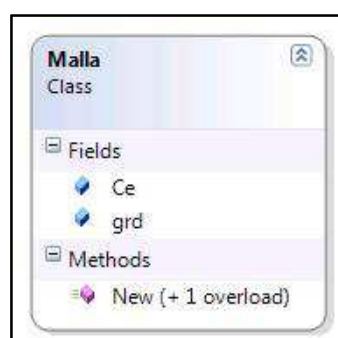


Figura 52: Diagrama de la clase Malla

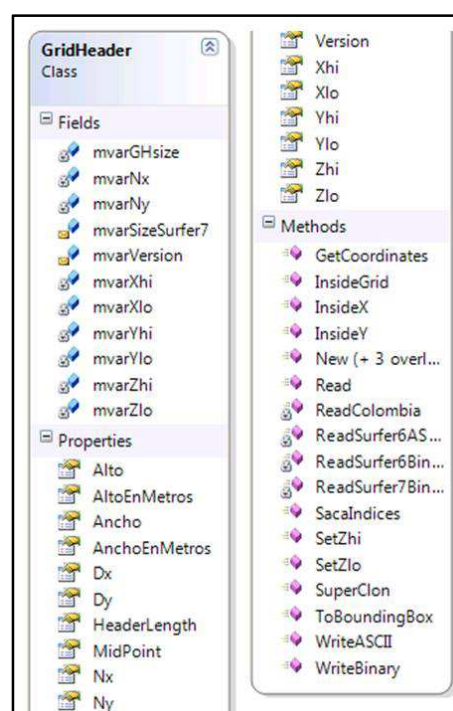


Figura 51: Diagrama de la clase GridHeader

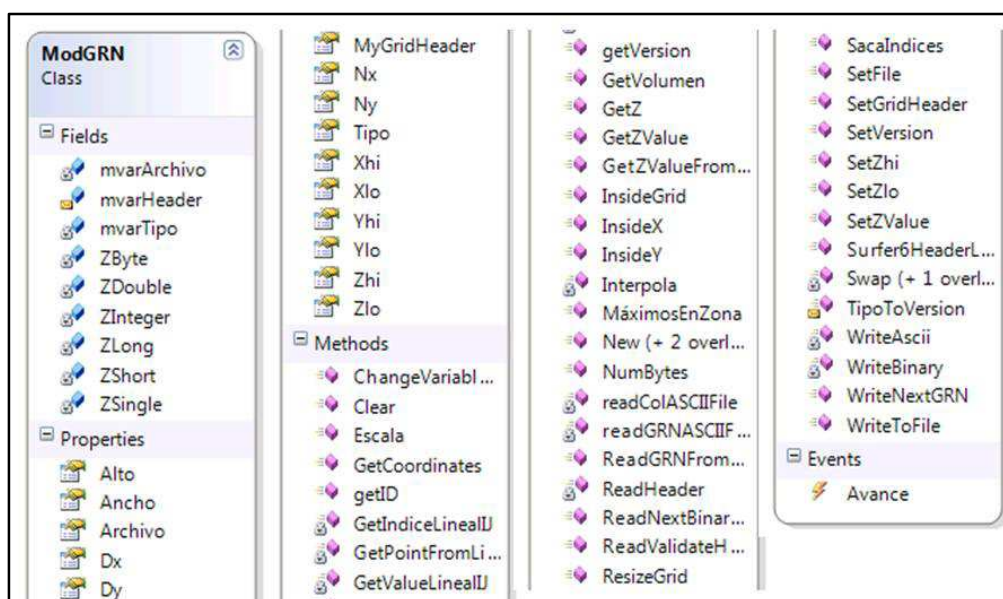


Figura 53: Diagrama de la clase ModGRN

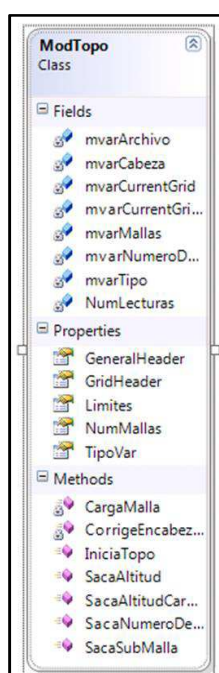


Figura 54:
Diagrama de la
clase ModTopo

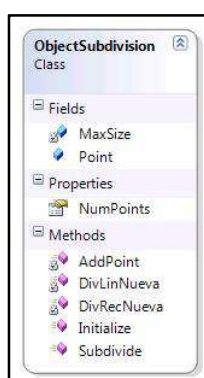


Figura 55:
Diagrama de la
clase
ObjectSubdivision

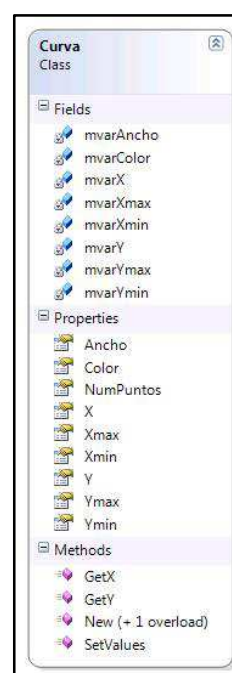


Figura 56:
Diagrama de
la clase Curva

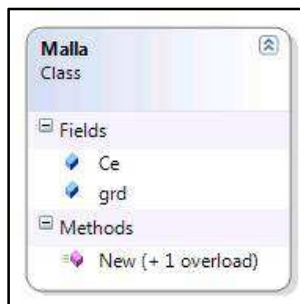


Figura 57: Diagrama de la clase Malla

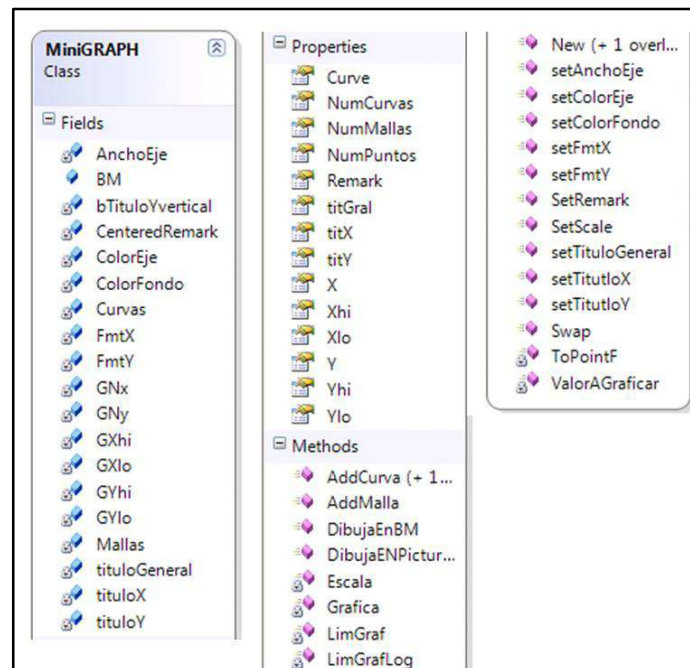


Figura 58: Diagrama de la clase MiniGraph

4.1.2 Diagramas UML.

Con la finalidad de agilizar el conocimiento de la estructura del sistema, se utilizó el software *Altova UModel* en su versión de prueba (Altova, 2013) para obtener los diagramas UML de los componentes de la aplicación.

No se incluirán aquí el total de esos diagramas, porque son numerosos y al pasar de su versión digital a la impresa, la visualización es poco nítida pues tantos elementos en un área reducida son ilegibles. Se presentan solo aquellos que describen la estructura central de la aplicación (Fig. 59). Los colores permiten determinar el tipo de elemento del que se trata: morado para clases, rosa para enumeraciones y amarillo para espacios de nombres. Es necesario mencionar que tanto el *Altova UModel* como el visor de diagramas de clases de *VS10*, son herramientas interactivas que permiten hacer selección de componentes deseados, eliminar de la vista los que no son de interés y otras funciones como la de acercar o alejar imagen, para facilitar la lectura de los elementos en el despliegue.

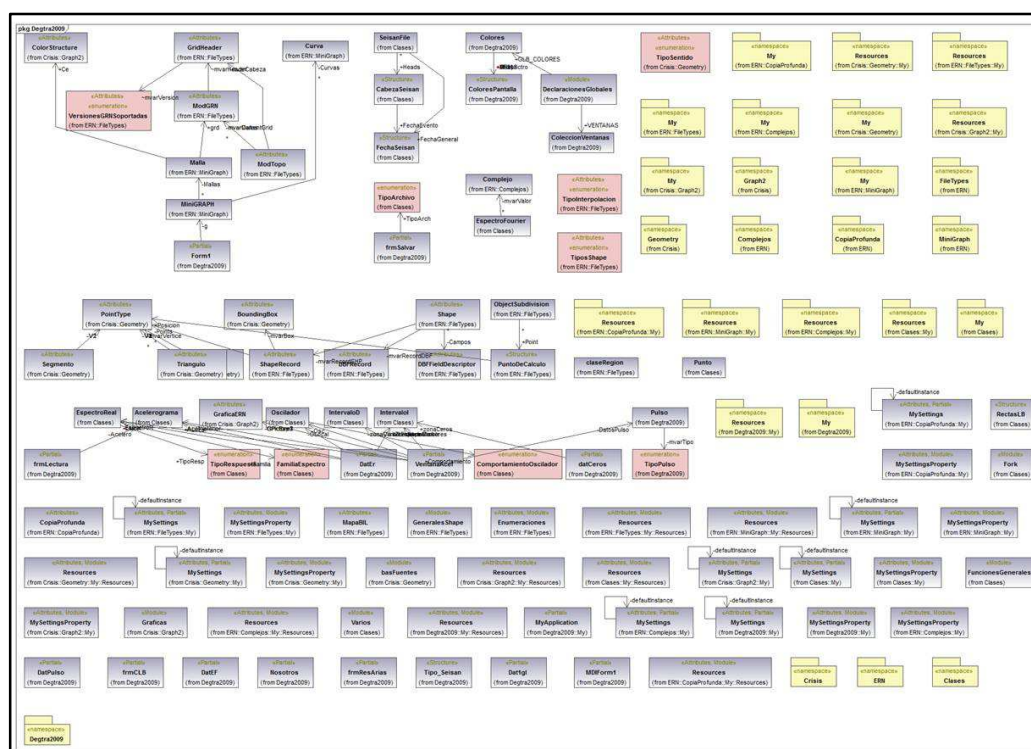


Figura 59: Diagrama UML de la aplicación y sus subpaquetes.

A continuación se presentan en las figuras 66 a 68 los diagramas UML de las clases base en la solución.

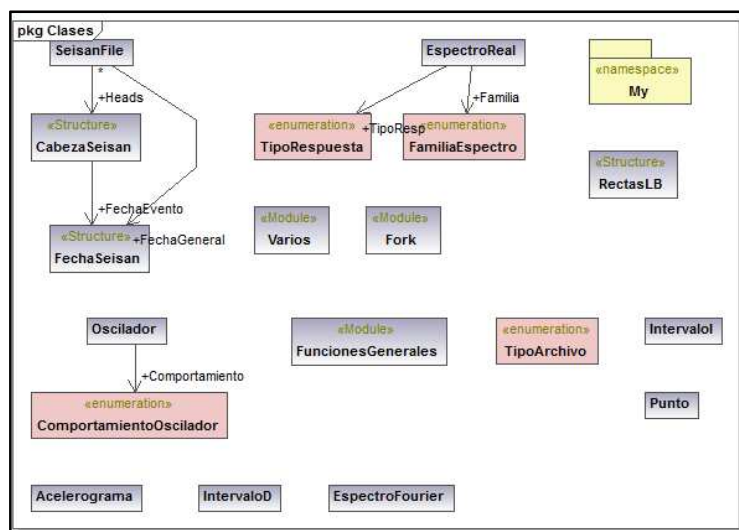


Figura 60: Diagrama UML de CLASES

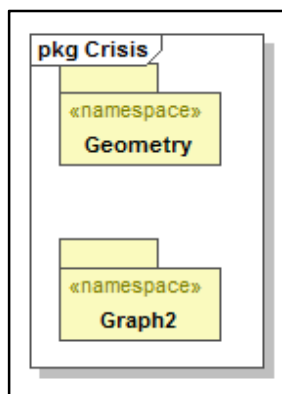


Figura 61: Diagrama UML de CRISIS

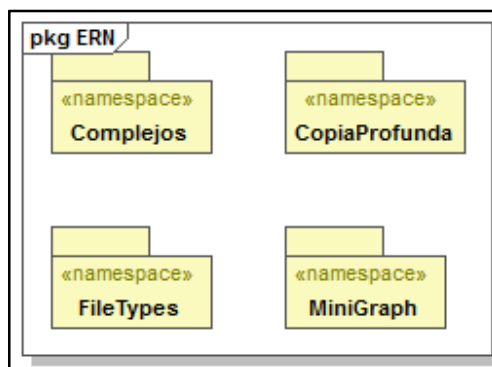


Figura 62: Diagrama UML de ERN

La dependencia jerárquica entre los diferentes elementos de la aplicación original (Fig. 69), se presenta en dos secciones (figuras 69a y 69b) con la finalidad de facilitar la lectura de sus etiquetas.

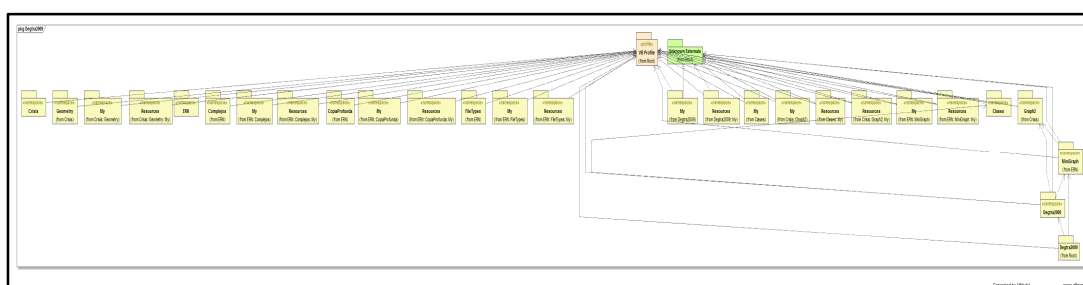


Figura 63a: Dependencia jerárquica entre componentes de la aplicación

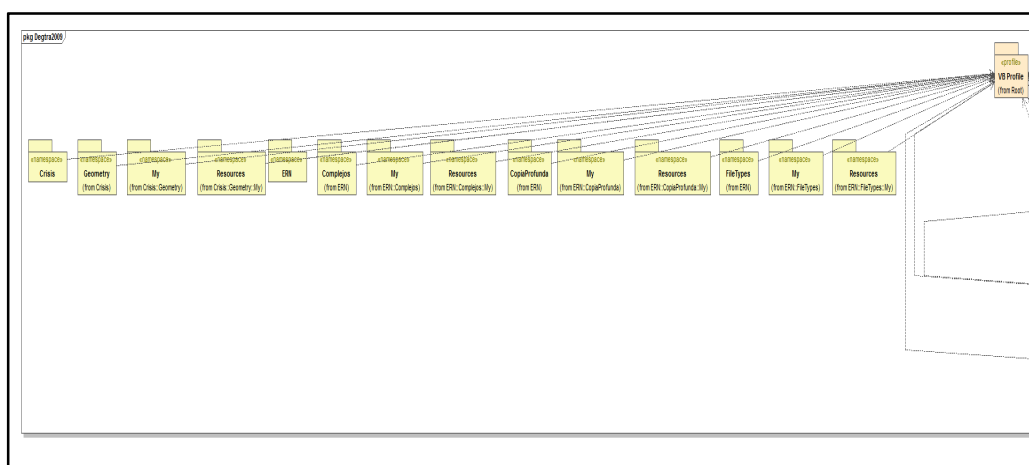


Figura 63b: Conjunto de dependencias de la aplicación (Izquierda)

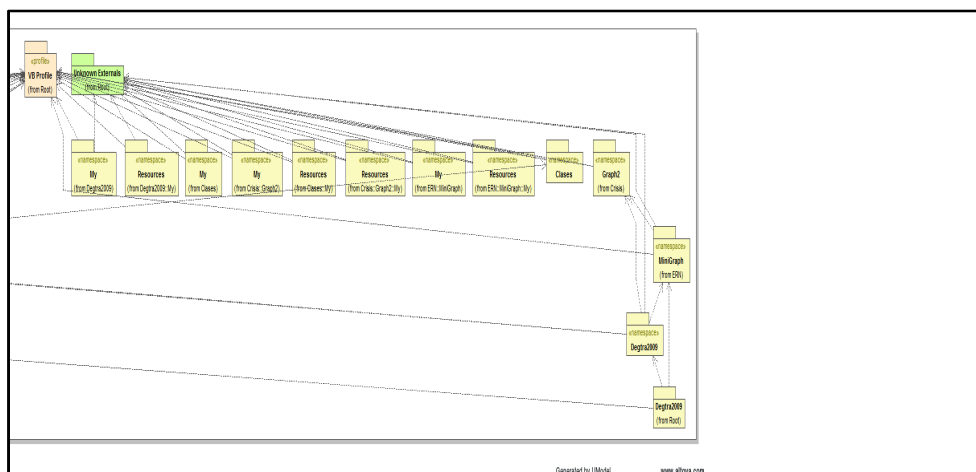


Figura 63c: Conjunto de dependencias de la aplicación (Derecha)

4.2 Diseño.

A solicitud del Dr. Mario Ordaz se realizó la programación en VS debido a que muchas aplicaciones creadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM emplean este lenguaje; esto favorece la reutilización de código y la integración a futuro de diversos programas en un solo sistema. Por lo anterior se mantuvieron los estilos de formularios, ventanas, menús textuales, así como de la barra de iconos (Fig. 64). Se conservó también la combinación de colores, tipos de letra e iconos correspondientes a algunas funciones de la aplicación precedente (Ordaz y Montoya, (2004).

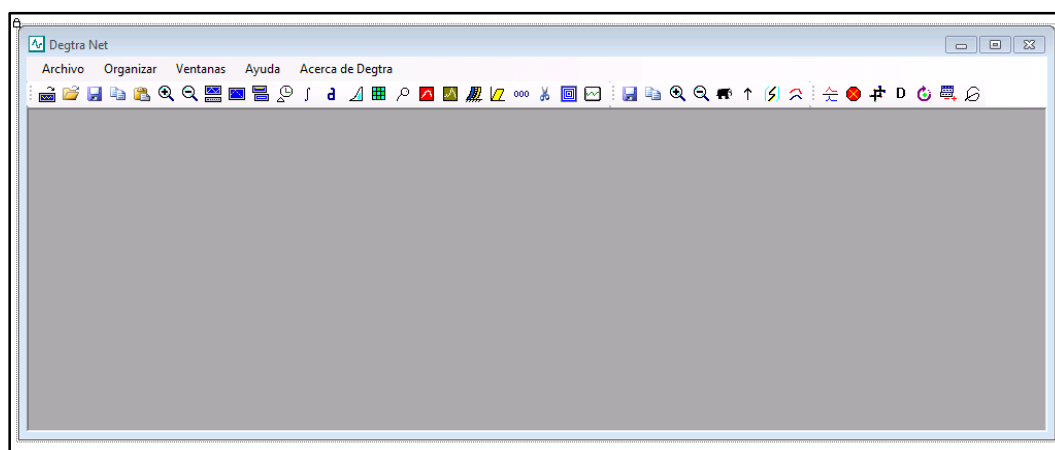


Figura 64: Interfaz inicial de la aplicación

La barra de tareas agrupa diferentes procesos y para cada opción de la misma, existe un menú desplegable desde donde se hace el llamado a las

funciones respectivas. A continuación se muestran cada uno de éstos (Ver figuras 71 a 73).

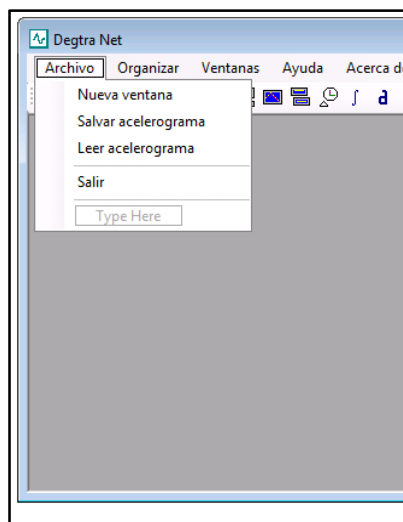


Figura 65: Interfaz del menú ARCHIVO

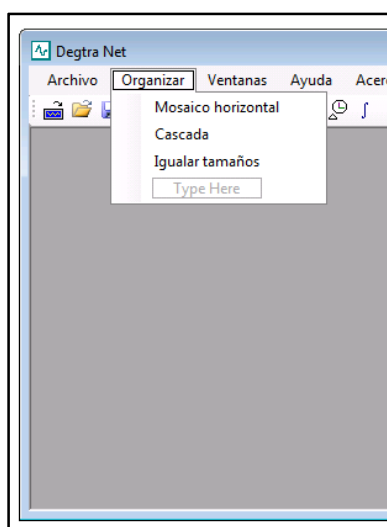


Figura 66: Interfaz del menú ORGANIZAR

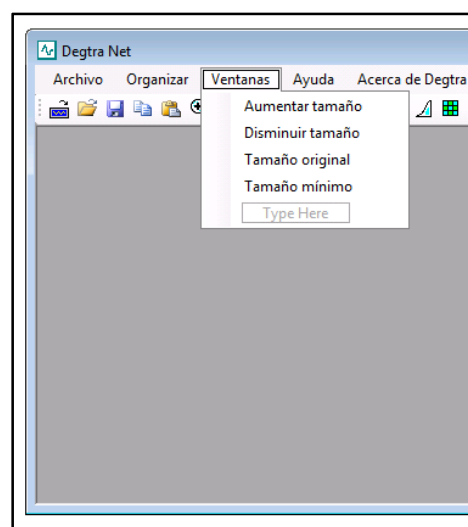


Figura 67: Interfaz del menú VENTANAS

Los menús correspondientes a AYUDA y ACERCA DE están vacíos, por lo cual no se incluyeron sus imágenes, pues se continúa trabajando en las mismas. Las funciones cuyos iconos se incluyen en la barra de herramientas se mencionan en la tabla (28).

Tabla 28: Descripción de funciones en barra de herramientas.

Icono	Comando	Icono	Comando
Funciones Generales		Funciones con Espectro	
	Crea una nueva ventana		Guardar
	Leer		Copiar
	Guardar		Acercar
	Copiar		Alejar
	Pegar		Estimación Kappa
	Acercar		Máximo valor espectral
	Alejar		Cálculo de Energía
	Escalar		Generación Multispectro
	Diezmar	Funciones Binarias	
	Línea Base		Función de transferencia
	Intervalo de tiempo		Correlación
	Integrar		Coherencia
	Diferenciar		Deconvolución
	Arias		Rotar
	Filtrar		Suma/resta
	Resp. c/1 grado de libertad		Odograma
	Fourier		Numerador
	Espectro de respuesta (ER)		Denominador
	ER continuo		
	ER inelástico		
	Añadir ceros		
	Cortar		
	Propagación en 1D		
	Cálculo de Pulsos		

4.3 Desarrollo.

Después de revisar con detalle los componentes de la aplicación, se procedió a corregir uno a uno los errores detectados en el análisis, entre los que se incluyen:

- Eliminación de redundancia.
 - Por múltiples definiciones de una clase o sus componentes.
 - Debido a la repetición de procesos o clases.
 - Por sobrecarga de funciones no utilizadas.
- Aplicación de nomenclatura de objetos.
 - Para el uso de la convención para nombramiento en objetos.
 - Uso de estándares de mnemotecnía de los objetos.
- Eliminación de errores causados por:
 - Mala sintaxis.
 - Omisión de declaraciones.
 - Inclusión de caracteres no autorizados.
 - Por mala declaración de tipos o funciones.

- Dependencias inexistentes o mal definidas.
- Redundancia en llamadas a funciones y procesos.

Así mismo, se realizaron otras actividades como:

- Eliminación de archivos, variables, funciones y procesos no utilizados o declarados repetidamente.
- Eliminación de métodos y formularios no empleados.
- Depuración y en su caso, eliminación de comentarios innecesarios.
- Eliminación de código en lenguaje Fortran y su adaptación a Lenguaje VB .NET.
- Transformación del código que incluía ciclos con etiquetas GOTO, para su eliminación.
- Inclusión de comentarios pertinentes y de clases adicionales necesarias.
- Generación de sobrecarga de algunos operadores.
- Integración de clases, módulos y métodos aislados.

4.3.1 Diagramas de clases.

Posteriormente se genera nuevamente la gráfica de dependencias en VS10 (Fig. 68) que se obtiene como resultado de efectuar las actividades descritas en el punto anterior, y se puede notar que se ha eliminado la redundancia.



Figura 68: Gráfica de Dependencias de la solución corregida.

A continuación se muestran cada uno de los diagramas de clases de la aplicación resultante (figuras 69 a 101).

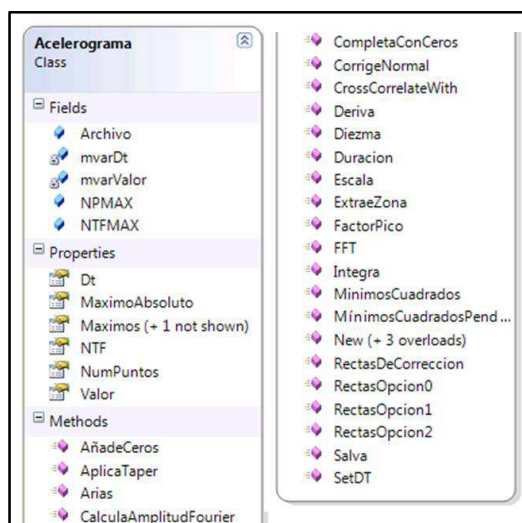


Figura 69: Diagrama de la clase Acelerograma

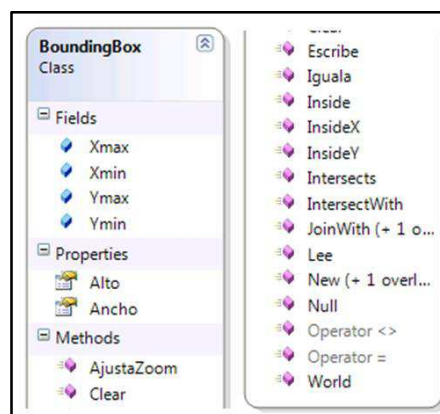


Figura 70: Diagrama de la clase BoundingBox

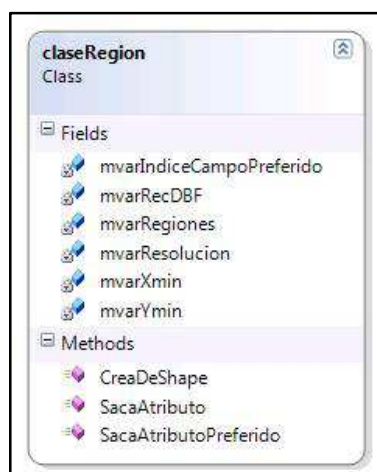


Figura 71: Diagrama de la clase claseRegion

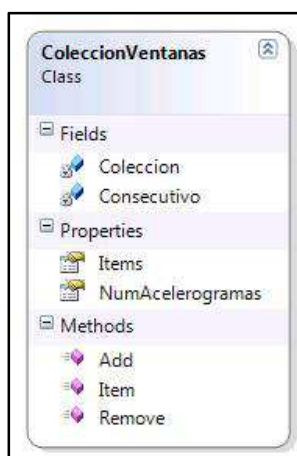


Figura 72: Diagrama de la clase ColeccionVentanas

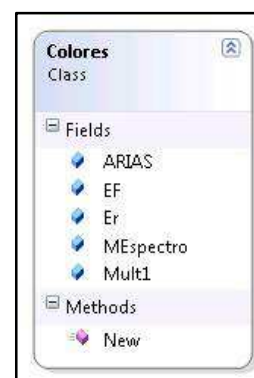


Figura 73: Diagrama de la clase Colores

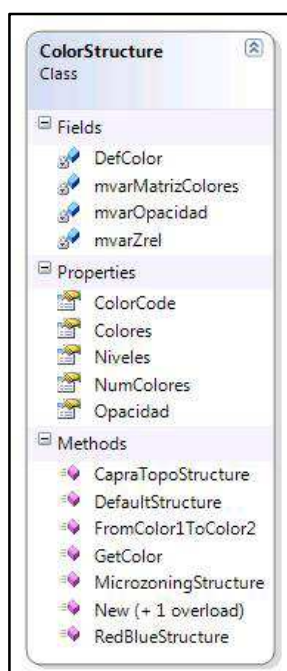


Figura 74: Diagrama de la clase ColorStructure

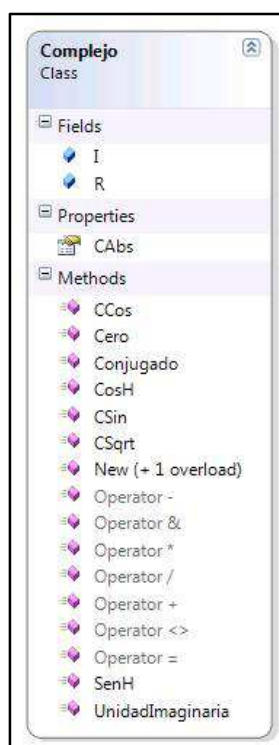


Figura 75: Diagrama de la clase Complejo



Figura 76: Diagrama de la clase CopiaProfunda



Figura 77: Diagrama de la clase Curva

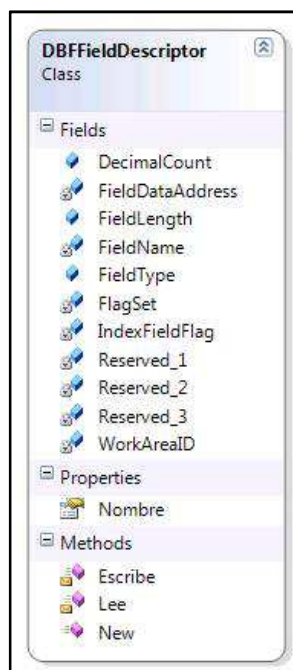


Figura 78: Diagrama de la clase DBFFieldDescriptor

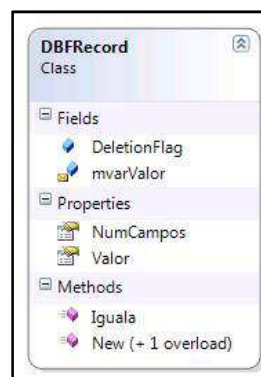


Figura 79: Diagrama de la clase DBFRecord

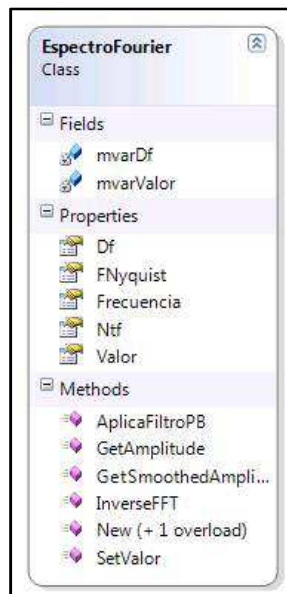


Figura 80: Diagrama de la clase EspectroFourier

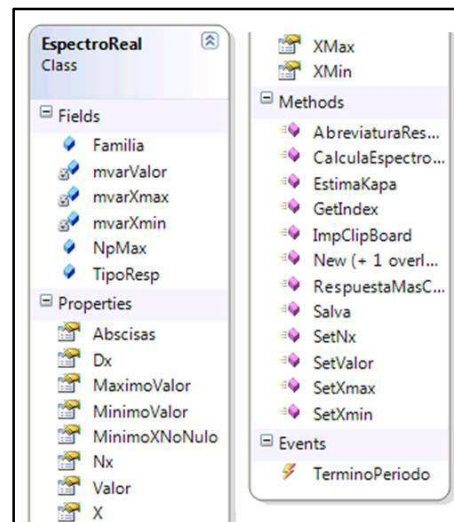


Figura 81: Diagrama de la clase EspectroReal

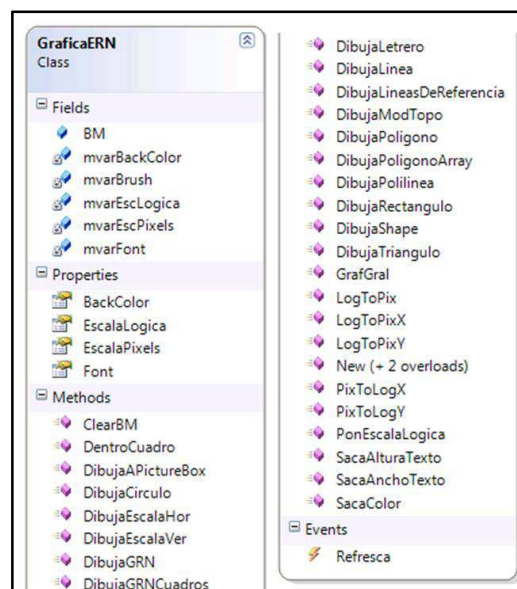


Figura 82: Diagrama de la clase GraficaERN

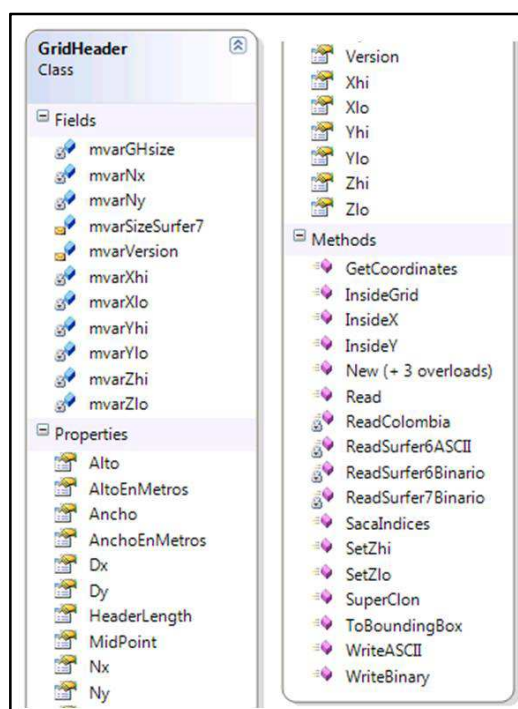


Figura 83: Diagrama de la clase GridHeader

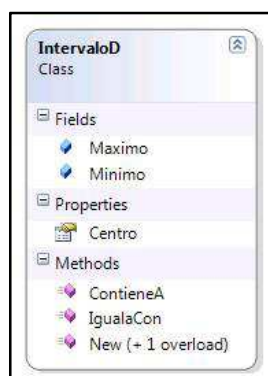


Figura 84: Diagrama de la clase IntervaloD

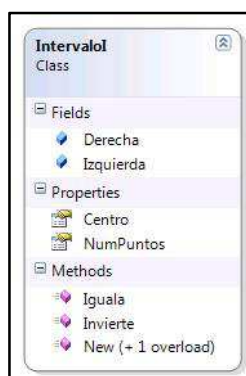


Figura 85: Diagrama de la clase IntervaloI

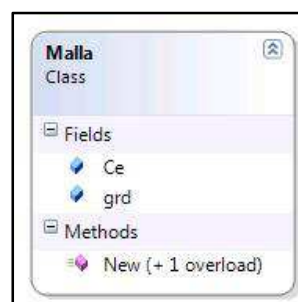


Figura 86: Diagrama de la clase Malla

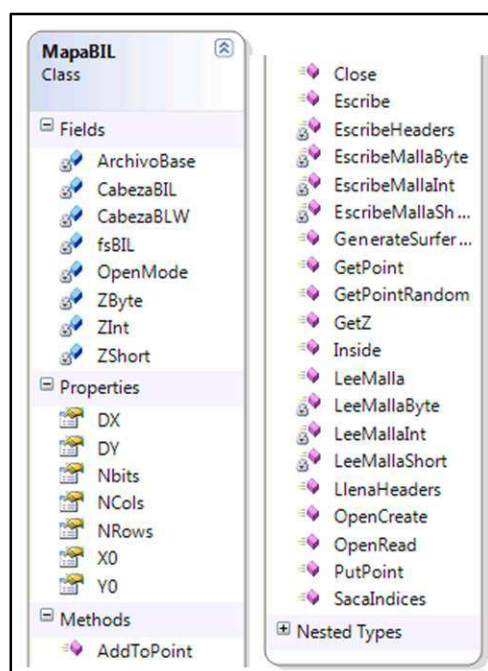


Figura 87: Diagrama de la clase MapaBIL

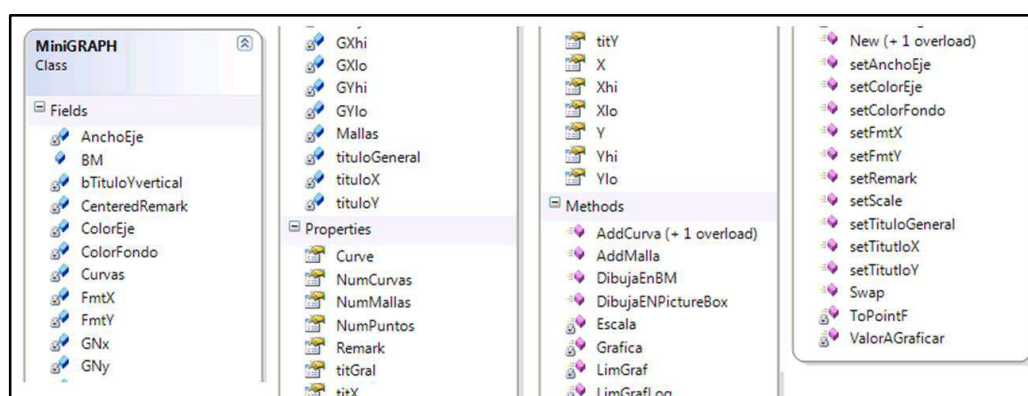


Figura 88 Diagrama de la clase MiniGRAPH

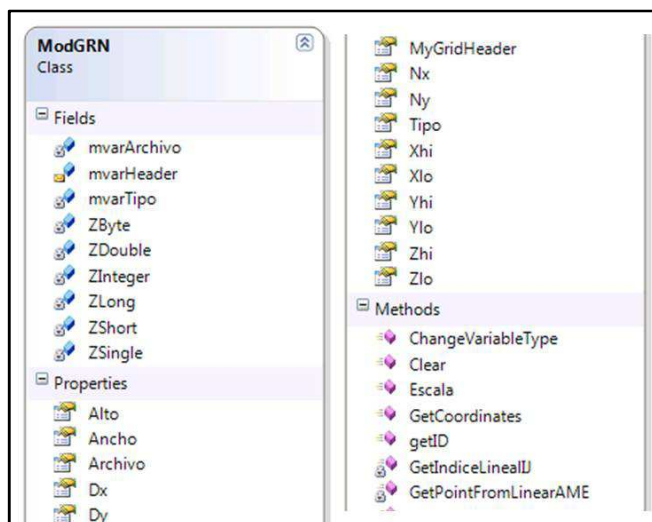


Figura 89 Diagrama de la clase ModGRN

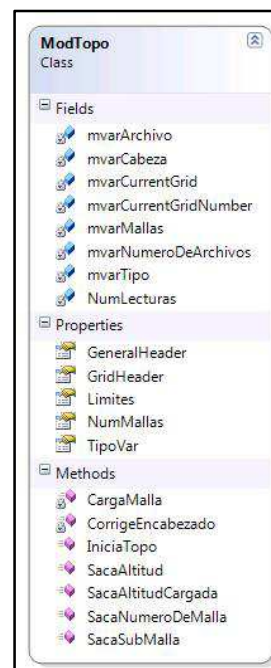


Figura 90 Diagrama de la clase ModTopo

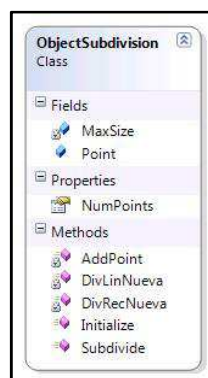


Figura 91 Diagrama de la clase ObjectSubdivision

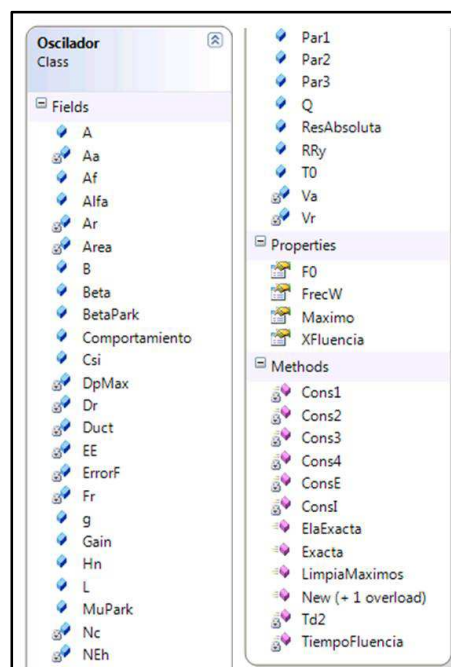


Figura 92 Diagrama de la clase Oscilador

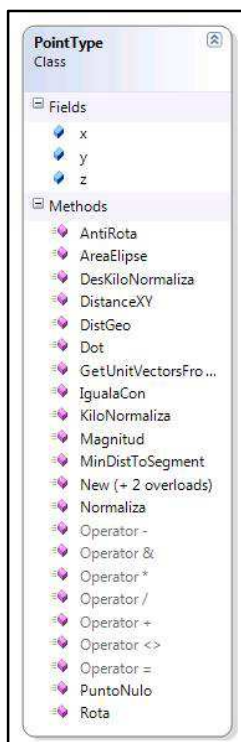


Figura 93: Diagrama de la clase PointType

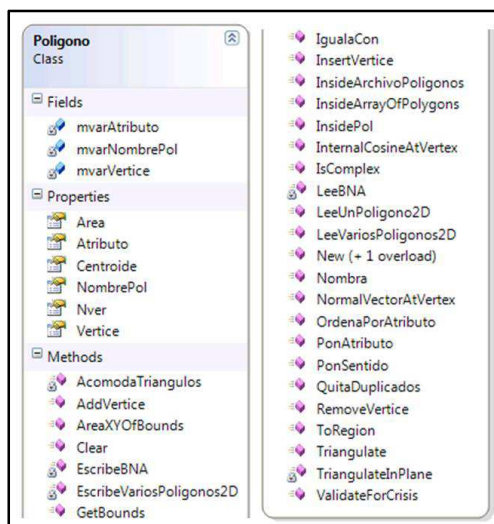


Figura 94: Diagrama de la clase Poligono

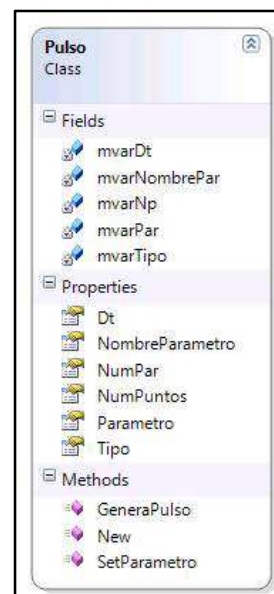


Figura 95: Diagrama de la clase Pulso

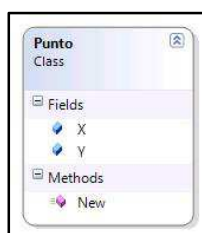


Figura 96: Diagrama de la clase Punto

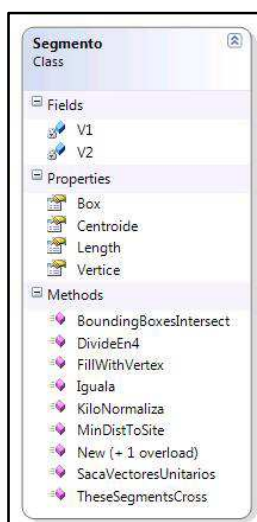


Figura 97: Diagrama de la clase Segmento

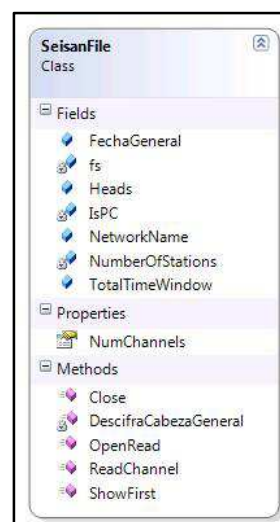


Figura 98: Diagrama de la clase SeisanFile

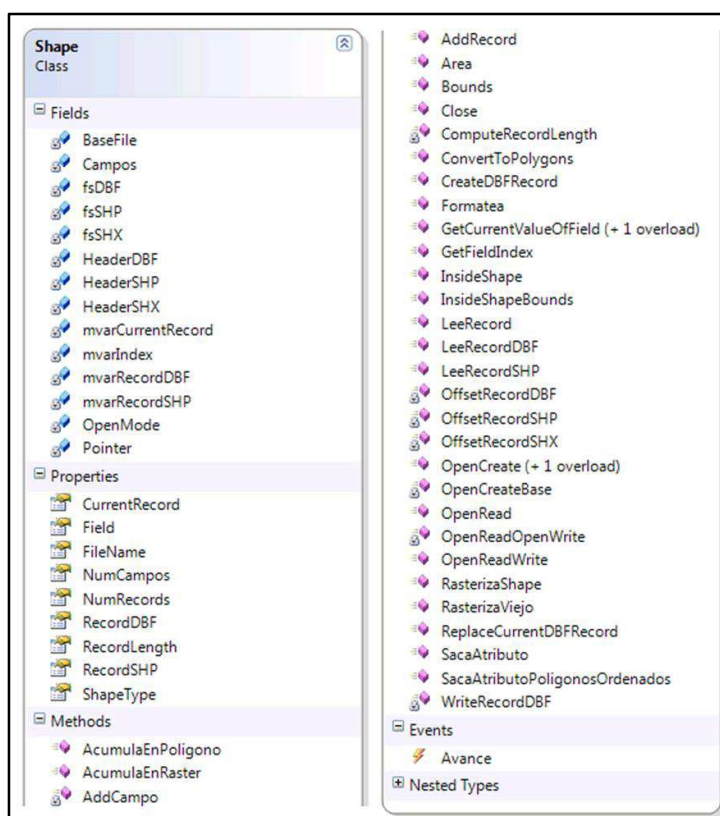


Figura 99: Diagrama de la clase Shape

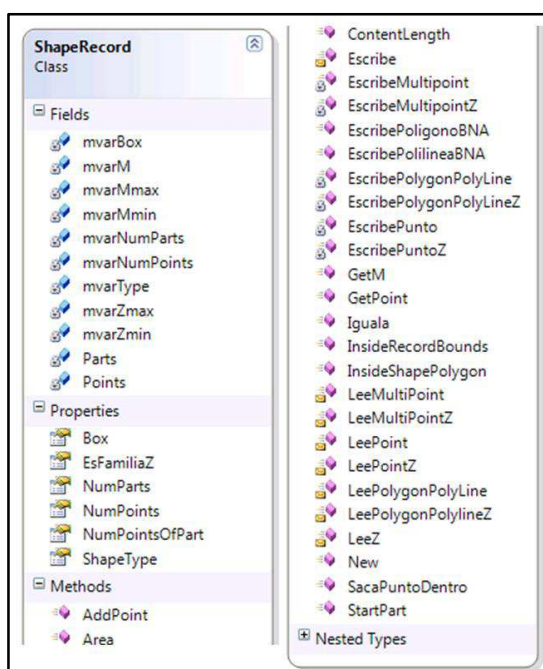


Figura 100: Diagrama de la clase ShapeRecord

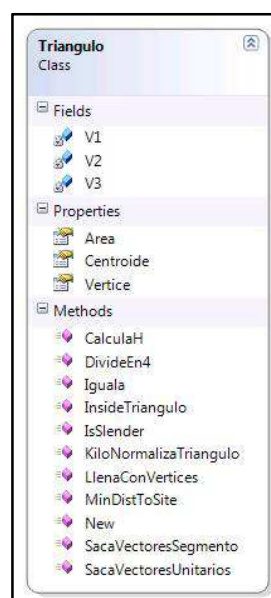


Figura 101: Diagrama de la clase Triangulo

A continuación se presentan los diferentes módulos que integran la aplicación (Figuras 102 a 109).

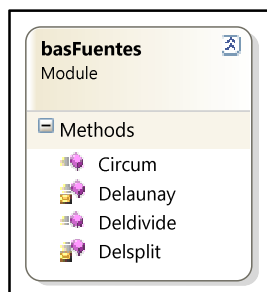


Figura 102: Diagrama del módulo basFuentes



Figura 103: Diagrama del módulo DeclaracionesGlobales

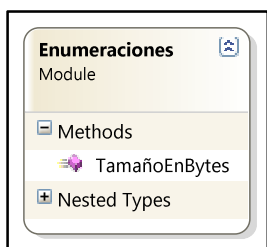


Figura 104: Diagrama del módulo Enumeraciones

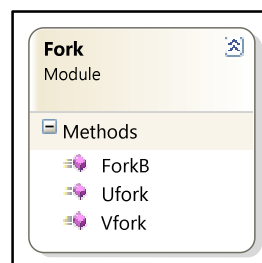


Figura 105: Diagrama del módulo Fork

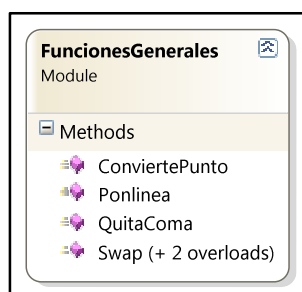


Figura 106: Diagrama del módulo FuncionesGenerales

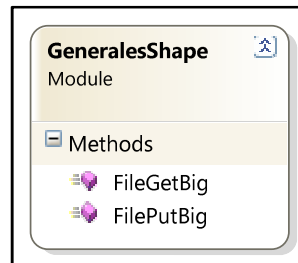


Figura 107: Diagrama del módulo GeneralShape

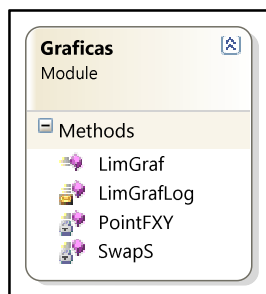


Figura 108: Diagrama del módulo Gráficas

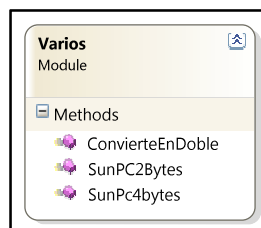


Figura 109: Diagrama del módulo Varios

De la misma forma, se muestran ahora las estructuras que se emplean en diferentes secciones (Figuras 110 a 115).

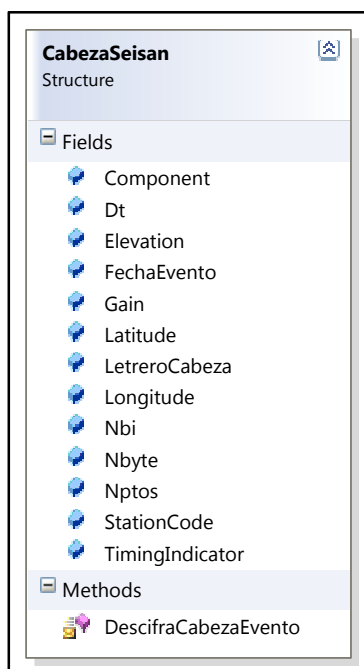


Figura 110: Diagrama de la estructura CabezaSeisan

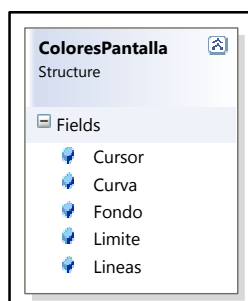


Figura 111: Diagrama de la estructura ColoresPantalla

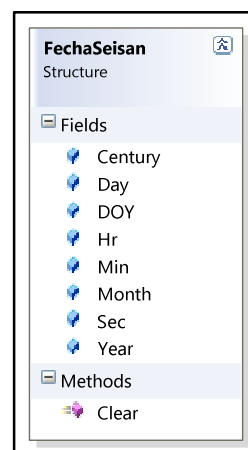


Figura 112: Diagrama de la estructura FechaSeisan

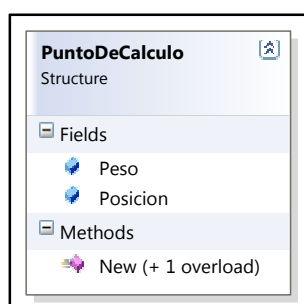


Figura 113: Diagrama de la estructura PuntoDeCalculo

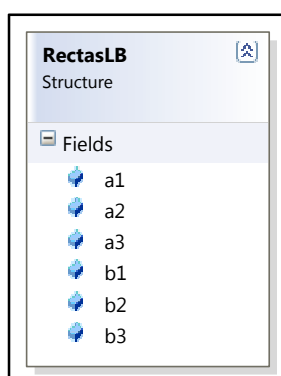


Figura 114: Diagrama de la estructura RectasLB

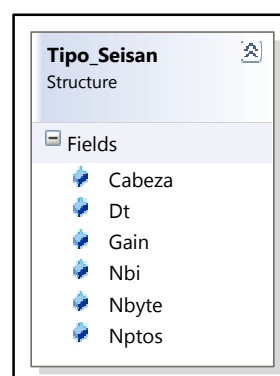


Figura 115: Diagrama de la estructura Tipo_Seisan

Finalmente, las enumeraciones que se manejan dentro de la aplicación son (Figuras 116 a 124):



Figura 116: Diagrama de la Enumeración ComportamientoOscilador



Figura 117: Diagrama de la Enumeración FamiliaEspectro

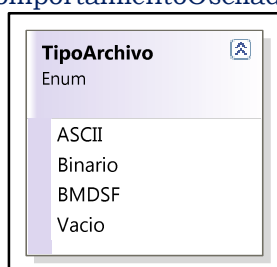


Figura 118: Diagrama de la Enumeración TipoArchivo

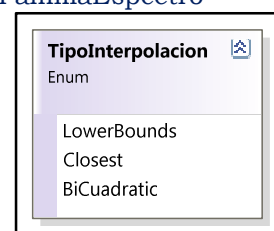


Figura 119: Diagrama de la Enumeración TipoInterpolacion

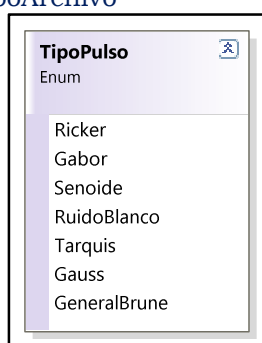


Figura 120: Diagrama de la Enumeración TipoPulso

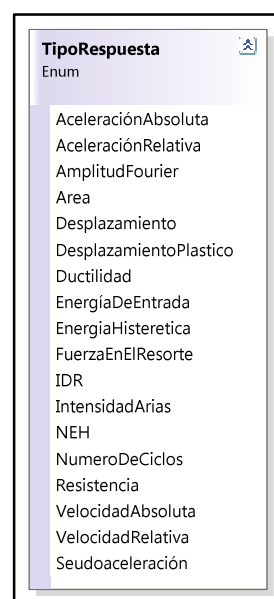


Figura 121: Diagrama de la Enumeración TipoRespuesta

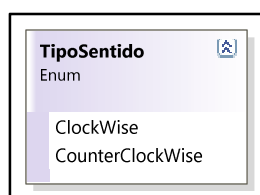


Figura 122: Diagrama de la Enumeración TipoSentido

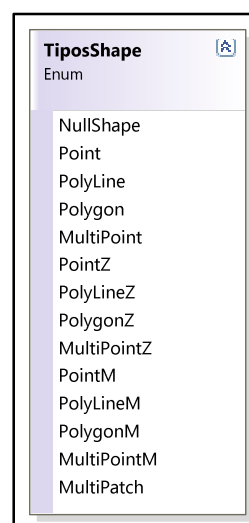


Figura 123: Diagrama de la Enumeración TiposShape



Figura 124: Diagrama de la Enumeración VersionesGRNSoportadas

De esta manera, la aplicación quedó conformada por el siguiente conjunto de clases, módulos, estructuras, enumeraciones y formularios (Figuras 125 a 129):



Figura 125: Conjunto de clases de la aplicación.

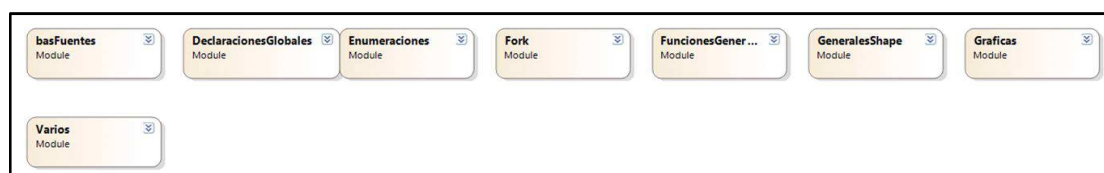


Figura 126: Conjunto de Módulos de la aplicación.



Figura 127: Conjunto de estructuras de la aplicación.



Figura 128: Conjunto de Enumeraciones de la aplicación.

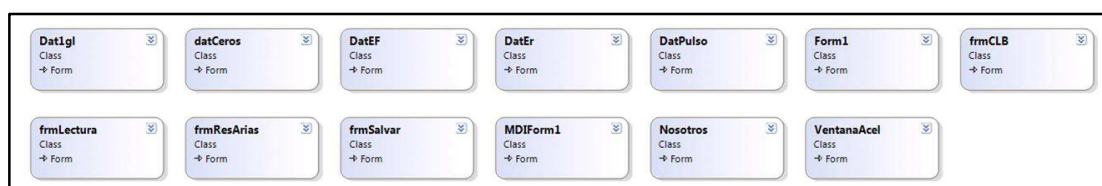


Figura 129: Conjunto de Formularios en la aplicación.

4.3.2 Diccionario de datos.

Posterior a la codificación se elaboró el diccionario de datos, documento que permite conocer con detalle cada componente en el sistema, donde se incluye la descripción y características individuales para poder dar seguimiento y mantenimiento cuando se requiera.

En las figuras 130a y 130b, se ofrece la descripción correspondiente a la clase “Acelerograma”, como ejemplo del trabajo efectuado en el resto de los elementos, los cuales no se incluyen en este documento debido a su extensión; serán manejado como un anexo aparte.

Archivo Acelerograma				
Descripción Funciones para el manejo de Acelerogramas				
Clase ACCELEROGRAMA				
Datos	Nombre	Parametros	Tipo	Descripción
	NTFMAX		corto	Numero Total F Máximo
	NPMAX		entero	Numero de puntos máximo
	mvarDt		doble	Intervalo de muestreo
	mvarValor		doble	Arreglo de puntos
	Archivo		cadena	Nombre de archivo
Metodos	Nombre	Parametros	Tipo	Descripción
	New	()	sub	Crea una nueva instancia de la clase
	New	(entero, doble)	sub	Crea una nueva instancia de la clase inicializando con los valores especificados en la lista de parametros
	New	(acelerograma)	sub	Crea una nueva instancia de la clase inicializando con los valores especificados en la lista de parametros
	New	(arreglo de dobles, doble)	sub	Crea una nueva instancia de la clase inicializando con los valores especificados en la lista de parametros
	Region <Operaciones Unitarias>			
	AgregaCeros	(IntervaloI)	sub	Almacena ceros a la izquierda, seguidos de los puntos y luego ceros a la derecha
	CorrigeNormal	()	sub	Resta al arreglo mvarValor el promedio de los puntos del arreglo
	Deriva	(IntervaloI)	sub	A cada punto del arreglo mvarValor se le resta el punto anterior y se divide entre mvarDt
	Diezma	(entero)	sub	Se modifica el contenido del arreglo de puntos, eliminando algunos de acuerdo a un factor

Figura 130a: Diccionario de datos: Acelerograma

	Nombre	Parámetros	Tipo	Descripción
Escala		(doble)	sub	Se multiplican todos los elementos del arreglo de puntos por un factor
Integra		(IntervaloI)	sub	Se suma cada punto del arreglo con el siguiente, se divide entre dos y se genera una suma total que se asigna al valor de la derecha
Salva		(cadena, IntervaloI, Tipo)	public sub	Almacena los puntos en un archivo en el modo que se haya seleccionado
SetDT		(Doble)	sub	Asigna el valor definido a mvarDt
Region <Funciones>				
AplicaTaper		(IntervaloI, Doble)	Acelerograma	Aplica una función matemática a un factor que modifica a una sección de los puntos
Arias		(IntervaloI, Doble, Inter)	EspectroReal	Se calcula la intensidad de Arias en un espectro real
FFT()			EspectroFouzier	Calcula la Transformada de Fourier de un acelerograma y completa con ceros
CalculaAmplitudFouzier		(IntervaloI, Doble, Doble)	EspectroReal	Calcula la amplitud de Fouzier en una zona del acelerograma
CompletaConCeros		()	Acelerograma	Completa con ceros el acelerograma en el intervalo que no tiene puntos registrados
Duracion		(Doble, Doble)	IntervaloI	Calcula los límites inferior y superior
Extrae Zona		(IntervaloI)	Acelerograma	Extrae la cantidad de puntos indicada
FactorPico		()	Doble	Efectúa ciertas operaciones en los puntos para obtener un factor
Region <Corrección de Línea Base>				
MínimosCuadrados		(Entero, Entero, Doble,)	sub	Calcula los mínimos cuadrados en un intervalo de puntos
MínimosCuadradosPendiente		(Entero, Entero, Doble,)	Doble	Obtiene la recta de los mínimos cuadrados en un intervalo de puntos
RectasDeCorrección		(Entero, IntervaloI, Inter)	RectasLE	Llama a una de tres funciones correspondientes para corrección
RectasOpcion0		(IntervaloI, IntervaloI)	RectasLE	Se efectúa el tipo de corrección cero en las tres rectas
RectasOpcion1		(IntervaloI, IntervaloI)	RectasLE	Se efectúa el tipo de corrección uno en las tres rectas
RectasOpcion2		(IntervaloI, IntervaloI)	RectasLE	Se efectúa el tipo de corrección dos en las tres rectas
Region <Operaciones con otros acelerogramas>				
CrossCorrelateWith		(Acelerograma)	Acelerograma	Calcula el Espectro de Fourier de dos acelerogramas, modifica los puntos con un factor complejo conjugado y
Propiedades				
Valor		(Entero)	Doble	Devuelve el valor indicado en el parámetro, del arreglo mvarValor
Dt		()	Doble	Devuelve mvarDt
MaximoAbsoluto		()	Doble	Devuelve el valor máximo de los límites de un IntervaloD
Maximos		(IntervaloI)	IntervaloD	Devuelve el valor mínimo y máximo de un IntervaloI
Maximos		()	IntervaloD	Devuelve el valor mínimo y máximo de un IntervaloD
NTF		()	Entero	Calcula un valor potencia de dos que sea el próximo mayor al número máximo de puntos en el acelerograma
NumPuntos		()	Entero	Devuelve el tamaño del arreglo mvarValor
Otros				
Enum TipoArchivo				Define un valor para acceso a un archivo
ASCII = 1				
Binario = 2				
BMDSF = 3				
Vacio = 0				
Structure RectasLE				
a1, a2, a3, b1, b2, b3			Doble	Corresponden a los puntos que definen a dos rectas

Figura 130b: Diccionario de datos: Acelerograma

5.- DISCUSION Y CONCLUSIONES

5.1 Discusión.

Los resultados del análisis de las aplicaciones disponibles muestran que la mayoría se crearon con la finalidad de atender los requerimientos específicos de una institución; se puede notar que las aplicaciones más antiguas solo son capaces de efectuar una o dos tareas específicas. Aquellas desarrolladas antes del año 2000, son programas individuales aislados; las más actuales son sistemas mucho más complejos constituidos de manera integral por múltiples funciones.

Por otro lado, aun cuando diversos países sufren actividad sísmica en su territorio, no significa que las características físicas de sus terrenos sean similares. Eso conlleva a diferencias sustantivas en la forma de efectuar cálculos y la forma de aplicar los resultados obtenidos. De ahí la necesidad de que los países que adoptan software extranjero, deban adaptar tanto sus parámetros de entrada como los resultados que obtienen, a sus circunstancias particulares y específicas.

Así mismo, exceptuando los sistemas de software comerciales, -de los cuales se desconocen los detalles de su desarrollo-, los demás programas bajo estudio tienen en común el hecho de no seguir alguna metodología de ingeniería de software. Esto se debe en parte, a que las personas que participan en su desarrollo son del área de ingeniería sísmica, con habilidades avanzadas en lenguajes de programación y no involucran a personal especializado en ingeniería de software.

De igual modo, es bien sabido que para los países en vías de desarrollo es difícil la obtención de recursos financieros que apoyen la investigación científica nacional, esto deja como una alternativa viable el desarrollo de software propio que permita cubrir los requerimientos y además libere de restricciones técnicas o legales adicionales. Esto motivo a un grupo de investigadores de ingeniería sísmica a buscar el apoyo y colaboración de especialistas en el área de cómputo, para que sus requerimientos de cómputo fueran resueltos no solo atendiendo aspectos matemáticos de su conocimiento, sino también respetando los lineamientos de la ingeniería de software, para que las aplicaciones puedan ser permanentemente supervisadas, corregidas y mejoradas.

El diseño del sistema aquí planteado fue creado con un conjunto de herramientas legalmente disponibles, que favorecen la compatibilidad con otras aplicaciones que también se encuentran actualmente en desarrollo en esa institución. Esta versión de la aplicación es la primera que incluye la colaboración directa de la ingeniería de software y pretende extenderse al resto de las aplicaciones que ahí se generen.

5.2 Conclusiones.

A la luz de lo anteriormente expuesto, se presentan las siguientes conclusiones:

- ▀ Se hizo un análisis exhaustivo de 22 aplicaciones de software disponibles en México para el procesamiento de señales sísmicas, creadas en el periodo 1970-2011 cuyo uso se extiende a América Latina principalmente. Se revisaron las características de cada una de esas aplicaciones, describiendo sus funciones principales, así como sus antecedentes históricos y técnicos, que sirven como base para la creación de nuevo software.
- ▀ Se puede afirmar que los parámetros básicos a considerar en la selección de una aplicación de software incluyen: su capacidad para trabajar en los equipos y sistemas operativos actuales; las funciones que realizan y que están fuertemente relacionadas con su costo y finalmente el país que ofrece el software, pues esto conlleva la consideración de aspectos legales para su uso.
- ▀ Como resultado se observa que México tiene una participación mínima en este mercado, con una sola aplicación de software: Degtra. Fue creada en 2004 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y ha sido empleada en América Latina y otros países como España e India.
- ▀ De ahí que se haya efectuado el estudio detallado de la aplicación Degtra, analizando sus componentes, funciones y datos de entrada/salida involucrados en su funcionamiento. De esta manera se pudieron detectar algunos errores y deficiencias, pero también se hace notar que posee múltiples ventajas que han logrado mantenerla como una herramienta de uso común y actual en el área de investigación sísmica.
- ▀ Partiendo de las fortalezas encontradas y aplicando los lineamientos de la Ingeniería de Software para la generación de software, se ha diseñado una aplicación que explote el potencial de

procesamiento en los equipos de cómputo actuales en México, predominantemente de computadoras personales con sistema operativo Windows.

5.3 Trabajo futuro.

A continuación se presentan algunas actividades de investigación concebidas en los últimos años, y que pueden lograrse a partir de los resultados obtenidos con esta investigación.

- ▶ Concluir el proceso de implementación de la aplicación para poder concretar las etapas de Verificación y Validación de Software e Implantación.
- ▶ Incorporar las funciones de procesamiento masivo de acelerogramas de acuerdo a los parámetros definidos por el usuario y lectura directa de datos en equipos digitales.
- ▶ Integrar otros programas que actualmente se encuentran en desarrollo en otras áreas de la ingeniería sísmica como alerta sísmica remota y control de riesgo sísmico, para formar un sistema de cómputo mayor.
- ▶ Continuar el desarrollo de aplicaciones para la ingeniería sísmica, como parte de la línea de investigación en el cuerpo académico: “Comportamiento de Suelos y Vulnerabilidad Estructural”, perteneciente al Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana.

5.4. Productos académicos.

1. PUBLICADO.
Zamora-Hernández Abigail, González-López Gloria Inés, González-Navarro Félix Fernando and Ordaz-Schroeder Mario (2013). Earth Sciences Research Journal. “*Software engineering’s contribution to earthquake engineering*”. Vol. 17, No. 1, 13-16 pp.
2. EN COLA DE EDICION.
Zamora, A., Ordaz-Schroeder, M., González-López, G., González-Navarro, F. (2013). Geología Colombiana. “*Desarrollo de sistemas de cómputo para el procesamiento de sismos: un reto a superar.*”

EARTH SCIENCES RESEARCH JOURNAL		 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDES BOGOTÁ FACULTAD DE CIENCIAS DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS RESEARCH JOURNAL IN GEOLOGY	
Earth Sci. Res. SJ, Vol. 17, No. 1 (June, 2013): 13 - 16			
SEISMOLOGY			
Software engineering's contribution to earthquake engineering			
Zamora-Hernández Abigail ¹ , González-López Gloria Inés ² , González-Naveiro Nila Fernando ³ and Ordaz-Schneider Mario ⁴			
¹ UABC, Email: amazzah@uabc.mx			
² Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Email: gldl@uabc.mx			
³ UABC, Department of Computing and Information, Email: fernando.gonzalez@uabc.edu.mx			
⁴ Universidad Autónoma de México (UNAM), Seismic Engineering Area, Email: MCOrdaz@ingen.unam.mx			
ABSTRACT		Key words: seismic analysis software, seismic engineering, software engineering	
Earthquakes are natural disasters regularly affecting Mexico. It is very important that all information about them is quickly obtained to speed up attention being provided for the affected population and, if possible, applying preventative action. Computer and specialized software are currently used for obtaining essential knowledge concerning seismic events. 22 software applications for seismic analysis have been examined in this study to define predominant characteristics, strengths and limitations, to determine the current status of this particular field and suggest lines for the advance firmware development or prototypes. This country's existing technological dependency is clearly shown (hardware and software). Academic cooperation between different branches of engineering should thus be encouraged for creating new domestic products.			
RESUMEN		Palabras clave: Software de análisis sísmico, ingeniería sísmica, ingeniería de software	
México es un país generalmente afectado por terremotos. Es muy importante que toda la información acerca de este tipo de desastres naturales sea obtenida rápidamente para acelerar la atención y si es posible implementar acciones preventivas. A través de programas computacionales especializados se reúnen datos esenciales sobre eventos sísmicos. En total, en este estudio se examinaron 22 aplicaciones de software para análisis sísmico que permiten definir las características predominantes, sus fortalezas y limitaciones, al tiempo que se determina el estado actual del campo y se sugieren líneas de avance para nuevos desarrollos o prototipos. Además, se expone la dependencia del país en materia tecnológica (software y hardware). La cooperación académica entre diferentes ramas de la ingeniería podría entonces motivar la creación de nuevos productos domésticos.			
Introduction		2. Earthquakes in Mexico	
Earthquakes are natural disasters which have ravaged mankind throughout history, leading to recurrent destruction, displacement and death. This kind of event is referred to several times in the bible, for example in Psalms 114:6: "the mountains skipped like rams, the hills, like lambs," and in Apocalypses 11:13 can be read, "And at that hour there was made a great earthquake, and the tenth part of the city fell: and there were slain in the earthquake names of men seven thousand: and the rest were cast into a pit, and gate glory to the God of heaven." Entire cities have been razed and reduced to rubble because of the violent shaking of the ground. Considerable damage has been caused and many have been made victims because of tsunamis, storms, fires and conflagration resulting from an earthquake; these produce a severe impact on a country or region's economic activity and to civil life [4]. Scientific techniques and modern tools must be used in dealing with these problems.		Mexico is located on top of five tectonic layers whose relative movements produce some of the highest seismic and volcanic hazards in the world. Industrial cities are especially vulnerable (e.g. Tijuana, Toluca, Mexico and some others in Baja California) because they share similar hazards with Los Angeles and San Francisco cities in the USA [2]. Figure 1 shows that the main hazard is represented by earthquakes occurring along Pacific oceans. This was the where earthquakes are frequently produced, in addition to those having most intensity, so they represent a serious danger for coastal locations but also affect the Valley of Mexico (even although Mexico City is 200 km away from here), due to the conditions of the soil on which the city was built. Table 1 presents a historical extract of seismic data recorded, giving details about seismic events which have occurred in Mexico. This table concentrates information related to all earthquakes having a magnitude higher than 6 and where many have caused fatalities [5].	

Zawadzka-Henke, J. and Abigail, Gonzalez-Lopez, Gloria, Irig, Gonzalez-Narango, Félix, Roman-Lo and Carlos-Schneider, Mario

3. Studying earthquakes in Mexico

Using instruments for measuring earthquakes in Mexico began late in the nineteenth century when the Central Meteorological Observatory was set up. Later, on September 5th 1910, the National Seismological Service (NSS), an agency of National Geological Institute, was created and installed by presidential decree. Telegrapher operators provided data about earthquakes so that this could be published in monthly bulletins once a telegraphic network had been set up [8].

The NSS was created for providing easy information for authorities, means of communication and the general public concerning earthquakes occurring in Mexico for determining the main parameters, such as magnitude and epicentre. Such data is published in monthly catalogues enabling researchers to evaluate the country's seismic hazards and the creation of an extensive database [7].

The Seismic Observation Network covers the set of seismic recording instruments (seismographs and accelerographs) available in a particular area for analysing local or regional seismicity. The NES currently has a national network of modern seismographs; however, there are other local seismic networks operated by several institutions, such as the Valley of Mexico's Geophysical Institute's Network, the Autonomous University of Mexico's (UNAM) Engineering Institute's Teleseismic Information System, the Seismic Network of the Colima University (RESOR) and the Centre for Scientific Research and Higher Education's (CIESAS) North-western

Mexico Network, Baja California (CICEB), the Autonomous University of Puebla's (BUAP) Puebla city network, the Centre for Seismic Instrumentation and Registration (CIRES) and the National Centre for Disaster Prevention (CENAPRED) (5).

Damage to property and economic loss also increase in the event of an earthquake due to an increasing population, urbanisation and industrialisation, being closer to areas of high seismic risk and the increasing cost of real estate. This is why the origin of earthquakes and their patterns should be studied to provide better understanding of their effects and, whenever possible, reduce consequent damage and economic loss.

Earthquakes are studied by seismic engineering to mitigate the damage they produce by designing, constructing and managing earthquake-resistant structures. This is essential for knowing where and why earthquakes originate and the type of soil where they occur because this influences the amplification or reduction of ground motion intensity when determining a region's seismic hazard.

4. Software for earthquake study

According to statistics, 11,515 earthquakes occurred in Mexico between 1st January 2009 and May 3rd 2012. 2,182 of them occurred in 2009, 3,602 in 2010, 4,162 in 2011 and 1,769 each event occurred in 2012. It seems that value has increased but in fact what has increased is the ability to detect them [11]. This has resulted from more equipment gradually and



Figure 1: National regions and volcanic areas in Mexico [9]

Software engineering's contribution to earthquake engineering

continually becoming integrated into seismic monitoring different networks. Such increase in information has enabled understanding different soil types, their behaviour during earthquakes and the effects occurring in them, as well as how they affect the society living on top of them.

Not surprisingly, as in many other areas of human performance, computer equipment has been used as support for processing large volumes of data thereby enabling seismic event to be processed quickly and effectively for producing useful information. So that specific software can be used for earthquake analysis, functions must be able to do repetitive tasks quickly and resolve common problems for people managing such data.

The main computer applications for seismic data processing were examined, i.e. BAR, Dagers, Earthworm, Fuzzon, Geogig Microtremor, Hypo71, Invenet, Invis, Lora 1.0, Pasa, Pika, Preproc, Preproc, Sac, Seisan, Seismonsig, Seispace, Seisplot, Seisware, Sigview, STC, Zmap (Figure 2). The following characteristics were considered when analysing them: release date, country of origin, platform architecture and operating system, programming language used for developing them and, last but not least, their cost.

4.1 By release date

Figure 2 shows that the development of this kind of software began in 1971, advancing steadily throughout the 1990s as a consequence of the growth of processing power together with a reduction in the cost in computer equipment. After 20 years, production slowed due to the increasing complexity of user requirements, because complete systems were being demanded which had to incorporate new components such as sophisticated graphical interfaces, compatibility between different file systems and the inclusion of data in several media with their corresponding interfaces.

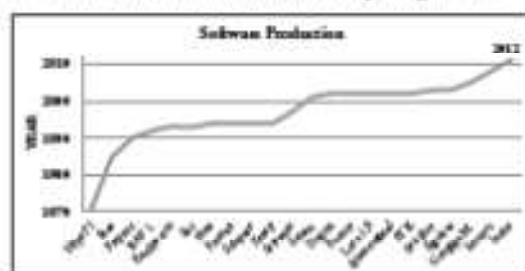


Figure 2: Years when applications for processing earthquake data were launched

4.2 By country of origin

Reviewing the countries producing the aforementioned software, they could be classified by continent or origin (i.e. America produced 14 and Europe 8), distributed as follows: Canada 3, USA 9 and Mexico and Peru one each. Germany produced 1, Spain 2 and France, Italy, Norway, the UK and Switzerland one each. A graphical representation of software production is presented in Figure 3.

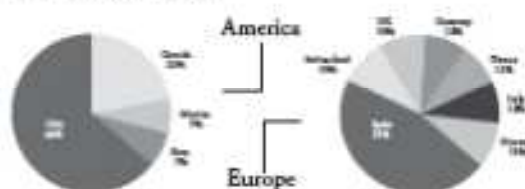


Figure 3: Countries in America and Europe producing seismic analysis software

4.3. By type of access

Some applications are free software, being extensively used in the academic institutions which created them; those which were created for commercial purposes obviously require a license to be able to use such software legally.

Information was requested from the companies which created them in the case of licensed software; some provided technical data and product prices, whereas others only provided information if there were real interest in acquiring a product (i.e. data could not be obtained).

Information obtained about licensed software is given below; it includes country of origin, name of product and cost in 2011:

Canada	Geogig Microtremor	\$ 490 USD
USA	Sigview	\$139 USD a single computer \$1,290 USD a suite
Italy	Seismonsig	60 €
Switzerland	Zmap Matlab	2,000 €

4.3. By type of code

Special mention should be made about open source applications which provide access to source codes so that users know details about their operation and can modify them according to their requirements.

Earthworm and STC do not require any monetary contribution whereas other open source ones do such as Preproc, Seispace and Seisplot.

Summarizing, many European countries develop software for seismic analysis but the US is the leader in this area in America because it has largest number of software applications. Latin America's low participation is also clear; only the Dagers application, developed by UNAM in 2002, is widely used in Mexico and some other countries [3].

4.3 By their platform

Table 2 presents the type of architectures that can be used by the software applications described above. It is clear that all the aforementioned applications considered personal computers because technological advances have increased their processing power, storage, portability and communications (obviously, encouraging more new users).

Table 2: Architectures for applications

Type of equipment	Total
VAX workstation	1
SGI workstation	2
SUN workstation	0
HP workstation	1
PC	22
MAC	2

When considering an operating system it can be observed that as most applications use personal computers, then PCs predominate regarding different types of operating system (Table 3). The RedHat version for Linux is included. Different versions of Windows have been included (i.e. Win32, 98, 2000, Millennium, XP, Vista and version 7).

Zamora-Hernández Abigail, González-López Gloria Inés, González-Hernández Pilié Perla and Ochoa-Ackerman Mario

Table 3: Operating system

Nome	Total
DO5	5
HP-LX	2
Irix	2
Linux	7
OSX	2
Solaris	7
SunOS	1
Unix	2
VMS	1
Windows	15

4.4. By implementation language

Another evaluation parameter considered was that related to programming language used for creating analysis applications. Applications created around the 1970s were developed in several versions of FORTRAN, like 77, 90 and later even VFortran. Regarding C language, it was found that some applications were complemented with functions or libraries created in some other language or tool, like FORTRAN (for reusing previous codes) and Octave. However, the kind of application where it was almost impossible to get information about programming language used in development is considered in the last category.

Table 4 contains the most commonly used programming languages for developing seismic analysis software; half of them were created with free access software like C language. Few products involved using licensed software but some did not specify the programming language they used in development. High complexity interfaces and sophisticated functions were observed for these applications, meaning that they were probably created with licensed software.

Table 4: Programming language

Nome	Total
C	2
C with other	3
Fortran	6
GTE	1
Matlab	3
Not specified	7

This study thus found that interest in seismic engineering has motivated all people involved in earthquake studies (such as geophysicists, geologists, engineers) regarding intensive and extensive use of computer equipment and software tools. This has promoted their participation in implementing their own algorithms in convenient and available programming languages, such as FORTRAN and the emerging C language.

However, not only computer architecture have evolved but also user requirements. Simple interfaces became replaced by those having high definition and graphical displays, new components being included such as mouse, camera and speakers to offer multimedia information. This is why this type of application almost stopped being produced as it is not so easy to produce a programme as it was 40 years ago.

Several things have evolved such as equipment, requirements, programming languages and also how to use them, as have the people who

create engineering software. This implies that we must encourage and support national scientific development resulting in new technologies for producing effective solutions to a country's problems. Academic institutions can take a first step towards low-cost application development for studying different problems in all engineering areas.

Conclusions

Earthquake engineering and related sciences' contribution towards understanding and evaluating earthquakes means that their efforts must become minimized and the losses affecting society reduced. It should also be considered that the effects of natural disasters depend on economic, social and political factors [1].

It is the duty of science to transform the natural misfortune involved in an earthquake occurring into an opportunity for innovation and technological development in disaster areas such as earthquake engineering and of course, software engineering. Producing earthquake analysis software is definitely an essential tool for achieving such goals more efficiently, quickly and accurately.

Software developers' participation in other disciplines must thus be expanded to contribute towards the understanding and management of natural seismic hazards and ensure technological independence.

References

- [1] Canemaa, M. (2011). Responsabilidad social de los geodestistas en el manejo de riesgos: Experiencias derivadas de la experiencia chilena con el sismo terremoto del 27 de febrero 2010", *Gover-risk management - a German Latin American approach Field Workshop organized by the Geo-Network of Latin America German Alumni (GMLA)*.
- [2] Gutiérrez, C., Quana, E., Ochoa, M., Guevara, E., Murillo, D., Krichak, S. (2008). *Resistencia Sísmica*, CENAPRED. 1ª reimpresión de la quinta edición.
- [3] Ochoa, M., Montoya, D., (2002). *Programa DSDTRA, versión 3.2.4*, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2002.
- [4] Euster J., P. (1989). *Introducción a la simulación - Fundamentos de Ingeniería sísmica*, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- [5] Dirección General de Materiales Educativos (DGMIE), (2010). *Atlas de México*, Subsecretaría de Educación Básica, Secretaría de Educación Pública del Gobierno de México.
- [6] U.S. Geological Survey. (2012). Internet Site for: "Terremotos históricos: México". http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_mexico.php.
Last access (may/2012).
- [7] National Seismological Service (SSN). Internet Site for: "El SSN y la Sismicidad de México".
http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Mx_gismo/mhiat.htm.
Last access (may/2012).
- [8] National Seismological Service (SSN). Internet Site for: "Terremotos y ondas sísmicas: Una breve introducción".
<http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Cuadernol/ch5.html>.
Last access (may/2012).
- [9] National System for Civil Protection in Mexico. Internet Site for: "Sismos: Series Particulares".
<http://portal.proteccioncivil.gob.mx/apload/Publicaciones/sismos/sismos.pdf>.
Last access (may/2012).
- [10] Boletín UNAM-IGCCS-382 Ciudad Universitaria. Internet Site for: "En México han ocurrido 11 mil 515 sismos entre 2009 y 2012".
http://www.dgcy.unam.mx/boletin/bdboletin/2012_382.html.
Last access (may/2012).

EN COLA DE EDICION.

Zamora, A., González-López, G., González-Navarro, F., Ordaz-Schroeder, M., (2013). Geología Colombiana. “Desarrollo de sistemas de cómputo para el procesamiento de sismos: un reto a superar.”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dirección Nacional de Bibliotecas

sinab SISTEMA NACIONAL DE BIBLIOTECAS

Inicio > Usuario > Autor > Envíos activos

Envíos activos

ACTIVOS ARCHIVADOS

ID	DD-MM ENVIAR	SECC.	AUTORES	TÍTULO	ESTADO
35579	11-23	ART	Zamora Hernandez, Gonzalez Lopez,...	DESARROLLO DE SISTEMAS DE CÓMPUTO PARA EL PROCESAMIENTO...	EN PROCESO DE EDICIÓN

Elementos 1 - 1 de 1

Empezar un nuevo envío
HAGA CLIC AQUÍ para ir al primero de los cinco pasos del proceso de envío.

Enlaces reback
TODOS NUEVOS PUBLICADO IGNORAR

FECHA DE CREACIÓN	VISITAS	URL	ARTICULO	TÍTULO	ESTADO	ACCION
No hay ningún enlace reback.						

Publicados Omitidos Eliminar Seleccionar todo

Ayuda de la revista

NÚMERO ACTUAL

USUARIO
Ha iniciado sesión como **abiza23**
Mis revistas
Mi perfil
Cerrar sesión

AUTOR
Envíos:
Activos (1)
Archivados (0)

Inicio > Usuario > Autor > Envíos > #35579 > Edición

#35579 Edición

RESUMEN REVISIÓN EDICIÓN

Envío

Autores Abigail Zamora Hernandez, Gloria Ines Gonzalez Lopez, Felix Fernando Gonzalez Navarro, Mario Gustavo Ordaz Schroeder

Título Desarrollo de sistemas de cómputo para el procesamiento de sismos: un reto a superar

Sección Artículos para revisión

Editor Thomas Cramer

Corrección de originales

METADATOS DE REVISIÓN	SOLICITUDES	EN PROCESO	COMPLETADO
1. Corrección inicial Archivo: Ninguno	2013-05-22	—	—
2. Corrección del autor Archivo: Ninguno Choose File No file chosen Cargar	—	—	
3. Corrección final Archivo: Ninguno	—	—	—

Comentarios de corrección Ningún comentario INSTRUCCIONES DE CORRECCIÓN

Maquetación

Formato de la galerada ARCHIVO
Ninguno

Archivos complementarios ARCHIVO

1.

Comentarios de maquetación Ningún comentario

Corrección de pruebas

METADATOS DE REVISIÓN	SOLICITUDES	EN PROCESO	COMPLETADO
1. Autor	—	—	
2. Corrector de pruebas	—	—	—
3. Maquetista	—	—	—

Correcciones del corrector de pruebas Ningún comentario INSTRUCCIONES DE CORRECCIÓN DE PRUEBAS

sinab SISTEMA NACIONAL DE BIBLIOTECAS

Ayuda de la revista

NÚMERO ACTUAL

Actual: 1.0
Anterior: 0.9
Siguiente: 1.1

USUARIO

Ha iniciado sesión como:
abizaz23
Mis revistas
Mi perfil
Cerrar sesión

AUTOR

Envíos
Activos (1)
Archivados (0)
Nuevo envío

IDIOMA

Español

CONTENIDO DE LA REVISTA

Buscar

Todos

Buscar

Examinar

Por número
Por autor
Por título
Otras revistas

Desarrollo de sistemas de cómputo para el procesamiento de sismos: un reto a superar.

Abigail Zamora Hernández^{(1)*}, Félix F. González-Navarro⁽²⁾
Gloria González-López⁽³⁾, Mario G. Ordaz-Schroeder⁽⁴⁾

^(1,3,4) Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California UABC.
Calle de la Normal Sin Número Eq. Insurgentes Este, Mexicali, B. C. México
Fax: (52) (686) 566 41 50 y 565 44 31 Ext. 107

⁽²⁾ Instituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Escolar Sin Número
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, D. F. México

^{(1)*} Autor de correspondencia: abigail.zamora@uabc.edu.mx, ⁽²⁾ fco.gonzalez@uabc.edu.mx,
⁽³⁾ gloria.gonzalez@uabc.edu.mx, ⁽⁴⁾ MOrdazS@ingen.unam.mx

Resumen

La sociedad y gobierno de los países que frecuentemente sufren sismos requieren información completa y oportuna de los mismos, con el fin de tomar decisiones adecuadas para prevenir y mitigar los daños que ocasionan. El procesamiento automatizado de registros sísmicos es de gran importancia y parte de su efectividad recae tanto en el equipamiento de detección sísmica como en el software para el tratamiento de datos recopilados. En este trabajo se exponen los sismos de mayor impacto en América Latina, con el recuento de sus pérdidas materiales y humanas así como el desarrollo de la ingeniería sísmica en México. Se hizo el análisis de 22 aplicaciones de software para el procesamiento de datos sísmicos, desarrolladas en América y Europa de 1970 a la fecha. Para cada una de éstas se analizaron los siguientes parámetros: características de proceso, país de origen, costo, plataforma y sistema operativo que requieren, lenguaje de programación con el que fueron elaborados y si comparten la filosofía de código abierto. El objetivo es analizar los diferentes tipos de programas de cómputo utilizados en el estudio de los sismos para determinar la pertinencia del desarrollo de uno nuevo. Los resultados revelan que la mayoría de los programas de software han sido creados en Estados Unidos donde el estudio de los sismos es una actividad consolidada y aunque en América Latina varios países están bajo amenaza sísmica, su contribución en la producción de estos programas es casi nula. Se observa que entre mayor es el costo del software, incorpora más funciones y capacidades. Así mismo, se advierte que la plataforma de trabajo que predomina es la de las computadoras personales. Con base en lo anterior, se considera indispensable promover la creación de aplicaciones de software propias, que respondan a las necesidades específicas de los usuarios. De tal manera que no se paguen grandes sumas por tecnología importada.

Palabras clave: Aplicaciones, Procesamiento, Sismos, Software

Computer systems development for earthquakes processing: a challenge to overcome.**Abstract**

The Government and societies in countries which usually suffer earthquakes need complete and opportune information about them, to make the right decisions in order to prevent and mitigate the damage they cause. Automated processing of seismic records is very important and its effectiveness lies in both the seismic detection equipment and software for treatment of gathered data. This paper made an analysis of 22 software applications which perform the task in question.

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

and they were developed in America and Europe from 1970 to the date. For each of them the following parameters were analyzed: processing characteristics, country of origin, cost, platform and operating system that require, programming language employed for developing them and if they share open source philosophy. The purpose is to analyze different types of computing programs used in earthquakes study for determining relevance of developing a new one. Results reveal that the most of software programs have been created in the United States where the study of earthquakes is a consolidated activity; although in Latin America several countries suffer seismic menace their contribution in production of this type of programs is almost zero. It was observed that software with higher cost has also the most functions and capacities. In addition, platform predominant is that of personal computers. Based on the above, it is considered essential promoting the development of own software applications to attend specific needs of users. This way will not be necessary to pay so much money for imported technology.

Keywords: Applications, Earthquake, Processing, Software

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

Computer systems development for earthquakes processing: a challenge to overcome

Extended Abstract

Latin America (LA) is located in a highly seismic area known as the Ring of Fire, so all countries along the Pacific coast repeatedly suffer the onslaught of earthquakes. Notable earthquakes are those in Chile, Colombia, Haiti, Mexico and Peru. It is not possible to predict when earthquakes will occur, so it is necessary to study them for finding ways to prevent the recurring material and human losses in future events. In this document is presented some information about costs related to the strongest earthquakes occurred in LA, including number of victims and the economical estimation of material damage.

The study of earthquakes starts with installation of seismic detection equipment in several zones to store data about every seismic event. After this, data are transferred to a computer and processed with specialized computing software to obtain complete and detailed information. The evolution of the study of earthquakes in Mexico, pointing out main entities which develop this activity is also presented.

In this work 22 software applications for processing of seismic data were analyzed, which were developed in America and Europe from 1970 to date. For each, following parameters were reviewed: country of origin, functions, platform, operating system, cost, programming language used to develop them, and if they share open source philosophy. According to results, it will be determined if it is relevant developing new support tools for processing seismic data.

Table 1 (Applications for earthquakes processing) shows in chronological order the software applications including their name, creator organism and country of origin. These data indicate that during the first 30 years twelve programs were created and ten in last ten years. In spite of LA has several countries under seismic menace, it only contributes with two programs.

In regard to the programming language used for applications developing, Figure 1 (Applications platforms) shows that all applications can be implemented in personal computers but only 13 can do it in other type of computing architectures as workstations.

The Table 3 (Computer programs and their cost) exhibits prices for each application. The most (10) does not require license payment. Three have an implicit cost because they require additional software for functioning and they do have a cost. The other applications (9) must be acquired by mean of a license.

This analysis concludes that the most of the countries in American continent which suffer earthquakes are developing countries that in every seismic event must face high costs, both economical and those in human lives. Governments in these countries rely on several institutions both educative and research for the study of the earthquakes. They have the ability to develop own low cost technology, for attending specific and actual needs of users.

Introducción

La predicción de sismos es una de las aspiraciones más anheladas por los científicos de diferentes disciplinas involucradas en su estudio, como geofísicos, sismólogos e ingenieros de otras áreas. Su objetivo es dar alarma del daño potencial del terremoto, con suficiente anterioridad para permitir una respuesta apropiada al desastre (Betbeder-Manber 2008). América Latina (AL) es particularmente susceptible a desastres por sismos, como los mega terremotos que han ocurrido en México, Haití, Perú y Chile, que han llevado a los científicos a analizar las causas de los severos daños, con el fin de encontrar formas de prevenir las recurrentes pérdidas materiales y humanas en futuros eventos (Castaños y Lomnitz 2012).

Se ha observado que antes de ocurrir un fuerte sismo, se presenta una serie de pequeños sismos, conocidos como precursores (Hough 2010). Por medio de la instalación de múltiples equipos para detectar estos movimientos, se recopilan diferentes datos acerca de los eventos que surgen y se analizan con detalle para determinar características y comportamiento. El número de instrumentos de registro sísmico, como acelerómetros y acelerógrafos, se ha incrementado rápidamente, y por ende la cantidad de datos obtenidos. Esto requiere mayor procesamiento y buena organización de los datos (Havskov y Ottemoller 2010).

Muchos fabricantes incluyen software en sus equipos, pero en ocasiones es solo para pasar del instrumento hacia la computadora. Los eventos sísmicos se registran en sismogramas a partir de los cuales se obtienen diversos datos de cada evento: latitud, longitud, profundidad, hipocentro, su proyección hacia la superficie o epicentro y el comportamiento de las ondas sísmicas. A estos sismogramas se les deberá aplicar otro tipo de procesamiento, para ofrecer resultados más complejos y

precisos (Havskov y Ottemoller 2010). Por lo anterior, en este trabajo se detalla el estudio de 22 aplicaciones de software empleadas para el procesamiento sísmico, con la finalidad de determinar la conveniencia de la creación de una nueva, con base en las necesidades existentes.

Metodología

El trabajo inicia con el estudio de grandes sismos ocurridos en años recientes en AL: el de México que sirvió como detonante de la ingeniería sísmica, el de Haití por ser el que más vidas ha cobrado, seguido por el de Chile que produjo además un Tsunami y finalmente el de Japón, por ser el más costoso de la historia. Se describen los principales daños causados citando decesos y costos asociados.

Posteriormente se analizó el avance de la ingeniería sísmica en México, que a raíz del sismo devastador de 1985, detonó su desarrollo formal. Se incorporan a la tarea múltiples instituciones académicas y gubernamentales que adquieren equipos para el registro sísmico y computadoras para acelerar la obtención de resultados. En esta época se presenta el auge de tecnología de cómputo lo que contribuye al procesamiento automatizado de datos, por lo que el uso de computadoras no solo es imperante, sino que su eficacia depende también de la elección adecuada de un sistema de cómputo que permita aplicar diversas funciones a los datos recopilados en cada evento sísmico.

Finalmente se realizó el análisis de 22 aplicaciones de software especializadas en esta tarea y creadas en un periodo de 40 años. Para evaluar la conveniencia de su uso, se revisan los siguientes criterios: país donde fueron creadas, funciones realizan, costo que implica utilizarlas, plataformas de cómputo donde pueden emplearse incluyendo los sistemas operativos que requieren, además de

conocer si comparten la filosofía de código abierto.

Resultados

1.- Impacto socioeconómico de los sismos.

El 19 de septiembre de 1985 un terremoto de magnitud (M_w) 8.1 sacudió México. Se calcula que el monto de pérdidas totales ascendió a 4,100 millones de dólares. Entre los rubros más afectados están los edificios de la administración pública (34%), vivienda (15.7%) y salud (15.4%). Una de las primeras medidas adoptadas durante el proceso de reconstrucción fue el diseño de estándares más estrictos de construcción, que generaron a su vez nuevos códigos de construcción, poniendo como exigencia la revisión de los parámetros de sismo-resistencia de todos los edificios públicos (Bitrán 2001).

El 12 de enero de 2010 se presentó un sismo en Haití (M_w 7.1), donde fallecieron alrededor de 270,000 personas. (Alfaro y Van Hissenhoven 2010). Se contabilizaron 350,000 heridos, la destrucción del 60% de la infraestructura del gobierno, daños en unas 200,000 casas y más 1.5 millones de personas damnificadas; las pérdidas ascendieron a 7,800 millones de dólares aproximadamente, equivalente al 120% de su producto interno bruto en 2009 (Arévalo *et al.* 2011). El aspecto más impactante de este terremoto es que puso en evidencia la completa ausencia de diseño sísmico en las construcciones, desde casas informales hasta edificios recientes en el centro de la capital: Puerto Príncipe. En (Fierro y Perry 2010) se afirma que no existe ningún código de construcción y tampoco ningún tipo de licenciamiento para arquitectos, constructores o ingenieros.

El sábado 27 de febrero de 2010 Chile se vio sorprendido por un sismo (M_w 8.1) que causó un tsunami. Fue percibido desde la Región de Antofagasta ubicada al norte del país hasta la

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

Región de Los Lagos a 2,200 km al sur. Afectó a 13 millones de personas, aproximadamente al 80% de la población (López y Santana 2011). El sismo causó 524 muertes y 31 personas desaparecidas, de las cuales 150 se debieron al tsunami. Este terremoto, indica que se trató de una liberación extraordinaria de energía del interior de la corteza terrestre, constituyéndose en el quinto sismo de mayor magnitud que se ha registrado en la historia de la humanidad (Romero *et al.* 2011).

Se destruyeron 81,444 viviendas de un total de 370,051 que sufrieron daños considerables. También hubo daños en la infraestructura de escuelas, caminos, puentes, aeropuertos y vías férreas. En relación con los hospitales, 135 (73% del total del país) fueron afectados, 10 de ellos quedaron completamente destruidos y 33, severamente dañados pero recuperables. Los costos para la reconstrucción en el sector salud sumaron alrededor de \$251 millones de dólares (López y Santana 2011).

El terremoto de Tohoku, Japón en marzo de 2011 (M_w 9.0) tuvo una sacudida sísmica intensa y el impacto del tsunami desencadenó simultáneamente colapso de infraestructuras, inundaciones, incendios, pérdidas de miles de vidas humanas, interrupción de los servicios básicos (acueducto, energía eléctrica, comunicaciones), emergencia por posible radiación ionizante, y afectación a la economía global. Japón atravesó la crisis más grande desde la segunda guerra mundial y de manera preliminar se estimó que los costos de la crisis superaron los 300,000 millones de dólares (Sánchez y Clavijo 2011). El balance de víctimas era de más de 12,000 fallecidos y más de 15,000 desaparecidos.

A esas cifras, enormes para un país desarrollado, hay que sumar otras no menos impresionantes: 165,000 personas viviendo en refugios, 260,000 hogares sin agua corriente, 170,000 viviendas sin electricidad y 70,000

Abigail Zamora-Hernández *et al.*

Software para el procesamiento de sismos.

personas evacuadas del perímetro de 20 km alrededor de la central de Fukushima (Bustelo 2011).

Es claro que se ha tratado de la tragedia natural más costosa de la historia. A finales de marzo, el gobierno japonés estimó la destrucción de capital físico (infraestructuras, fábricas y viviendas) en una cifra situada entre 198,000 y 308,000 millones de dólares, entre el 3.3% y el 5.2% del PIB. Hay que tener en cuenta que esa estimación se refiere únicamente a los daños en el capital y excluye la merma en la producción (Bustelo 2011).

América Latina en su conjunto ha sido testigo de grandes desastres, pero debido a que existe un condicionante geológico-espacial se producen en la región terremotos con grave riesgo sísmico. Estos fenómenos se deben a la convergencia de placas tectónicas que generan una zona de subducción. En el continente americano, las placas de Cocos, Nazca y Caribe chocan permanentemente con la placa continental, produciendo gran inestabilidad en las costas del Pacífico y la región del Caribe (Dehays 2002).

La franja de sismicidad más importante en el continente americano se encuentra en la periferia del Océano Pacífico y comprende Patagonia y Chile en América del Sur, Centroamérica, parte occidental de México, Estados Unidos, Canadá y Alaska. Así mismo, es una zona sísmica que se caracteriza por actividad volcánica intensa, perteneciente al Cinturón de Fuego del Pacífico, o simplemente Cinturón Circumpacífico (CENAPRED 2008).

En estas zonas los países que pueden destacar como lugares donde ocurren mayormente los eventos sísmicos son: México, Guatemala, El Salvador, Haití, Nicaragua, Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Argentina.

2.- Estudio de los sismos en México.

El primero de abril de 1904 se reunieron en Estrasburgo, Francia, dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano decreta la fundación del Servicio Sismológico Nacional (SSN), el 5 de septiembre de 1910 el cual queda a cargo del Instituto Geológico Nacional. De esta manera entre los años 1910 y 1923 se instalan en el país las primeras nueve estaciones sismológicas. El SSN pasó a ser parte de la Universidad Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 su central quedó adscrita al Instituto de Geofísica de la UNAM (Alcántara y Valdés 2010).

A raíz del sismo de 1985 en México se establece un profundo cambio con relación al estudio del fenómeno y a la forma de medirlo. Hoy en día la infraestructura de observación sísmica del país es mucho mejor, pero existen regiones con poca o nula cobertura instrumental, lamentablemente con el potencial para que se generen sismos intensos o que sin tenerlo se puedan ver afectadas. De tal manera que los esfuerzos futuros de corto y mediano plazo deberán enfocarse en contar con una Red Sísmica Mexicana de cobertura nacional (Alcántara y Valdés 2010). Esto implica no solo la instrumentación de las zonas más proclives a sufrir estos eventos, sino también la inversión en tecnología para la obtención, análisis y procesamiento de datos que los sismos proporcionan, con el objetivo de generar mayor conocimiento.

Las actividades anteriores son efectuadas en su mayoría por dependencias gubernamentales y entidades académicas de las regiones más afectadas, entre las que se puede mencionar a el Servicio Sismológico Nacional (Valdés y Quintanar 2010), la Universidad Autónoma de México (Sandoval *et al.* 2012), el Centro de Investigación Científica y de Educación

Superior de Ensenada (Fregoso y García 2011), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED 2008) y la Universidad Veracruzana (Riquer *et al.* 2010), entre otros.

Esto explica por qué los recursos se destinan principalmente a la adquisición de equipos de instrumentación y otros conceptos, como el software para el procesamiento de los datos, pasan a segundo plano. De ahí la importancia de generar aplicaciones especializadas de bajo costo acorde con las necesidades de los usuarios.

3.- Sistemas de cómputo para el procesamiento de sismos.

Es de gran relevancia el software empleado para procesar los eventos sísmicos y elegir cuál es el más adecuado para el usuario, depende de muchos factores comenzando por conocer cuáles son las características y

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

alcances de las aplicaciones disponibles, hasta la posibilidad de desarrollar un sistema propio.

Se hizo el estudio y análisis de 22 aplicaciones de software utilizadas desde 1970 a la fecha. Si se hace un estudio cronológico del software para el procesamiento de sismos, se observa que en un periodo de 20 años comprendido entre 1971 a 1991, se crearon 3 aplicaciones. En los siguientes 10 años se desarrollaron nueve programas de software, que representan el 41% de la producción total y en la siguiente década surgieron 10 nuevos productos, consiguiendo ser la época de mayor producción, con el 45%. Es necesario notar que a partir de 1990 desciende el costo de los equipos de cómputo y a la vez se multiplican los lenguajes de programación, estos hechos impulsaron en gran medida los avances que se hicieron en este sentido (Tabla 1).

Tabla 1: Aplicaciones para el procesamiento de sismos
Table 1: Applications for earthquakes processing

Año	Nombre	Creador	Origen	Referencias
1971	Hypo71	USGS	EU	(Lahr, 2012)
1985	Pase	PUCP	Perú	(Quion, 1985)
1990	Preproc	ISOP	EU	(Orfens, 2012)
1991	BAP	USGS	EU	(Coerver, 1992)
1993	Earthworm	USGS	EU	(Instrumental, 2012)
1993	Sac	Lab. Lawrence Livermore	EU	(US, 2012)
1994	Pitsa	Universidad de Munich	Alemania	(Synapse, 2012)
1994	Promax	Landmark-Halliburton	EU	(Halliburton, 2012)
1994	Seispace	Landmark-Halliburton	EU	(Halliburton, 2012)
1994	Zmap	Stefan Wiener	Suiza	(Centro, 2012)
1997	Seisware	Seisware International Inc.	Canadá	(Seisware, 2012)
2001	Seisan	Universidad de Bergen	Noruega	(Geotechnical, 2012)
2002	Degtra	UNAM	México	(Ordaz, 2004)
2002	Fuente	UPM	España	(Fundación, 2012)
2002	Loca	UPM	España	(Fundación, 2012)
2002	SeismoSignal	Seismosoft	Italia	(SeismoSoft, 2012)
2002	STK	Dominique Raymond	Francia	(SourceForge, 2012)
2003	Seisplus	LLC	EU	(Geotechnical-2, 2012)
2003	Sigview	SignalLab	EU	(SignalLab, 2012)
2005	Geogiga M.	Geogiga Technology	Canadá	(Geogiga, 2012)
2008	Icoirect	Univ. Oeste de Ontario	Canadá	(Engineering, 2012)
2012	Insite	Applied Seismology Cons.	Reino U.	(ASC, 2012)

Este análisis ha tomado en consideración solo las aplicaciones de software desarrolladas en países de América y Europa, y no se incluyeron otros (por ejemplo, India y Japón) pues se carece de información relativa a su uso y aplicación en México y AL. Examinando la tabla 1 se nota que Estados Unidos se destaca como el mayor generador de software con nueve aplicaciones, seguido de Canadá con tres. AL tiene participación escasa y contribuye sólo con dos productos. Del resto de países participantes, se percibe la presencia de un solo programa de software para cada uno de los siguientes: Alemania, Francia, Italia, Noruega, Suiza y el Reino Unido.

A continuación, se procedió a analizar el tipo de funciones que las aplicaciones desarrollan, las cuales se clasificaron en dos grupos: las básicas y las especializadas. Las funciones básicas son aquellas que realizan la mayoría de los programas y tienen que ver con la obtención de los datos iniciales, la corrección de errores de captura y la aplicación de algunos filtros típicos. Se realizó un examen de las funciones de mayor complejidad en las aplicaciones, como son: el cálculo de Espectro, Transformada de Fourier, cálculo de espectro de potencia y respuesta, entre muchas otras incluidas en la Tabla 2.

Tabla 2: Funciones específicas para el procesamiento de datos sísmicos
Table 2: Specific functions for processing seismic data

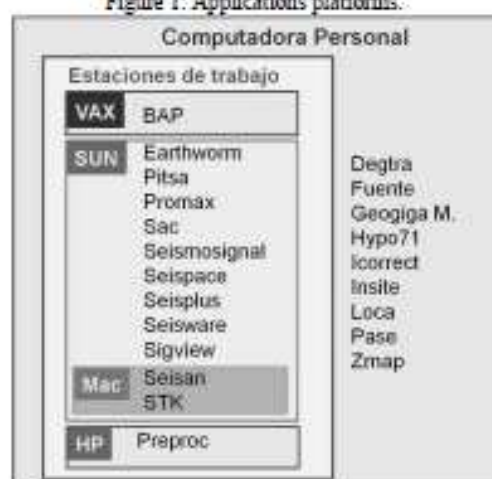
Funciones Específicas	Nombre
Correlación cruzada y de espectros de respuesta lineal y no lineal	Degra
Espectro de Fourier y/o respuesta	BAP, Geogig Microtremor, Icorrect, Seismosignal, Seisplus, Sigview, STK
Espectro de frecuencia	Inute, STK
Espectro de potencia y de respuesta elástica	Seismosignal
Intensidad de Arias	Degra, Seismosignal
Magnitud de un sismo	Loca
Magnitud del momento-momento sísmico/ transformada de Hilbert	STK
Tiempos pico y amplitudes	Earthworm
Velocidad y desplazamiento de serie de tiempo	BAP
Descomposición espectral/ Evaluación de funciones de transferencia	Seisware
Hipocentros, magnitudes y primeros movimientos de sismos locales	Hypo71, SeisPlus
Operaciones de integración/derivación	Degra, STK
Extracción de ondeletas	Seisware
Integración, derivación, cálculo de espectros de amplitud de Fourier	Degra, Geogig Microtremor, Seisplus, Sigview, STK
Transformada rápida de Fourier FFT	Degra, Pase, Sac, Seisplus, Sigview
Serie de tiempo de aceleración de movimientos del suelo	Degra, Icorrect
Tomografía de refracción	Geogig Microtremor
Procesamiento de reflexión/refracción de ondas de superficie	Geogig Microtremor

Se hace notar que existen estudios que requieren procesamiento específico en ciertas áreas, como las orientadas a la ingeniería petroquímica o de exploración minera, para las que solo se puede hacer uso de uno o dos sistemas de software (como son Seisware y Promax).

Otro criterio de análisis contempla el lenguaje de programación empleado para el desarrollo de las aplicaciones. Como resultado del descenso en el costo de los equipos de cómputo, creció la diversidad de equipos y en consecuencia, surgieron también múltiples

sistemas operativos. La programación de las aplicaciones pasó de ser una tarea exclusiva de los científicos dedicados al estudio de los sismos, a una en la que deberían participar los especialistas en cómputo. Debían incluirse soluciones matemáticas y de cálculo, además de incorporar nuevos requerimientos como interfaces gráficas amigables y el uso de dispositivos de apoyo como el ratón. De esta manera, se logra facilitar a los usuarios no familiarizados con las computadoras y mucho menos con la programación, el uso y explotación de las capacidades del software.

Figura 1: Plataformas de las aplicaciones
Figure 1: Applications platforms.



Mención aparte requiere la filosofía de finales de los 90's sobre la creación de software conocido como de código abierto (*open source*, en inglés), que manifiesta los beneficios de compartir el código entre usuarios interesados, para que puedan contribuir con revisiones, correcciones y mejoras al mismo, de manera que el software evolucione rápidamente.

En la actualidad hay múltiples arquitecturas de cómputo y diversos sistemas operativos para las mismas, ambos son factores de peso y deben considerarse con detenimiento antes de elegir la aplicación de procesamiento de sismos que mejor se adapte al usuario. Si el financiamiento no es un impedimento, se pueden adquirir equipos de mayor tamaño

como las estaciones de trabajo. Para este tipo se emplean sistemas operativos como SUN Solaris o HP UX. Cuando los recursos financieros son limitados se puede optar por el uso de computadoras personales, que utilizan sistemas operativos como Windows o MAC en la categoría de sistemas con licencia o Linux y sus derivados, en la categoría de software libre. Esta descripción se muestra de manera gráfica en la Figura 1.

Es importante tener en cuenta que al elegir determinada plataforma y sistema operativo,

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

se debe cubrir el costo de la licencia del sistema operativo así como la del software para el procesamiento de sismos, adicional al devengado por el equipo de cómputo donde se implantará. Dependiendo de los recursos disponibles se puede optar por adquirir software que tiene derechos de autor o licencia y debe ser comprado, o emplear software libre o de código abierto, para modificarlo y adaptarlo a los requerimientos propios (Tabla 3).

Tabla 3: Programas de cómputo y su costo.
Table 3: Computer programs and their cost.

SOFTWARE					
Con costo	Nombre	Precio	Sin costo	Nombre	Lenguaje de desarrollo
	Insite	(Sin especificar)		Iap 1.0	Fortran
	Promax	(Sin especificar)		Degtra	Fortran, Vfortran
	Seispace	(Sin especificar)		Earthworm	C, Oracle
	Zmap	MatLab® \$2000 €		Fuente	MatLab®
	Seisplus	(Sin especificar)		Hypo71	Fortran
	Geogiga -			Icorrect	Fortran, Compaq Vfortran
	Microtremor	(\$490 USD)		Loco 1.0	MatLab®
	Seismosignal	(\$60€)		Pase	Fortran 77
	Seisware	(\$9,500 CAD)		Pisa	C
	Sigview	(\$ 139 USD – 1 PC \$1,290 USD – 1 sitio)		Preprocs	C
♦ Software de Código Abierto (Open Source)					

• Software de Código Abierto (Open Source)

Algunos usuarios, como los que se dedican a la exploración y explotación petrolera y minera, disponen del capital necesario para invertir en toda la infraestructura que requieren, pero hay otros, como algunas instituciones académicas o gubernamentales, que no cuentan con grandes fondos y que deben ahorrar en todos los rubros posibles. En la tabla 3 se muestran las opciones que brindan las 22 aplicaciones bajo estudio con relación al software con algún costo, derivado de la licencia propia, por el uso de algún otro lenguaje con licencia, como bases de datos asociadas (Oracle, por ejemplo), aplicaciones específicas como MatLab®, o el propio

entorno de desarrollo para el caso de los ambientes visuales. En el caso particular de los que pertenecen al grupo de software de código abierto, permiten al usuario desarrollar algunas funciones para resolver problemas específicos, así como acceder a los grupos de trabajo colaborativo que brindan soporte en el desarrollo de esas aplicaciones.

Cabe aclarar que algunas de las aplicaciones que no demandan algún tipo de cobro, tampoco ofrecen al usuario soporte técnico o la posibilidad de modificar el código para adaptarlo a sus necesidades particulares. En la tabla 3 no se especifica el costo de cuatro

productos de software, debido a que durante la investigación no se tuvo acceso a esta información. Los productos de mayor costo y actualmente vigentes, disponen de poderosas interfaces gráficas que facilitan la presentación de resultados, así como de mayores funciones específicas, que no poseen la mayoría de los programas.

En síntesis, se puede decir que las aplicaciones bajo estudio se crearon entre 1970 y 2011. En la primera década solo aparece un producto; en los 80's la producción sigue siendo muy escasa pues solo se generan dos programas más. Es a partir de la tercer década que se incrementa de manera notable el número de aplicaciones, siendo ocho los registrados en los 90's y once en el último periodo. Respecto al origen de las aplicaciones, Estados Unidos destaca como el principal productor con el 41% del total, Canadá con el 13% y AL con el 10%. Respecto a Europa, España es el que tiene mayor participación (13%); de manera global el continente aporta el 36% de todos los productos.

Con respecto al costo de las aplicaciones, casi la mitad del software revisado involucra algún desembolso asociado. El 40% requiere el pago de licencia contra un 60% que no lo requiere. Si se opta por el procesamiento únicamente con aplicaciones sin costo, entonces deberán emplearse varias para poder complementarse entre sí. Con relación a las características de procesamiento, son justamente las aplicaciones que se adquieren mediante una licencia las que más funciones realizan, incluyendo procesamiento de mayor complejidad y la capacidad de potentes despliegues gráficos de alta calidad.

Relativo al lenguaje de programación utilizado para crear el software, de las nueve aplicaciones que requieren pago de licencia, solo una informa que ha sido elaborada con MatLab®, las demás no proporcionan

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

información sobre este rubro. Concerniente a las trece aplicaciones que no requieren ningún pago, la mayoría utiliza para su creación lenguajes también sin costo, excepto dos aplicaciones que de manera similar emplean MatLab®, así como otra que requiere Oracle® para la creación de su base de datos.

Al considerar la plataforma de trabajo, se aprecia que todas las aplicaciones de software pueden implantarse en computadoras personales, pero sólo 13 pueden también hacerlo en arquitecturas superiores como las estaciones de trabajo; éstos son equipos de mayor potencial de procesamiento y almacenamiento pero también de mayor costo. La plataforma no solo se limita al equipo físico, sino que además incluye al sistema operativo, lo que implica agregar el costo respectivo.

Conclusiones

América Latina es una zona de alto nivel de sismicidad y naciones como México, Guatemala, Colombia, Perú, Argentina y Chile, entre otros, sufren sismos con regularidad. Los gobiernos de estos países deben enfrentar continuamente los costos asociados a este tipo de tragedias, por lo que el estudio de los sismos es parte de sus planes de desarrollo y se apoya en muchas ocasiones en diversas instituciones académicas. Para poder llevar a cabo esta tarea, se debe invertir en equipos de registro sísmico con la finalidad de instrumentar el mayor número de zonas posibles. Así mismo, una vez recopilados los datos es necesario procesarlos con rapidez, por lo que las herramientas de cómputo deben ser capaces de ofrecer resultados claros y concretos para facilitar la toma de decisiones en los planes de protección civil.

Este estudio no incluye el análisis de costos de los equipos de instrumentación sísmica y se enfoca en los sistemas de cómputo empleados

para el procesamiento de sismos. A partir de los datos aquí presentados, se concluye que se requieren casi dos años para generar un programa de software para el procesamiento de sismos; dado que ninguno satisface al 100% los requerimientos de procesamiento, de la mayoría de las instituciones dedicadas al estudio de estos fenómenos, se puede afirmar que debe invertirse más trabajo en esta área. Esto puede tomarse como una oportunidad para que las instituciones académicas promuevan una estrecha colaboración con el área de cómputo para incrementar las aplicaciones que requieran.

Con ello no solo se promueve la generación de nuevo conocimiento y el fortalecimiento interdisciplinario de la ciencia, sino que se puede ofrecer a la sociedad nuevas soluciones a problemas añejos, cuyos efectos implican grandes pérdidas a la nación que las sufre. Analizando lo anterior, se concluye que no son suficientes los esfuerzos encaminados al estudio de los sismos, mucho menos los específicamente dedicados a la creación de software para esa área. Esto implica que se deben promover diferentes aspectos como el desarrollo de nuevos algoritmos en la solución de problemas conocidos, fortalecer la educación de los sismólogos en el uso de tecnologías y metodologías de cómputo, reforzar la colaboración entre sismólogos, científicos de cómputo e ingenieros, así como expandir la infraestructura para el procesamiento del cada vez mayor volumen de datos sísmicos generados.

Contribuciones futuras

La Universidad Autónoma de Baja California se encuentra localizada en el estado del mismo nombre y cuenta con tres campus: Ensenada, Tijuana y otro en la capital del estado: Mexicali. El Valle de Mexicali es un sitio con alta sismicidad, debido a las fallas de Cerro Prieto e Imperial que presentan gran actividad

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

y que dan lugar a un centro de dispersión, donde se ubica el campo geotérmico de Cerro Prieto (Magaña 2011). El movimiento telúrico del 4 de abril de 2010 (M_w 7.2) se considera uno de los eventos sísmicos de mayor relevancia, ya que además de provocar daños al sistema hidráulico y agrícola del Valle de Mexicali, evidenció una vez más el importante potencial geotérmico de la zona, originando la presencia de fumarolas en la Sierra Cucapah (Álvarez *et al.* 2012).

A raíz de esta tragedia surge el interés de participar de manera más activa en el estudio de los sismos y con este fin, se inicia la instrumentación sísmica de la zona. También se plantea el desarrollo de un sistema de software para el procesamiento de estos datos. Actualmente se está trabajando en la aplicación, por lo que ya se han diseñado algunos algoritmos y procedimientos que se encuentran bajo implementación. Este software será sin costo para que pueda ser accesible a cualquier tipo de público interesado en su uso. Inicialmente podrá implantarse en cualquier computadora personal, por ser la plataforma de uso más extendido en México y se le ha dotado de una interfaz gráfica amigable con el usuario. Se obtendrá pronto una versión final accesible a la comunidad académica.

Referencias Bibliográficas

- Alcántara, L., Valdés, C. (2010): *La observación sísmica en la UNAM y su integración a la Red Sísmica Mexicana*. UNAM Revista Digital Universitaria (Fenómenos geológicos). - 11 (1): 1 - 8.
- Alfaro, A., Van Hissenhoven, R. (2010): *Sismo de Haití: Aspectos sismológicos*. Revista Epsilon - 14: 113 - 120
- Álvarez, J., Camacho, J., Gallardo, V., Macías, G., Herrera, D. (2012):

Abigail Zamora-Hernández et al.
Software para el procesamiento de sismos.

Características geológicas preliminares de la nueva zona termal Cuapah en el Valle de Mexicali, B.C., México. Geotermia Revista Mexicana de Geoenergía. - 25 (2): 21 - 27

Arévalo, A., Montaña, A., Sotelo, I. (2011): *La asociación internacional de fomento en la recuperación de Haití.* (Trabajo) 41 páginas. Universidad de La Sabana. Instituto de Posgrados, Especialización en finanzas y negocios internacionales. Colombia

Berbeder-Matibet, J. (2008): *Seismic engineering.* 448 p. First English Edition. USA, John Wiley & Sons

Bitrán, D. (2001): *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99.* 110 p. Serie Impacto Socioeconómico de los desastres en México. CENAPRED

Bustelo, P. (2011): *El terremoto de Tohoku (Japón) de marzo de 2011: implicaciones económicas.* Revista del Real Instituto Elcano de Madrid ARI - 72 (2011): 1 - 5

Castaños, H., Lomnitz, C. (2012): *Earthquake Disasters in Latin America: A Holistic Approach.* 65 p. Springer Briefs in Earth Sciences

CENAPRED. (2008): *Sismos: Serie Fascículos.* 44 p. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Gobierno Federal de México.

Converse, A. (1992): *BAP: BASIC strong-motion accelerogram processing software.* U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey: Books and Open-File Report 92-296-A - 1 - 180

Dehays, J. (2002): *Fenómenos naturales, concentración urbana y desastres en América Latina.* Perfiles Latinoamericanos - (20): 177 - 206

Fierro, E., Perry, C. (2010): *Preliminary Reconnaissance Report 12 January 2010 Haiti Earthquake.* Reconnaissance and Report partially supported by: The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)

Fregoso, E., Garcia, J. (2011): *A possible seismomagnetic precursor of the El Mayor-Cucapah earthquake (Mw 7.2) of April 4, 2010, Baja California, México.* Geofísica Internacional - 50(2): 211 - 225

Havskov, J., Ottemoller, L. (2010): *Routine Data Processing in Earthquake Seismology: With Sample Data.* 380 p. Springer

Hough, S. (2010): *Predicting the Unpredictable: The Tumultuous Science of Earthquake Prediction.* 272 p. Princeton University Press.

López, E., Santana, P. (2011): *El terremoto de 2010 en Chile: respuesta del sistema de salud y de la cooperación internacional.* Revista Panamericana de Salud Pública - 30(2):160 - 166

Magaña, A. (2011): *4 de abril Mexicali, después del terremoto.* 199 p. Editorial Las Animas

Ordaz, M., Montoya, D. (2004): *Programa DEGTRA A4 versión 4.0.8.* Reporte. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Quin, D. (1985): *Implementación de un sistema para el proceso automático de señales sísmicas.* (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú.

Riquier, G., Williams, F., Lerno, J., Torres, G., Leyva, R., Guzmán, A., Trejo, F. (2010): *Estudios preliminares de microzonificación sísmica para la ciudad de Coatzacoalcas, Ver.*

Abigail Zamora-Hernández *et al.*

Software para el procesamiento de sismos.

Memorias de la XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica., (1): 241 - 245. Acapulco, Guerrero, México.

Romero, H., Fuentes, C., Smith, P. (2011): *La Geografía de los Riesgos "Naturales" y el Terremoto de Chile del 27 de febrero de 2010* - En: Bocco, G., Urquijo, P., Vieyra, A. (eds.) *Geografía y ambiente en América Latina*, p. 251-282, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) e Instituto Nacional de Ecología (INE), México.

Sánchez, J., Clavijo, J. (2011): *Aspectos científicos y lecciones para Colombia luego del sismo de Tohoku, Japon, en marzo 11 de 2011 (M_w 9.0)*. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Geología Colombiana - 36 (1) - Edición Especial. 23 - 35

Sandoval, H., Alcántara, L., Arroyo, D., Delgado, M., Ordaz, M., Pérez, C., Quiroz, A., Ruiz, A. (2012): *Generación de mapas de intensidades sísmicas en tiempo real para el territorio nacional*. Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM. - (78): 14 - 16

SEISWARE International Inc. (2010). *Corporate Brochure*

Valdés, C., Quintanar, L. (2010): *Redes sísmicas. 100 años del servicio sísmológico nacional: la importancia de las redes sísmicas en el conocimiento de los sismos y su mitigación*. Geos - 30(1): 163 - 165

ASC Applied Seismology Consultants. (2012). InSite software, <http://www.seismology.org/> (Último acceso Septiembre 2012)

Centro de Geociencias de la UNAM. (2012). Una breve introducción al paquete ZMAP y al lenguaje MATLAB. <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/ebolet>

[in/introZMAP.html](http://introZMAP.html) (Último acceso Agosto 2012)

CIGA: Centro de investigación en geografía ambiental (2012). Descarga del libro Geografía y Ambiente en América Latina http://www.ciga.unam.mx/ciga/index.php?option=com_remository&Itemid=462&func=showdown&id=48 (Último acceso Octubre 2012)

Engineering Seismology Toolbox. (2012). Program: ICORRECT, <http://www.seisnotoolbox.ca/ICORRECT/ICORRECT.pdf> (Último acceso Septiembre 2012)

Fundación J. García-Siñeriz. (2012). Descargas de Loca 1.0 y Fuente 1.0, <http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/ESP/descargas.html> (Último acceso Mayo 2012)

Geogiga Technology Corp. (2012). Geogiga Microtremor Software, <http://www.geogiga.com/en/index.php> (Último acceso Junio 2012)

Geotechnical Instruments LLC. (2012). SEISAN: The earthquake software - Version 7.2, http://www.geoinstr.com/pub/manuals/seisan_7.2.pdf (Último acceso Mayo 2012)

Geotechnical-2 Instruments, LLC. (2012). Seisplus v4.9: Interactive Seismological Data Processing Package, <http://www.geoinstr.com/pub/manuals/seisplus.pdf> (Último acceso Agosto 2012)

Halliburton. (2012). SeisSpace Software for ProMAX Applications, <http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?pageid=874&prodid=MSE-105545143366753#sysreq> (Último acceso Agosto 2012)

Instrumental Software Technologies Inc. (2012). Earthworm 7.3 Released,

<http://www.isti.com/earthworm-7-3-released>
(Último acceso Agosto 2012)

Pontificia Universidad Católica de Perú.
Investigaciones Teóricas en Estructuras en la
PUCP. (2012).
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_civil/Civil%20eventos/InvestigacionesTeoricasEnEstructurasSandraSantaCruz.pdf (Último acceso Septiembre 2012)

Lahr, John. (2012). The HYPO71 Earthquake
Location Program.
<http://www.jclahr.com/science/software/hypo71/8517.html> (Último acceso Septiembre 2012)

ORFEUS: Observatories and Research
Facilities for European Seismology. (2012).
PREPROC -The IASPEI PC Shareware
Library 2nd Edition, <ftp://www.orfeus-eu.org/pub/software/iaspei/pcsl/pcslinfo.txt>
(Último acceso Junio 2011)

SeismoSoft. (2012). Earthquake Engineering
Software Solutions,
<http://www.seismosoft.com/shop/pc/viewPrd.asp?idcategory=&idproduct=10> (Último acceso Mayo 2012)

Signal Lab. (2012). What is Sigview?,
<http://www.sigview.com/index.htm> (Último acceso Julio 2012)

SourceForge.Net. (2012). STK : Seismic
ToolKit written with GTK, <http://seismic-toolkit.sourceforge.net/> (Último acceso Junio 2012)

Synapse Science Center. (2012). Notes on
PITSA 4.5 with PITSA client library,
<http://www.synapse.ru/index.php?id=87>
(Último acceso Julio 2012)

U.S. Department of Energy, Office of
Scientific and Technical Information. (2012).

Abigail Zamora-Hernández *et al.*
Software para el procesamiento de sismos.

A status report on the development of
SAC2000: A New Seismic Analysis Code,
<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/110248-6DPz3/webviewable/110248.pdf> (Último acceso Julio 2011)

Fecha de envío de manuscrito: 23 de
noviembre de 2012

6. - REFERENCIAS.

A

Akpata, E. y Riha, K. (2004). Can Extreme Programming be used by a Lone Programmer? Informatics - the way to success; June 14 – 15, 2004. Prague, Czech Republic. (International Conference on Systems Integration, no. 12, pp. 167-175

Alcántara L., Almorat D., Macías M. A. (2005). “Evolución de la red de observación sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM”. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, IX Jornadas, 16-19 de noviembre de 2005, Concepción – Chile.

Altova. (2013). Altova UModel. <http://www.altova.com/es/umodel.html> (Último acceso: Ene/2014)

Arroyo, D. y Terán, A. (2002). “Factores de reducción de fuerzas sísmicas para el diseño de estructuras con sistemas pasivos de disipación de energía”. Revista de Ingeniería Sísmica, Enero-Junio, número 066, pp. 73-93. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C.

ASC. (2013). ASC: Applied Seismology Consultants. InSite Seismic Processor. <http://www.seismology.org/> (Último acceso: Ene/2014)

Assatourians, K. y Atkinson, G. M. (2008). Program: ICORRECT. University of Western Ontario, Canada. <http://www.seismotoolbox.ca/ICORRECT/ICORRECT.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

Assatourians, K. y Atkinson, G. M. (2010). Verification of Engineering Seismology Toolbox Processed Accelerograms: 2005 Riviere du Loup, Quebec earthquake. University of Western Ontario, Canada. http://www.seismotoolbox.ca/Documents/r10_RivLoupToolbox.pdf (Último acceso: Ene/2014)

B

Beck, K. (1999). Extreme Programming Explained. Addison-Wesley Professional, 1st Edition. 224 pp.

Beck, K. y Andres, C. (2004). Extreme Programming Explained: Embrace Change. Addison-Wesley Professional; 2nd Edition, USA, 224 pp.

Boletines. (2010). Boletines UNAM: Boletín UNAM-DGCS-338. Urge ampliar las redes de detección sísmica nacional. (2010).

http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_338.html (Último acceso: Ene/2014)

BUAP. (2005). BUAP: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Registro sísmico y procesamiento de datos. http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/ciencias/resources/LocalContent/35/1/registro.pdf (Último acceso: Ene/2014)

C

Cabañas, L., Benito, B., Cabañas, C., López, M., Gómez, P., Jiménez, M. E. y Álvarez, S., (1999a). Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo.- Aplicaciones. Física de la Tierra, N° 11

Cabañas, L., Benito, B., Cabañas, C., Jiménez, M. E., Gómez, P., López, M. y Álvarez, S., Ramírez, M. S., Nuche, R. (1999b). “Banco de datos de movimiento fuerte del suelo MFS desarrollado en el proyecto DAÑOS”. 1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Murcia, España.

Caiza, P. (2006). “Reto en el análisis sismorresistente de puentes colgados y atirantados”. Escuela Politécnica del Ejército, Centro de Investigaciones Científicas CEINCI. Quito, Ecuador.

Ceballos, F. J. (2011). Microsoft Visual Basic .NET Lenguaje y aplicaciones. 3ª Edición. Alfaomega Grupo Editor. México. 494 pp.

CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de desastres en México. (2011). Sismos: Serie Fascículos. 2da reimpresión de la 5ª edición. <http://portal.proteccioncivil.gob.mx/upLoad/Publicaciones/tecnicas/fsismo.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

CENAPRED: Centro Nacional para la Prevención de Desastres. (2004). Fascículo 2: Sismos. Instrumentación sísmica. Secretaría de Gobernación, México. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril2004/pdf/spa/doc2249/doc2249-d.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

CERI. (2013). CERI: Center for Earthquake Research and Information. Earthworm Documentation. <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc> (Último acceso: Ene/2014)

Chouliaras, G. (2009). Pitsa Download. http://users.otenet.gr/~gchoul/NOA_MOBNET.pdf (Último acceso: Ene/2014)

Ciencias. (2010). Foro Ciencias de la Tierra. Geología, Geofísica, Geografía y más. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Arequipa, Perú. ZMAP: Análisis sistemático de datos de sismicidad y catálogos sísmicos. <http://100ciasdelatierra.mforos.com/1826606/9386807-zmap-analisis-sistemico-de-datos-de-sismicidad-y-catalogos-sismicos/> (Último acceso: Ene/2014)

CIRES. (2013). CIRES: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C.- El sismo del 19 de septiembre de 1985. http://www.cires.org.mx/1985_es.php (Último acceso: Ene/2014)

CLICET. (2011). CLICET: Centro Latinoamericano de Ciencias de Investigaciones Científicas y Técnicas. México (1985). http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/110503_rad_tn.pdf (Último acceso: Ene/2014)

CNN. (2013). CNN México. Un sismo con magnitud 6.0 grados mece el centro de México. <http://mexico.cnn.com/nacional/2013/08/21/un-sismo-con-magnitud-62-grados-mece-el-centro-de-mexico> (Último acceso: Ene/2014)

CodeProject. (2003). What Is Extreme Programming? By Marc Clifton, J. Dunlap <http://www.codeproject.com/Articles/4597/What-Is-Extreme-Programming#Introduction> (Último acceso: Ene/2014)

Conexions. (2009). ¿Qué es Reingeniería del Software? <http://cnx.org/content/m17438/latest/> (Último acceso: Ene/2014)

Contreras, M. y Aguirre, J. (2000). "Obtención de espectros de respuesta considerando efectos de sitio obtenidos de registros por medio de la utilización de algoritmos genéticos". Reporte interno. Instituto de Ingeniería, UNAM

Converse, A. y Brady, G. (2002). USGS: United States Geological Survey: National Strong Motion Project. BAP: Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software; Version 1.0. 180 pp.

E

Earthworm. (2003). Turn to the worm: Seismic network operation using the USGS Earthworm system. ftp://hazards.cr.usgs.gov/Earle/Papers/Earthworm_ORFEUS.pdf (Último acceso: Ene/2014)

Earthworm. (2011). Earthworm User Community Wiki: Overview. <http://love.isti.com/trac/ew/wiki/Overview> (Último acceso: Ene/2014)

Entregeeks. (2009). A 24 años del Terremoto de 1985 de la Ciudad de Mexico. <http://entregeeks.wordpress.com/2009/09/18/a-24-anos-del-terremoto-de-1985-de-la-ciudad-de-mexico/> (Último acceso: Ene/2014)

ESPE. (2006). Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador. (2006). “Reto en el análisis sismorresistente de puentes colgados y atirantados”. Escuela Politécnica del Ejército, Centro de Investigaciones Científicas CEINCI. Quito, Ecuador. [http://www.espe.edu.ec/portal/files/libros/REVISTA1.2/RETOS%20EN%20PUENTES\(2006\).pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/libros/REVISTA1.2/RETOS%20EN%20PUENTES(2006).pdf) (Último acceso: Ene/2014)

Espinosa O., L. K. y Monsalve J., H. (2002). “Determinación de un modelo unidimensional de velocidades para el eje cafetero colombiano utilizando tomografía sísmica”. Memoria del Primer Simposio Colombiano de Sismología: Avances de la Sismología Colombiana en los últimos 20 años, s. 1, 9-11 oct. 2002. Universidad Nacional de Colombia, Observatorio Sismológico de Quindío, INGEOMINAS; Colombia.

Etcétera. (2010). El terremoto de 1985: fenómeno natural y gestión desastrosa. <http://www.etcetera.com.mx/articulo.php?articulo=4990> (Último acceso: Ene/2014)

ETH. (2013). ETH Zurich. Earthquake Statistics Group. Software: ZMAP. <http://www.earthquake.ethz.ch/software/zmap> (Último acceso: Ene/2014)

F

Flores, C., y Lozano, C. (2007). “Análisis y tratamiento de señales de fuentes sismo génicas de campo cercano a San José de Cúcuta”. Conferencia Internacional en Ingeniería Sísmica.

Flores, H., Cárdenas M., Lomnitz, C. (2009). “Respuesta sísmica en el lago de Texcoco. Resultados a partir de registros de movimientos fuertes”. Revista de Ingeniería Sísmica No. 81 37-51

FreeCode. (2013). STK Seismic Tool-Kit. Release: 0.69. <http://mirrors.freecode.com/projects/seismictoolkit-stk/releases/301624> (Último acceso: Ene/2014)

FUNVISIS: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. (2013). Instrumentación Sismica. http://www.funvisis.gob.ve/instrumentacion_sismica.php (Último acceso: Ene/2014)

G

Geociencias. (2013). Centro de Geociencias de la UNAM. Una breve introducción al paquete ZMAP y al lenguaje MATLAB. <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/introZMAP.html> (Último acceso: Ene/2014)

Geogiga. (2013). Geogiga Technology Corp. Geogiga Microtremor 7.3 Microtremor Observation Analysis Software. <http://www.geogiga.com/en/microtremor.php> (Último acceso: Ene/2014)

GEOTECH1. (2013). Geotech Instruments, Llc. SEISAN: The earthquake analysis software for Windows, Solaris and Linux Version 7.2 http://www.geoinstr.com/pub/manuals/seisan_7.2.pdf (Último acceso: Ene/2014)

GEOTECH2. (2013). Geotech Instruments, Llc. SEISPLUS Analysis Package. <http://www.geoinstr.com/ds-seisplus.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

GEOTECH3. (2013). Geotech Instruments, Llc. Seisplus v4.9: Interactive Seismological Data Processing Package <http://www.geoinstr.com/pub/manuals/seisplus.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

Giralt, A. (2002). “Evolución de la respuesta sísmica del terreno en el subsuelo arcilloso de la catedral Metropolitana de la Ciudad de México”. Tesina para obtener el título de la Escuela Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid e Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M., Minner, L. (2003). SAC2000: Signal Processing and Analysis Tools for Seismologists and Engineers. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Volume 81B, pág. 1613

Golfo. (2011). Diario El Golfo: “Mejora detección sísmica en México”. <http://www.elgolfo.info/elgolfo/nota/70398-mejora-deteccion-sismica-en-mexico/> (Último acceso: Ene/2014)

H

HALLIBURTON. (2013). Halliburton Landmark Software and Services. Software: Seispace[®] - Promax[®].
<https://www.landmarksoftware.com/Pages/SeisSpaceProMAX.aspx>
(Último acceso: Ene/2014)

Havskov, J. y Ottemoller, L. (2010). Routine Data Processing in Earthquake Seismology With Sample Data, Exercises and Software. Springer. USA. 390 pp.

Hayes, G. P., Briggs, R. W., Sladen, A., Fielding, E. J., Prentice, C., Hudnut, K., Mann, P., Taylor, F. W., Crone, A. J., Gold, R., Ito, T. y Simons, M. (2010). Nature Geoscience, Vol. 3, November 2010, pp. 1-7

Highsmith, J. (2002). Extreme Programming. Agile Project Management Advisory Service White Paper. Cutter Consortium. USA

Hispavista. (2013). Tecnología, Software: Seismic Tool Kit.
<http://software.hispavista.com/s/Seismic+ToolKit> (Último acceso: Ene/2014)

I

ILCE: Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. (2012). Biblioteca Digital ILCE: La ciencia para todos. Geodinámica de México y minerales del mar.
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/141/htm/geodina.htm> (Último acceso: Ene/2014)

IRIS1. (2013). IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology. Data Management System. Software. Processing Programs.
<http://www.iris.edu/software/downloads/processing/> (Último acceso: Ene/2014)

IRIS2. (2013). IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology. Data Management System. Software. SAC Users Guide
http://www.iris.edu/manuals/sac/SAC_Home_Main.html (Último acceso: Ene/2014)

IRIS3. (2013). IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology. DMS Newsletter : Volume 7 : No 1 : March 2005. SAC Availability for the IRIS Community.
<http://www.iris.edu/dms/newsletter/vol7/no1/>
(Último acceso: Ene/2014)

IRIS4. (2013). IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology. Software Downloads - SAC. SAC History.

<http://www.iris.edu/software/sac/HISTORY.txt> (Último acceso: Ene/2014)

IRIS5. (2013). IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology. SAC Data Handling Interface. <http://www.iris.edu/news/newsletter/vol7no4/page2.htm> (Último acceso: Ene/2014)

ISTI. (2013). Instrumental software Technologies Inc. Earthworm Central. <http://www.earthwormcentral.org/> (Último acceso: Ene/2014)

Itasca (2013). Itasca S. A. Noticias de la empresa. <http://www.itasca.cl/noticias01-05-09.php> (Último acceso: Ene/2014)

J

JGS. (2014). Fundación José García-Siñeriz y Pardomoscoso. Descargas de software. http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=491&lang=es (Último acceso: Ene/2014)

JoSeK. (2009). eXtreme Programming por José Carlos Cortizo Pérez, Diego Expósito Gil y Miguel Ruiz Leyva. <http://www.josek.net/publicaciones/xp.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

Juárez-Ramírez, R., Licea, G., Cristóbal-Salas, A. (2007). Ingeniería Inversa y Reingeniería Aplicadas a Proyectos de Software Desarrollados por Alumnos de Nivel Licenciatura. Sistemas, Cibernética E Informática Volumen 4 - Número 2 - A

L

Lee, W. H. K., J. C. Lahr. (1972). HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, Open File Report, U. S. Geological Survey, 100 pp.

Lahr, J. (2009). Fun with science. Software: HYPO71 earthquake location program and related seismology publications of W.H.K. Lee. <http://jclahr.com/science/software/hypo71/index.html> (Último acceso: Ene/2014)

M

Magaña, G. (2010). 4 de Abril: Mexicali, después del terremoto. Editorial Las Ánimas.

Malone, S. (1995). SUNWORM: the Pacific Northwest Seismograph Network real-time seismic recording and processing system. EOS V76, N° 46, 395 pp.

20Minutos1. (2014). Diario 20Minutos. Imágenes del terremoto de Haití: Foto 32/59. <http://www.20minutos.es/fotos/actualidad/imagenes-del-terremoto-de-haiti-6584/> Último acceso: (Ene/2014)

20Minutos2. (2014). Diario 20Minutos. Imágenes del terremoto de Haití: Foto 43/59. <http://www.20minutos.es/fotos/actualidad/imagenes-del-terremoto-de-haiti-6584/> Último acceso: (Ene/2014)

20Minutos3. (2014). Diario 20Minutos. Imágenes del Terremoto en Chile 2010: Foto 1/22. <http://www.20minutos.es/fotos/actualidad/imagenes-del-terremoto-de-haiti-6584/> Último acceso: (Ene/2014)

20Minutos4. (2014). Diario 20Minutos. Imágenes del Terremoto en Chile 2010: Foto 10/22. <http://www.20minutos.es/fotos/actualidad/imagenes-del-terremoto-de-haiti-6584/> Último acceso: (Ene/2014)

Moncayo, L. (1999). “Estudios de espectros inelásticos y factores de reducción para la ciudad de Guayaquil”. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Guayaquil, Ecuador.

Mundo1. (2014). Diario El Mundo. Japón, 7 días en 100 fotos: Foto 3/100. <http://www.elmundo.es/multimedia/index.html?media=PeNqqCkeQDn> (Último acceso: Ene/2014)

Mundo2. (2014). Diario El Mundo. Japón, 7 días en 100 fotos: Foto 18/100. <http://www.elmundo.es/multimedia/index.html?media=PeNqqCkeQDn> (Último acceso: Ene/2014)

N

NET. (2012). Net Framework. <http://aventuranet.wordpress.com/> (Último acceso: Ene/2014)

O

OpenSourcePixels. (2013). STK Seismic Tool-Kit 0.74. <http://www.opensourcepixels.com/open-source/stk-seismic-tool-kit-0-74/> (Último acceso: Ene/2014)

Ordaz, M. (2010). Entrevista con el Dr. Mario Ordaz Schroeder. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Marzo/2010

Ordaz, M., Montoya, D. (2002a). "Programa DEGTRA, versión 3.2.4". Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Ordaz, M., Montoya, D. (2002b). "Programa DEGTRA A4 versión 4.0.6". Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Ordaz, M. y Montoya, D. (2004) "Programa DEGTRA A4 versión 4.0.8", Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México

ORFEUS1. (2013). Orfeus: Observatories and Research Facilities for European Sismology. Seismological Software Library. http://www.orfeus-eu.org/software/seismo_softwarelibrary.html (Último acceso: Ene/2014)

ORFEUS2. (2013). Orfeus: Observatories and Research Facilities for European Sismology. The IASPEI PC Shareware Library 2nd Edition <ftp://www.orfeus-eu.org/pub/software/iaspei.pcs1/pcslinfo.txt> (Último acceso: Ene/2014)

ORFEUS3. (2013). Orfeus: Seismological Software Library: [ftp site. PREPROC Manuals.](ftp://orfeus.knmi.nl/pub/software/mirror/preproc/MANUALS/PDF/)
<ftp://orfeus.knmi.nl/pub/software/mirror/preproc/MANUALS/PDF/>
(Último acceso: Ene/2014)

OSTI. (2013). OSTI: Office of Scientific and Technical Information. A status report on the development of SAC2000: A new seismic analysis code. <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/110248-6DPzs3/webviewable/110248.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

P

Pangeados. (2011). Falla de San Andrés: Esperando al 'big one' en California. <http://www.pangeados.com/2011/12/falla-de-san-andres-esperando-al-big.html> (Último acceso: Ene/2014)

Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., Flannery, B. (1992). Fortran Numerical Recipes. Cambridge University Press.

Q

Quiun W., D. R. (1985). Tesis: "Implementación de un sistema para el proceso automático de señales sísmicas"; Tesis de licenciatura. Facultad

de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú

R

Rao, K.S.; Satyam, D. Neelima. (2005). "Seismic microzonation of Delhi region." *The Free Library* 01 January 2005. [http://www.thefreelibrary.com/Seismic microzonation of Delhi region-a0155784145](http://www.thefreelibrary.com/Seismic+microzonation+of+Delhi+region-a0155784145) (Último acceso: Ene/2014)

Riquer, G., Williams, F., Leyva, R., Lermo, J., Vargas, A., Guzmán, J., Trejo, F., Zamora, A. (2009). "Estudios del peligro sísmico y reducción del riesgo en las construcciones en Veracruz, Ver., México". Congreso de Investigación de AcademiaJournals.com, Vol. I: Las Ingenierías, 2da parte

S

Saragiotis, C. (2003). MatLab Central: File Exchange - SAC_Sun2PC_mat. <http://www.mathworks.nl/matlabcentral/fileexchange/3859-sacsun2pcmat> (Último acceso: Ene/2014)

Sauter F., Franz. (1989). Introducción a la sismología.- Fundamentos de Ingeniería sísmica.- Editorial Tecnológica de Costa Rica.

SEISAN. (2005). SEISAN: THE EARTHQUAKE ANALYSIS SOFTWARE FOR WINDOWS, SOLARIS, LINUX and MACOSX , Version 8.0 preliminary. http://linux.iingen.unam.mx/pub/Documentacion/Ing.Sismologica_OLLIN/Seisan/seisan_8.0.pdf (Último acceso: Ene/2014)

SEISMOSOFT. (2013). SeismoSoft: Earthquake Engineering Software Solutions. <http://www.seismosoft.com/shop/pc/viewPrd.asp?idcategory=&idproduct=10> (Último acceso: Ene/2014)

Seismotoolbox. (2008). Engineering Seismology Toolbox. <http://www.seismotoolbox.ca/index.html> (Último acceso: Ene/2014)

Seisplus. (2011). Seisplus v4.9: Interactive Seismological Data Processing Package. <http://www.geoinstr.com/pub/manuals/seisplus.pdf> (Último acceso: Ene/2014)

SEISWARE. (2010). Seisware International Inc. (2010). Corporate Brochure

SignalLab. (2013). What is Sigview? <http://www.sigview.com/index.htm> (Último acceso: Ene/2014)

Singh, S. K., Ordaz, M., Pacheco, J. F. (2003). Chapter VIII: Selected Topics in Earthquake Engineering. Theme 66: Advances in seismology with impact on earthquake engineering. (Editors) Lee, W., Kanamori, H., Jennings, P., Kisslinger, C. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part B, Academic Press, USA, 1081-1095

SSN1. (2013). SSN: Servicio Sismológico Nacional. Red Sismológica Nacional. http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/red_sismologica.jsp#Red%20de%20Banda (Último acceso: Ene/2014)

SSN2. (2013). SSN: Servicio Sismológico Nacional. Reportes especiales: Sismo de Mexicali, BC. Del 4 de abril de 2010, Mag. 7.2. (2012). http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/reportesEspeciales/Mexicali_Reporte_2010-007.pdf (Último acceso: Ene/2014)

SSN3. (2013). Servicio Sismológico Nacional. Sismograma del 21 de agosto. <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/mxig-gif.jsp> (Último acceso: Ene/2014)

STK. (2013). STK: Seismic ToolKit written with GTK+. http://seismic-toolkit.sourceforge.net/STK_index.html (Último acceso: Ene/2014)

STK. (2009). Seismic Tool Kit for Linux. <http://www.linuxlinks.com/article/20110401180758350/SeismicToolkit.html> (Último acceso: Ene/2014)

SYNAPSE. (2013). Synapse Science Center. Notes on PITSA 4.5 with PITSAclient library. <http://www.synapse.ru/index.php?id=87> (Último acceso: Ene/2014)

T

Temblores1. (2013). Temblores en México. Información, Historia, Estadísticas y Prevención. Estadísticas sobre Temblores en México. <http://www.tembloresenmexico.com/index.php/estadisticas-sobre-temblores-en-mexico> (Último acceso: Ene/2014)

Temblores2. (2013). Temblores en México. Información, Historia, Estadísticas y Prevención. Los Mayores Sismos en México. <http://www.tembloresenmexico.com/index.php/los-mayores-sismos-en-mexico> (Último acceso: Ene/2014)

Thorne, M. S. (2009). Michael Thorne's Homepage. Broadband Waveform modeling of deep Mantle Structure by Michael S. Thorne. web.utah.edu/thorne/pubs/2005_Thorne_PhD_Dissertation.pdf (Último acceso: Ene/2014)

Tinoco, O., Rosales, P., Salas, J. (2010). Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software. *Industrial Data*, vol. 13, núm. 2, julio, 2010, pp. 70-74, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Tisalema, M. (2004). “Diseño estructural de un edificio de 15 pisos de estructuras metálicas con aplicación del programa SAP 2000 aplicando el método LRFD”. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Torres, M. (2005). “Utilización de los métodos no destructivos- MND- para determinar propiedades físico mecánicas en rocas sedimentarias”. Tesis de Maestría en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Col.

Torres, M., Rodríguez, M. (2005). “Estudio de la respuesta sísmica de puentes de la ciudad de México. Implicaciones de diferentes consideraciones de análisis”. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. México. Pp.40-50, Septiembre, 2005

U

UNAM (2005). UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. Manual de uso del programa DEGTRA A4. <http://es.scribd.com/doc/45604310/Manual-Degtra> (Último acceso: Ene/2014)

UNIVERSAL. (2009). Diario El Universal: 24 años después ¿La ciudad olvida? http://fotos.eluniversal.com.mx/coleccion/muestra_fotogaleria.html?idgal=7309 (Último acceso: Ene/2014)

Universidad Bolivariana. (2013). Ingeniería de software: Programación Extrema XP. http://ingenieriadesoftware.mex.tl/52753_XP---Extreme-Programing.html (Último acceso: Ene/2014)

USGS. (2013). USGS: United States Geological Survey: National Strong Motion Project. Information about the PC version of the BAP software ftp://smftp.wr.usgs.gov/software/bap/4pc/bapinfo_1999.txt (Último acceso: Ene/2014)

V

VS. (2013). Visual Studio Magazine: What C# Devs Should Know About VB Programming

<http://visualstudiomagazine.com/articles/2008/12/01/what-c-devs-should-know-about-vb.aspx> (Último acceso: Ene/2014)

W

Wells, D. (2013). Extreme Programming: A gentle introduction. <http://www.extremeprogramming.org/> (Último acceso: Oct/2013)

Western. (2013). Western University Ontario Canada. Research & Technical Staff. http://www.uwo.ca/earth/people/research_staff.html (Último acceso: Ene/2014)

X

XProgramming.com. (2013). Ronald E. Jeffries: Basic Extreme Programming. <http://xprogramming.com/what-is-extreme-programming> (Último acceso: Ene/2014)

7. - GLOSARIO.

A

ASC	Applied Seismology Consultants.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información).

B

BASIC	Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code (Código simbólico de instrucciones de propósito general para principiantes).
BD	Base de datos.
BUAP	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

C

C3	Chrysler Comprehensive Compensation System (Sistema Integral de Compensación de Chrysler).
CAD	Canadian Dollar (Dólar Canadiense).
CEC	Código Ecuatoriano de la Construcción.
CENAPRED	Centro Nacional para la Prevención de Desastres.
CERI	Center for Earthquake Research and Information (Centro para la investigación e información sobre terremotos).
CFI	Canada Foundation for Innovation (Fundación Canadiense para la Innovación).
CIC	Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional.
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
CIRES	Centro de Instrumentación y Registro Sísmico.
CLICET	Centro Latinoamericano de Ciencias de Investigaciones Científicas y Técnicas.

CLR	Common Language Runtime (Lenguaje común de ejecución).
CNIT	Centro Nacional de Información sobre Terremotos del Observatorio Geológico de Estados Unidos.
CNN	Cable News Network (Cadena de Noticias por Cable).

D

DBMS	Data Base Manegement System (Sistema Administrador de Bases de Datos).
DHI	Data Handling Interface (Interfaz para el manejo de datos).
DOS	Disk Operating System (Sistema Operativo en Disco).

E

ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (Escuela Politécnica Federal de Zúrich).
EW	East-West direction. (Dirección Este-Oeste).

F

FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier).
FT	Fourier Transform (Transformada de Fourier).
FUNVISIS	Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

G

GIMP	GNU Image Manipulation Program (Programa de Manipulación de Imágenes de GNU).
GNU	GNU is Not Unix (GNU no es Unix).
GPR	Ground-penetrating radar (Radar de Penetración de Tierra).
GTK	GIMP Tool Kit (Conjunto de herramienta de GIMP).
GUI	Graphic user interface (Interfaz Gráfica del Usuario).

H

H/V Dirección Horizontal-Vertical.

HP Hewlett Packard.

I

IASPEI International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra).

IBM International Business Machines (Máquinas de negocios internacionales).

ILCE Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa.

IMSS Instituto Mexicano del Seguro Social.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IP Internet protocol (Protocolo de Internet).

IPN Instituto Politécnico Nacional.

IRIS Incorporated Research Institutions for Seismology (Instituciones de Investigación en Sismología Incorporadas).

ISOP International Seismological Observing Period (Periodo de Observación Sismológica Internacional).

ISSSTE Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado.

ISTI Instrumental software Technologies Inc. (Tecnologías de Software Instrumentales Incorporadas).

L

LLC Limited liability company (Empresa de responsabilidad limitada).

LRFD Load and Resistance factor design method (Método de diseño por factor de carga y resistencia).

M

MFS Movimiento Fuerte del Suelo.

MIL	Microsoft Intermediate Language (Lenguaje Intermedio de Microsoft).
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetss).
MND	Métodos no destructivos.
MS	MicroSoft.
MSDN	Microsoft Developer Network (Red de desarrollo de Microsoft).
MTPA	Multi Prolate Taper Analysis

N

NISEE	National Information Service for Earthquake Engineering (Servicio de Información Nacional de Ingeniería Sísmica).
NS	Nort-South direction (Dirección Norte-Sur).
NT	New Technology (Nueva Tecnología).

O

OAOO	Once And Only Once (Una y solo una vez).
OGEU	Observatorio Geológico de Estados Unidos.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
ORFEUS	Observatories and Research Facilities for European Seismology (Observatorios y Centros de Investigación para la Sismología Europea).
OSTI	Office of Scientific and Technical Information (Oficina de Información Científica y Técnica).

P

PC	Personal Computer (Computadora Personal).
PIB	Producto Interno Bruto.

R

RAM Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).

S

SAP Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung (Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos).

SMSIM Stochastic Method Simulation (Simulación de métodos estocásticos).

SSN Servicio Sismológico Nacional.

SW South-West direction (Direccion Sur-Oeste).

U

UAM Universidad Autónoma Metropolitana.

UML Unified Modeling Language (Lenguaje Unificado de Modelado).

UNAM Universidad Autónoma de México.

UPCP Universidad Pontificia Católica de Perú.

USD United States Dollar.

USGS U.S. Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos).

UTC Universal Time Coordinated (Tiempo Universal Coordinado).

UW2 University of Washington Format Data File Version 2 (Universidad de Washington Formato de datos de archivo Versión 2).

V

VAX Virtual Address Extended PDP-11 (Direccion Virtual Extendida de PDP-11).

VB Visual Basic.

VMS Virtual Memory System (Sistema de Memoria Virtual).

VS Visual Studio.

X

XP Extreme Programming (Programación Extrema).

XP41 Extreme Programming For one (Programación Extrema para uno).

Y

YAGNI You Ain't Gonna Need It (No lo va a necesitar).

8. - APENDICES.

8.1 Diccionario de datos

➤ D:\DiccionarioDeDatos\DiccionarioDeDatos.PDF

8.2 Código de la aplicación.

➤ D:\Codigo\Software.RAR

8.3 Artículos.

➤ D:\Articulos\ESRJ\33796-183016-1-PB.PDF

➤ D:\GeologiaColombiana\35579-140299-1-SM.PDF

➤ D:\GeologiaColombiana\Articulo en Edicion.PDF