

Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo MFS. Aplicaciones

L. CABAÑAS¹, B. BENITO¹, C. CABAÑAS¹, M. LÓPEZ², P. GÓMEZ¹,
M. E. JIMÉNEZ¹, S. ÁLVAREZ²

¹ Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica. UPM

² Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. UPM

RESUMEN

El Banco de Datos de Movimiento Fuerte del Suelo, MFS, ha sido desarrollado recopilando y clasificando acelerogramas y espectros de todo el mundo, con el fin último de facilitar la resolución de problemas de caracterización del movimiento esperado en un emplazamiento. Este banco se complementa con una base de datos, donde está catalogada la información sísmica correspondiente a los registros, y con el software desarrollado para consultas, procesado de registros, representación gráfica y cálculo de parámetros derivados. En este trabajo se presentan las características del banco y la base de datos incidiendo en aspectos como su composición, la estructura de la información, y posibles explotaciones. Una primera aplicación realizada haciendo uso de estos datos, ha sido la estimación de leyes de atenuación empíricas de la aceleración pico (PGA) en función de la magnitud, la distancia y la clase de suelo, para dos regiones, Mediterráneo y España. Otra de las aplicaciones realizadas, destinada a completar la utilidad de estos datos, ha sido el análisis de regresión para obtener leyes de correlación magnitud-intensidad para España.

ABSTRACT

The Strong Motion Databank MFS has been designed, compiling and classifying accelerograms and spectra from all over the world, and aimed to

provide a way out to problems of characterization of ground motion in a certain site. This databank is complemented with, an associate database where the available seismic information corresponding to the records is catalogued, as well as, with a developed software for consulting purposes, record processing, graphic representation and derived parameter assessment. In this work the characteristics of the developed databank and database are presented, emphasizing in aspects such as its composition, the information structure and possible exploitations. A first application using this data has consisted in estimating, within the Mediterranean region and Spain, empirical attenuation relationships for peak ground acceleration (PGA), as a function of magnitude, distance, and soil class. Aimed to complete the utility of this data, another application has been carried out to obtain magnitude-intensity relationships for Spain.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de diseñar y construir edificios y otras estructuras de mayor singularidad o de especial importancia en zonas sísmicas, ha llevado a la Ingeniería Sísmica a adquirir un interés práctico por la naturaleza del movimiento del suelo producido por los terremotos, y por el comportamiento de las estructuras y sus materiales ante estas cargas dinámicas.

En campo cercano, donde tiene lugar el movimiento fuerte, entran en juego de forma compleja numerosos parámetros de la fuente, del medio de propagación, y del suelo bajo el emplazamiento, que son generalmente difíciles de estimar y relacionar. Por ello, casi siempre se han tratado de buscar leyes y relaciones referentes al movimiento del suelo y a sus efectos, de la mayor simplicidad posible, basadas en datos observados fiables, y en las que intervinieran variables con un significado directo para el cálculo de estructuras y componentes (Ambraseys 1996). Los registros de movimiento fuerte (acelerogramas) son los datos de entrada básicos para la estimación de este tipo de relaciones, y constituyen una valiosa fuente de información para todas las investigaciones y aplicaciones relacionadas con la mitigación de desastres y de riesgos sísmicos.

Esta información resulta esencial, en primer lugar, para la caracterización y cuantificación del movimiento esperado en un emplazamiento. Aunque es evidente que los datos específicos de la zona son los más apropiados para dicho objetivo, en regiones con escasez de datos (baja o moderada sismicidad, falta de instrumentación adecuada), la información de otras regiones, (adyacentes o lejanas), puede ser utilizable si pueden establecerse afinidades tectónicas o de otro tipo. Esto se justifica porque el conocimiento que se extrae de

los acelerogramas sobre el efecto de la fuente, la atenuación y la amplificación local, puede ser extrapolable, dentro de los márgenes de incertidumbre adecuados, a zonas análogas a las de los registros. Éste es el caso de la Península Ibérica, donde los acelerogramas registrados corresponden a terremotos de baja magnitud, insuficientes para desarrollar cálculos de peligrosidad en función de parámetros instrumentales, y para la deducción de espectros de respuesta en los emplazamientos del área. Así, la posibilidad de acceder a acelerogramas registrados en otras zonas cobra especial interés y aporta una vía de solución a problemas y aplicaciones como:

- Desarrollo de modelos empíricos de atenuación que permitan predecir aceleraciones y velocidades pico y espectrales (PGA , PGV , $SA(\omega)$, $SV(\omega)$) en función de magnitud, distancia y condiciones locales.
- Selección de espectros de respuesta reales para construir o verificar espectros de diseño y de control.
- Selección de historias temporales del movimiento para la realización de análisis dinámicos de respuesta.
- Estudio empírico del efecto local del suelo.
- Realización de estudios empíricos de vulnerabilidad y daños (riesgo sísmico específico).
- Estudios estadísticos de correlación de parámetros macrosísmicos-instrumentales.
- Estudios comparativos del movimiento del suelo (registrado o resultado de ecs. de predicción previas) en diferentes regiones.
- Otros.

Todas estas razones hacen que, la recopilación y clasificación de registros de movimiento fuerte en un banco de datos, atendiendo a sus características geológicas, geofísicas y sismológicas, sea un requisito previo, fundamental para utilizar eficazmente estos datos y la información que de ellos se deriva. El Banco de Datos MFS (Movimiento Fuerte del Suelo), llevado a cabo bajo estas premisas, a partir de recopilaciones y colecciones de acelerogramas de todo el mundo, constituye así una importante utilidad, destinada a facilitar la realización de estudios como los anteriormente expuestos.

2. ANTECEDENTES. OTROS BANCOS DE DATOS

En otros países la construcción de bancos de datos de movimiento fuerte ha sido abordada con anterioridad por numerosas instituciones (generalmente

agencias productoras de datos u organismos vinculados con la Ingeniería Sísmica), a medida que se ha ido incrementando el número de registros existentes.

En general, el desarrollo de estos bancos de datos ha supuesto para cada institución un considerable esfuerzo y una labor continuada de años, en cuanto a programación, mantenimiento y actualización de sistemas y datos (Bommer 1991, Brady 1992).

EEUU es el país con mayor número de recopilaciones y bancos de datos, promovidos por diferentes instituciones, y en su mayor parte con facilidad de acceso vía Internet (Wald 1997). Así por ejemplo están: SCEC (Southern Cal. Earthq. Center, Univ. of Cal. Santa Barbara), LDEO-NCEER (National Center for Earthq. Eng. Research, Lamont Doherty Obs. of Columbia Univ.), CDMG-CSMIP (Cal. Division of Mines & Geology, Cal. Strong Motion Instrumentation Program) y USGS-NSMP (U.S. Geological Survey, Nat. Strong Motion Program).

En México, la denominada Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, creada en 1992 con la participación de las principales agencias del país y gestionada por un Comité Nacional, contiene una importante colección de datos de todo el país desde 1960 con un amplio rango de magnitudes. También, la Red del Estado de Guerrero promovida por el Seismological Lab. de la UNR (Univ. de Reno, Nevada) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Univ. Autónoma de México) contiene gran cantidad de datos desde 1985 hasta la actualidad.

En Europa cabe destacar el banco de datos tripartito ENEA-ENEL (Italia), CEA-IPSN (Francia) e Imperial College (Inglaterra), desarrollado desde 1987, en el que cada institución ha implementado sus propios sistemas de explotación y base de datos (Goula et al. 1988, CEA/IPSN 1989, Bommer 1991, Bommer y Ambraseys 1992, Mohammadioun 1992); el realizado en Noruega por el NORSAR (Dhale et al. 1990); la base de datos de la Red Acelerométrica de Friuli RAF (DST-Univ. de Trieste, con participación del ENEL y ETH) con datos del NE de Italia; el banco de datos de la Swiss Nat. Strong Motion Network patrocinada desde principios de los 80 por la Asociación de Compañías Eléctricas (VSE) y gestionada por el ETH (Swiss Seismological Service, Zurich); el banco de datos de la Red Acelerométrica Nacional de Turquía con registros desde 1976 y con acceso ftp, y también el del CSEM (European-Mediterranean Seismological Centre) desarrollado desde 1994 por el CDGS (Center of Geophysical Computer Data Studies, Rusia) y cuya base de datos puede consultarse en Internet, si bien es necesario un password para importar datos (Mikoyan et al. 1997).

En Japón, distintas organizaciones implicadas en la observación y registro de movimientos fuertes del suelo, formaron en 1991 una asociación (Association for Earthquake Disaster Prevention) para el desarrollo de una base de

datos común SMARD, (Sugito 1992). Actualmente el NIED (Nat. Res. Inst. for Earth Science and Disaster Prevention) tiene en funcionamiento el sistema Kyoshin Net (K-NET) que organiza y distribuye en Internet los datos obtenidos en 1000 observatorios distribuidos por todo el país, con estaciones de campo libre (incluyendo información de las condiciones del suelo y perfiles de velocidad P y S).

En el Anexo se listan las direcciones Internet existentes de estos bancos y bases de datos.

3. BANCO DE DATOS MFS

El Banco de Datos MFS ha sido desarrollado durante la ejecución del Proyecto Daños (1997-1999) patrocinado por el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) y ENRESA (Empr. Nac. de Residuos Radiactivos). La recopilación inicial de datos, procede de diferentes colecciones de acelerogramas, IGN, España (Carreño et al. 1998); ENEA, Italia; NGDC-NOAA, EEUU (Dunbar, Row, 1996); y de trabajos de recopilación previos realizados por algunos de los autores del trabajo (Cabañas 1992, Benito 1993).

En el diseño del modelo para el almacenamiento y gestión de los datos se ha tratado de tener en cuenta, tanto aspectos referentes al tipo de datos, como a la viabilidad de su implementación; sobre todo por la dificultad que supone sistematizar cantidades masivas de datos de tan distintas procedencias y con diferentes posibilidades de utilización posterior. En el modelo adoptado cabe distinguir tres partes, que se describen a continuación:

- Los *ficheros de datos* o banco de datos propiamente dicho, que consta de una extensa colección de acelerogramas y espectros de todo el mundo, registrados a diferentes distancias y en diferentes tipos de emplazamientos.
- Un sistema de catalogación o *base de datos* que contiene numerosas características y parámetros de los registros de movimiento.
- Una serie de *programas y utilidades informáticas* destinadas a la explotación y tratamiento de los datos.

3.1. Ficheros de Datos

Los ficheros de datos tienen formato ASCII, y son historias temporales y espectros correspondientes al registro del movimiento del suelo. Cada fiche-

ro contiene el registro de una sola dirección o componente. Estos archivos están compuestos generalmente, por una cabecera con información de los datos referentes al terremoto, la estación de registro y el acelerógrafo empleado, y después de la misma se tienen las filas de datos numéricos correspondientes a las historias o series temporales, o bien a los espectros de Fourier y de respuesta. Todos ellos han sido almacenados en el disco de una estación de trabajo (Sun, sistema operativo Solaris 2.7), que además dispone de una unidad de cinta para almacenamiento masivo y copias de seguridad.

La serie total de subproductos para una sola componente, como resultado de diferentes tratamientos, consta de: aceleración sin corregir, aceleración corregida junto con sus integrales velocidad y desplazamiento, espectros de respuesta (para diferentes amortiguamientos) y espectros de amplitud de Fourier.

Por acelerograma no-correctado debería entenderse, en el caso de registros inicialmente analógicos, aquel que ha sido digitalizado, ajustado al origen de tiempos, escalado en tiempo y aceleración y con un ajuste o corrección de línea base (Bommer 1991).

Los acelerogramas corregidos contienen generalmente aceleración, velocidad y desplazamiento. Para su obtención, en el caso de registros analógicos, no es posible integrar directamente el acelerograma sin corregir, debido a los errores y/o ruido de baja frecuencia introducido por el proceso de corrección de línea base, el proceso de digitalización y otros factores como distorsiones en el copiado y extensión del registro analógico, y también ruido de alta frecuencia debido a las distorsiones en fase y amplitud introducidas por el transductor. La base del proceso de corrección, está en el diseño y aplicación de un filtro que permita eliminar el ruido de alta y baja frecuencia, pero es imposible eliminar todo el ruido y retener exclusivamente la señal. Han de elegirse los límites del filtro que simultáneamente permitan conservar el máximo de información posible, dentro del rango de frecuencias de interés. Esto se hace generalmente mediante algún procedimiento que permita determinar dónde la relación señal-ruido es aceptable. En el caso de los registros digitales, el proceso se simplifica notablemente, pues en primer lugar se evita el costoso trabajo de digitalización. Además estos instrumentos poseen mayor ancho de banda que da mayor contenido frecuencial a la señal, un mayor rango dinámico que permite mayor resolución y una memoria pre-evento que recupera el inicio de la señal, evitando la pérdida de información de las primeras llegadas (Roca 1989).

Ha de decirse que no existe una definición universal de acelerograma corregido y no-correctado y en algunos casos, registros clasificados como no-correctados pueden haber sufrido algún tipo de procesamiento.

La clasificación de los ficheros en el banco de datos, se ha basado en la procedencia geográfica de los mismos. Se ha realizado una clasificación en forma de árbol de directorios con un primer nivel de agrupamiento por grandes regiones geográficas (ver Tabla 1), dentro de éstas un segundo nivel por países, y finalmente en cada país un tercer nivel que contiene distintas carpetas. Los nombres de éstas incluyen un identificador del país de 3 letras, seguidos de una numeración secuencial de 2 dígitos (en caso de existir varias) y de un identificador de una letra para la clase de ficheros contenidos ('n' para acelerogramas no-correctados, 'c' para correctados, y 'e' para espectros). Dentro de las carpetas de este nivel se encuentran finalmente los ficheros de datos. Esta nomenclatura permite una identificación rápida de los datos en cuanto a procedencia geográfica de los mismos y a localización física en el banco de datos.

En la figura 1 se muestra gráficamente esta clasificación, mediante la expansión del árbol de directorios descrito.

Una vez recopilados los datos y clasificada la información tanto en el banco como en la base de datos asociada, ha sido necesario realizar minuciosas revisiones de los datos con el fin de asegurar la unicidad y la calidad de los mismos. Como resultado de estas revisiones, se han corregido errores,

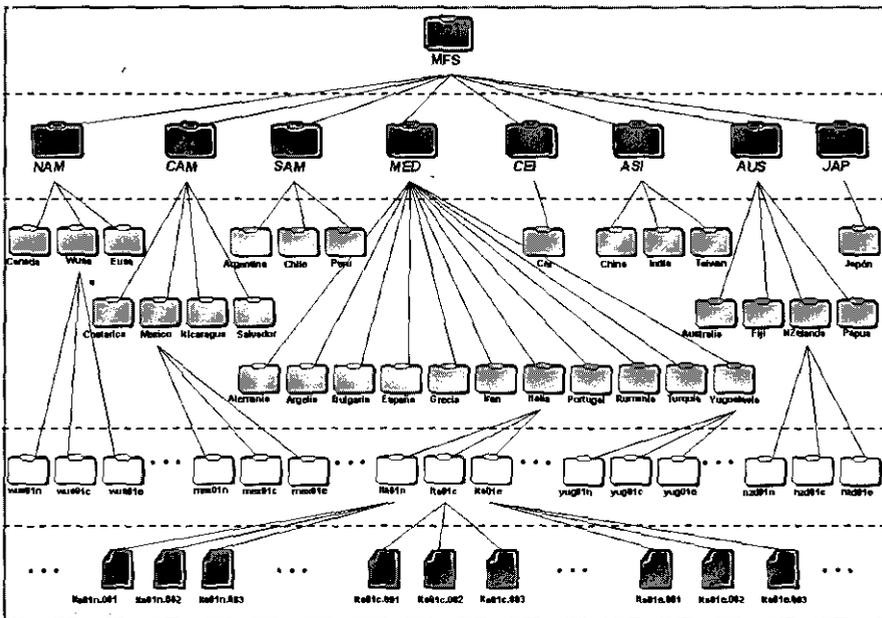


Figura 1. Organización de los ficheros de datos del Banco de Datos MFS.

detectado datos duplicados e identificado segundas correcciones (acelerogramas corregidos con distintos parámetros) y segundas digitalizaciones (acelerogramas no-corregidos obtenidos en distinta forma).

En la actualidad se dispone del orden de 15.000 componentes (sin incluir segundas digitalizaciones o correcciones), aproximadamente 5.000 acelerogramas triaxiales, muchos de ellos registrados con instrumentos analógicos, que abarcan temporalmente registros desde el año 1933 hasta la actualidad, y de las cuales puede existir la serie procesada completa, (acelerograma no corregido, corregido y espectros), o tan solo una parte (ver tabla 2). Esto supone aproximadamente una cantidad de más de 25.000 ficheros y 2 Gb de espacio en disco.

En la tabla 1 se muestran las contribuciones en porcentaje al Banco de Datos MFS, en eventos y registros, de cada una de las grandes regiones consideradas, junto con los países que las componen.

Tabla 1. Contribución de datos al Banco MFS en eventos y registros (porcentajes)

Región	Países	% Terremotos	% Registros (1 comp.)
ASI. <i>Región Asiática</i>	China, India, Taiwan	10.8	27.1
AUS. <i>Región Austral</i>	Australia, Fiji, N. Zelanda, Papua	5.7	3.0
CAM. <i>Centroamérica</i>	Costa Rica, México, Nicaragua, Salvador	24.0	14.7
JAP. <i>Japón</i>	Japón	4.8	2.0
MED. <i>Región Mediterránea</i>	Alemania, Argelia, Bulgaria, España, Grecia, Iran, Italia, Portugal, Rumania, Turquía, Yugoslavia	20.2	12.8
NAM. <i>Norteamérica</i>	Canadá, EEUU	28.8	38.0
CEI. <i>Confederación de Estados Independientes</i>	Rusia y antiguas Repúblicas Soviéticas	4.4	1.2
SAM. <i>Sudamérica</i>	Argentina, Chile, Perú	1.3	1.2

Esta distribución geográfica de datos da el mayor porcentaje de contribución a América del Norte, dado que los acelerógrafos comenzaron a instalarse aproximadamente unos 30 años antes que en Europa (Bommer y Ambra-

seys 1992), y es una región de alta actividad tectónica, en particular, la zona Oeste. La Región Asiática es la siguiente en porcentaje de contribución de registros (aunque no en número de eventos), fundamentalmente debido a la red densa Smart1 de Taiwan. Después siguen Centroamérica, en la que se ha incluido México con gran cantidad de registros, la Región denominada Mediterránea, de la que Italia es el país que más datos aporta, la Región Austral, la Región de Japón, la región denominada CEI que incluye a Rusia y las antiguas Repúblicas Soviéticas, y Sudamérica.

3.2. Base de Datos

La base de datos es el sistema de catalogación de los registros de movimiento fuerte y de las características de interés asociadas a éstos. Constituye una herramienta fundamental para la selección y utilización de los datos del banco.

Para su diseño ha sido necesario especificar en primer lugar, qué tipo de información ha de ser almacenada, cómo ha de organizarse o distribuirse y qué tipos de relaciones deben establecerse. Para la elección de los campos que debe contener la base de datos se ha pensado sobre todo en posibles aplicaciones posteriores, a la vez que en la homogeneidad y uniformidad en la definición de cada uno de ellos.

Básicamente, un determinado registro del movimiento queda identificado por el tiempo origen y la localización del terremoto, la estación en la que ha sido registrado, la dirección de la componente y el nombre del fichero donde tal registro (de una componente) se guarda.

3.2.1. Tablas resultantes

Como resultado del planteamiento anterior, se han propuesto las tablas que siguen a continuación y de las que se indican algunas características de interés. La composición y las relaciones de estas tablas se muestran en la figura 2.

La tabla *Terremoto* contiene los parámetros referentes a la localización y tamaño (magnitudes y momento sísmico, intensidad epicentral) de cada uno de los terremotos de los que se tienen registros, así como descripciones de su entorno tectónico.

La tabla *Estación* contiene las columnas referentes a la localización de la estación donde se registró el evento, su clasificación en cuanto a tipo de emplazamiento (campo libre, estructura etc.) y en cuanto a tipo de suelo, con

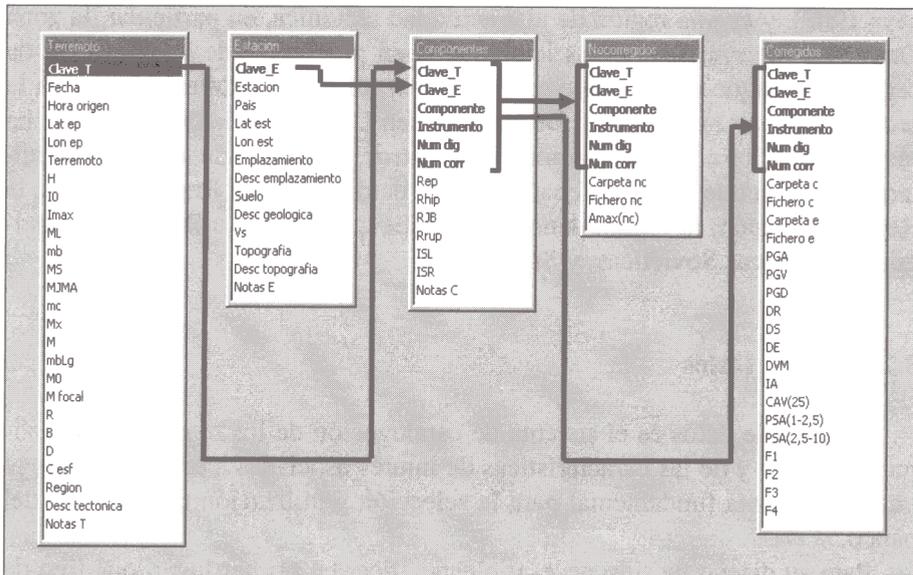


Figura 2. Tablas, campos y relaciones de la base de datos asociada al Banco MFS.

descripciones geológicas y geotécnicas cuando así sea posible. Se consideran estaciones diferentes, aquellas en las que aún siendo el mismo emplazamiento se dispusieron diferentes instrumentos, por ejemplo en diferentes plantas de un edificio.

La tabla *Componentes* guarda la información común a cada componente del movimiento, como son, el modelo de instrumento y diferentes medidas de distancia entre la fuente y la estación. Además, dos campos, *número de digitalización* y *número de corrección*, han sido introducidos en esta tabla para poder identificar cada una de las posibles digitalizaciones (acel. no corregida) y correcciones (acel. corregida) de un mismo registro. Por ello, estos campos se incluyen también en las tablas que siguen a ésta, *Nocorregidos* y *Corregidos*.

Los parámetros de distancia que se han considerado son la *distancia epicentral*, la *distancia hipocentral*, la distancia horizontal más corta a la proyección vertical de la ruptura, denominada *distancia Joyner & Boore*, por ser estos autores los primeros en definirla (Joyner y Boore 1981), y también la distancia mínima a la superficie de ruptura denominada R_{rup} .

En la tabla *Nocorregidos* se almacenan los campos relativos al registro sin corregir, como son la aceleración máxima sin corregir, la localización del fichero que contiene los datos, el número de digitalización al que corresponden, y el número de corrección en caso de que exista.

En la tabla *Corregidos* la información contenida para cada componente del movimiento corresponde básicamente a los valores máximos registrados, bandas de filtrado en la corrección, parámetros calculados tales como duración, I. Arias, Cav, y aceleración espectral PSA; y también la localización del fichero de datos. Todos estos parámetros tienen un notable interés en la caracterización del registro, y por ello han sido considerados, si bien no ha sido posible todavía el cálculo de muchos de ellos.

Una vez corregido el acelerograma, pueden calcularse los espectros de Fourier y de respuesta correspondientes. Es por ello, que en esta tabla aparecen además de los campos de localización del fichero corregido, también los del fichero de espectros.

Tabla 2. Inventario de la Base de Datos

N.º TERREMOTOS: 1.414							
SIN ASIGN.			M ≤ 4.0			M > 4.0	
202			537			675	
N.º ESTACIONES: 1.639							
EDIFICIOS			C. LIBRE	INSTALACIONES			SIN ASIGN.
711			245	324			347
Sótano	Planta baja	Resto		Puentes	Presas	Otros	
177	214	320		25	131	168	
N.º COMPONENTES (ndig < 2, ncorr < 2): 15.742							
SOLO NO-CORREG. (ndig = 1, ncorr = 0)			SOLO CORREG. (ndig = 0, ncorr = 1)			NO-CORREG. + CORREG. (ndig = 1, ncorr = 1)	
7.454			3.228			5.060	

Después de estudiar diferentes alternativas, la base de datos ha sido desarrollada en el sistema Access de Microsoft. Una vez creada la estructura se han insertado los datos obtenidos de la lectura de los registros del banco de datos. A partir de aquí y paralelamente a la revisión de los ficheros del banco de datos, se han venido realizando sucesivas revisiones de la base de datos. Éstas han permitido corregir diferentes tipos de errores en los datos, y completar información anteriormente no disponible, encontrada en catálogos y bibliografía.

El inventario actual de la base de datos, produce los resultados que se muestran en la tabla 2, en cuanto a número de terremotos, estaciones y componentes.

Este inventario puede dar una idea del volumen de información manejado. El alto número de eventos (y por tanto componentes) con magnitudes pequeñas se debe a la inclusión en el banco de numerosos registros correspondientes a réplicas (por ejemplo de México), enjambres de eventos (Arkansas), y otros de zonas de sismicidad moderada (por ejemplo España). Los terremotos cuya magnitud no está asignada corresponden generalmente a réplicas y pequeños terremotos que no han podido ser localizados en los catálogos manejados. Para las componentes se indican también los números de digitalización y corrección que sirven para distinguir cada grupo considerado en la tabla. En el recuento no se han incluido segundas digitalizaciones y correcciones.

3.3. Programas y Utilidades Informáticas

Para facilitar la gestión, selección y análisis de los datos se han elaborado, en paralelo a las actividades de organización y clasificación de los mismos, diferentes programas y utilidades informáticas, que a continuación se describen.

3.3.1. Programa *MFSDaños*

El programa denominado *MFSDaños* es un programa de interfaz de la base de datos MFS, cuyo objetivo es la consulta y explotación de ésta de una forma amigable al usuario. Este programa permite, por una parte, realizar una consulta de tipo general en la que se relacionan e incluyen todas las tablas y campos de la base de datos, y por otra, realizar consultas variables, en las que se pueden elegir diferentes parámetros de búsqueda y rangos de valores de éstos, formando la combinación lógica que se precise. En ambos tipos de consulta, los resultados pueden verse hojeando la ficha individual de cada componente, o en un listado en forma de tabla, y pueden ser grabados en fichero o imprimirse para su utilización en tareas posteriores. Desde las citadas fichas puede también obtenerse un gráfico preliminar de la componente corregida (aceleración, velocidad y desplazamiento) y también calcular y representar los espectros de respuesta de aceleración absoluta, velocidad y desplazamiento relativos, para diferentes amortiguamientos.

Un ejemplo de una de las salidas de este programa, tras una consulta determinada se muestra en la figura 3.

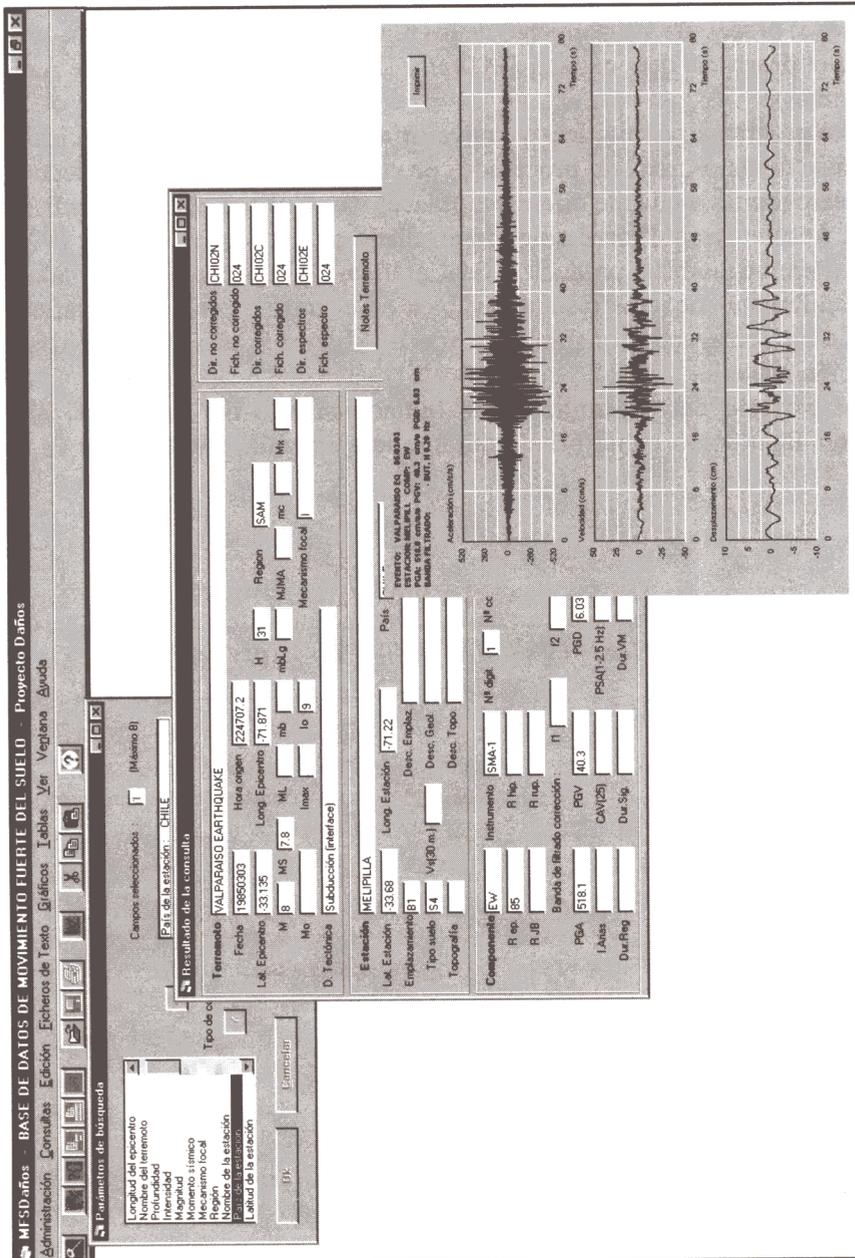


Figura 3. Programa MFS-Daños: Interfaz de la Base de Datos MFS.

3.3.2. Programa ITADaños

Para el procesado y tratamiento de los registros de movimiento, se ha preparado el programa denominado *ITADaños* (Interfaz de Tratamiento de Acelerogramas).

Este programa permite leer y convertir a distintos formatos los ficheros del banco de datos, realizar procesados de corrección y cálculo de espectros de acelerogramas mediante diferentes enlaces vía shell con el programa BAP (Basic Accelerogram Processing) desarrollado en el USGS (Converse 1992, 1995). Permite también, producir salidas gráficas de los ficheros de entrada y de los diferentes ficheros resultantes, bien en el mismo programa (gráficos draft), o bien enlazando con gráficos Excel de Microsoft, más adecuados para la edición posterior.

Un ejemplo del organigrama de funcionamiento del programa, que sirve también como menú básico durante la ejecución, puede verse en la figura 4.

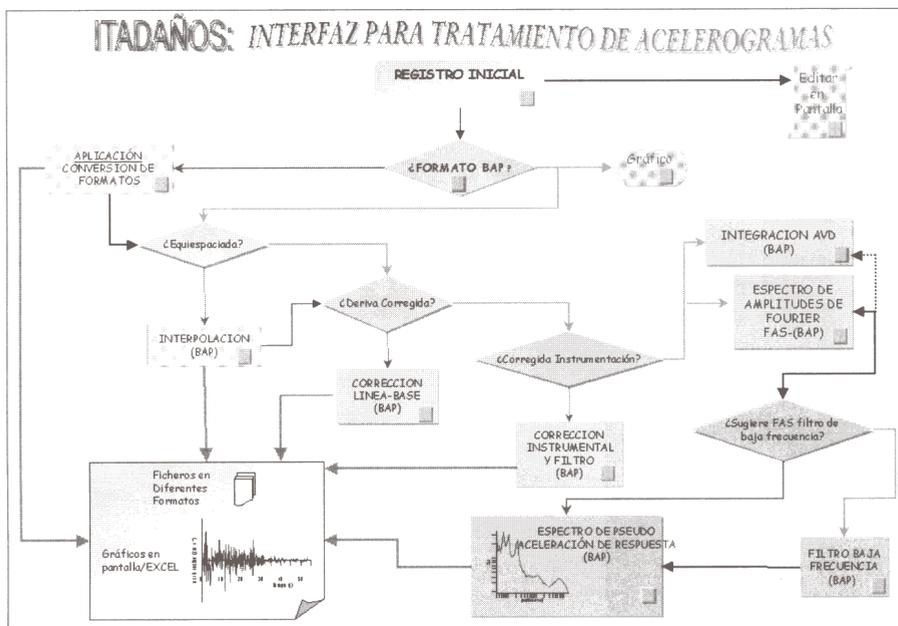


Figura 4. Programa ITADaños: Interfaz de Tratamiento de Acelerogramas.

3.3.3. Otros programas

También se han desarrollado programas y macros dedicados a la realización de diferentes tareas de interés, como lectura y conversión de formatos desde ASCII al formato binario SAC (Seismic Analysis Code, LLNL) y viceversa, cálculo de distintos parámetros y representación gráfica con salidas Postscript.

Los programas desarrollados para el cálculo de algunos parámetros, corresponden al cálculo de la intensidad Arias a partir del registro completo de la aceleración corregida o bien filtrada en ciertas bandas, y al cálculo del CAV (velocidad absoluta acumulada), a partir de los ficheros de aceleración corregida (programas *aricav.f* y *arifil.f*)

El programa SAC de tratamiento de señales, es un lenguaje de comandos que permite la programación de macros para la realización de tareas rutinarias. Los macros desarrollados pueden ser usados sistemáticamente e incluyen diferentes representaciones gráficas de acelerogramas y espectros de Fourier (figura 5), filtrados, cálculo de razones espectrales etc.

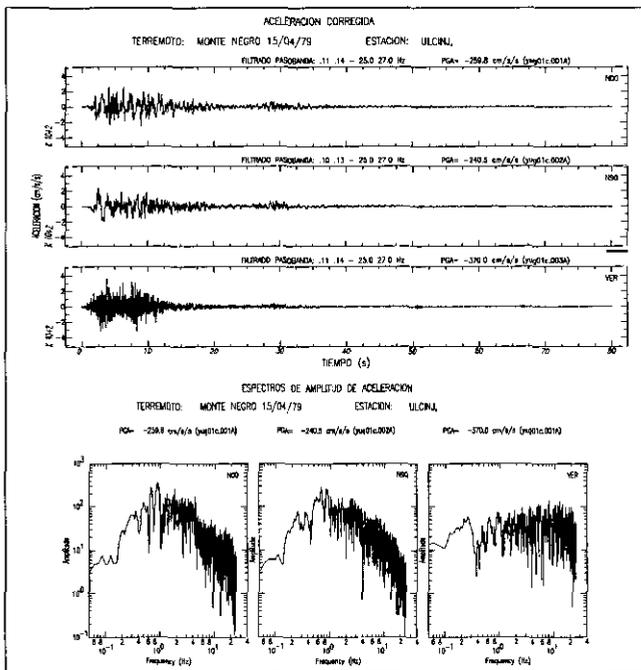


Figura 5. Macros SAC. Salidas gráficas de aceleración y espectros de Fourier.

Otros programas que han sido incorporados a este entorno informático, por su utilidad, y sencillez de funcionamiento son el programa *Pitsa*, y el programa *Nonlin*.

Pitsa (versión 4.5) realizado por F. Scherbaum y J. Johnson (Univ. de Postdam), es también un programa de tratamiento de señales sísmicas, que a diferencia del anterior contiene un interfaz de usuario con menús para la realización de los distintos procesos. *Nonlin*, es un programa de libre distribución desarrollado por F.A.Charney (Advanced Struct. Concepts Inc.) y distribuido por la FEMA (US. Federal Emergency Magnagement Agency). El programa realiza análisis dinámicos de sistemas estructurales de un grado de libertad y tiene un carácter fundamentalmente didáctico. Entre sus utilidades están la obtención de espectros de respuesta y de parámetros de respuesta estructural (energía, diagramas de histéresis, etc).

3.4. Configuración Final

La configuración final del Banco de Datos MFS, en la que se incluyen todos los elementos anteriormente explicados, se muestra en el esquema de la figura 6.

En este esquema, se dan brevemente algunas de las características de cada uno de los elementos, y se indican mediante líneas los flujos de entrada y salida de información. Las líneas de trazos discontinuos señalan posibles realimentaciones de los sistemas banco y base de datos, nuevas inserciones, corrección de acelerogramas, cálculo de espectros, cálculo de parámetros etc. Una característica importante del sistema es la división y compartición en dos plataformas informáticas diferentes, Unix y Windows. La primera tiene mayor potencial en cuanto al manejo de ficheros de datos, así como en la posibilidad de utilización de códigos de tratamiento de señales y cálculo, prácticamente específicos de la Sismología. La segunda tiene la versatilidad de un sistema muy difundido y conocido, en el que pueden aprovecharse todo tipo de aplicaciones habituales (procesadores de texto, hojas de cálculo, programas de gráficos, etc) así como la facilidad para el desarrollo de programas en lenguajes visuales.

4. APLICACIONES DEL BANCO DE DATOS EN INGENIERÍA SÍSMICA

Entre las primeras aplicaciones realizadas haciendo uso de los datos contenidos en el Banco de Datos MFS, cabe destacar los análisis de regresión

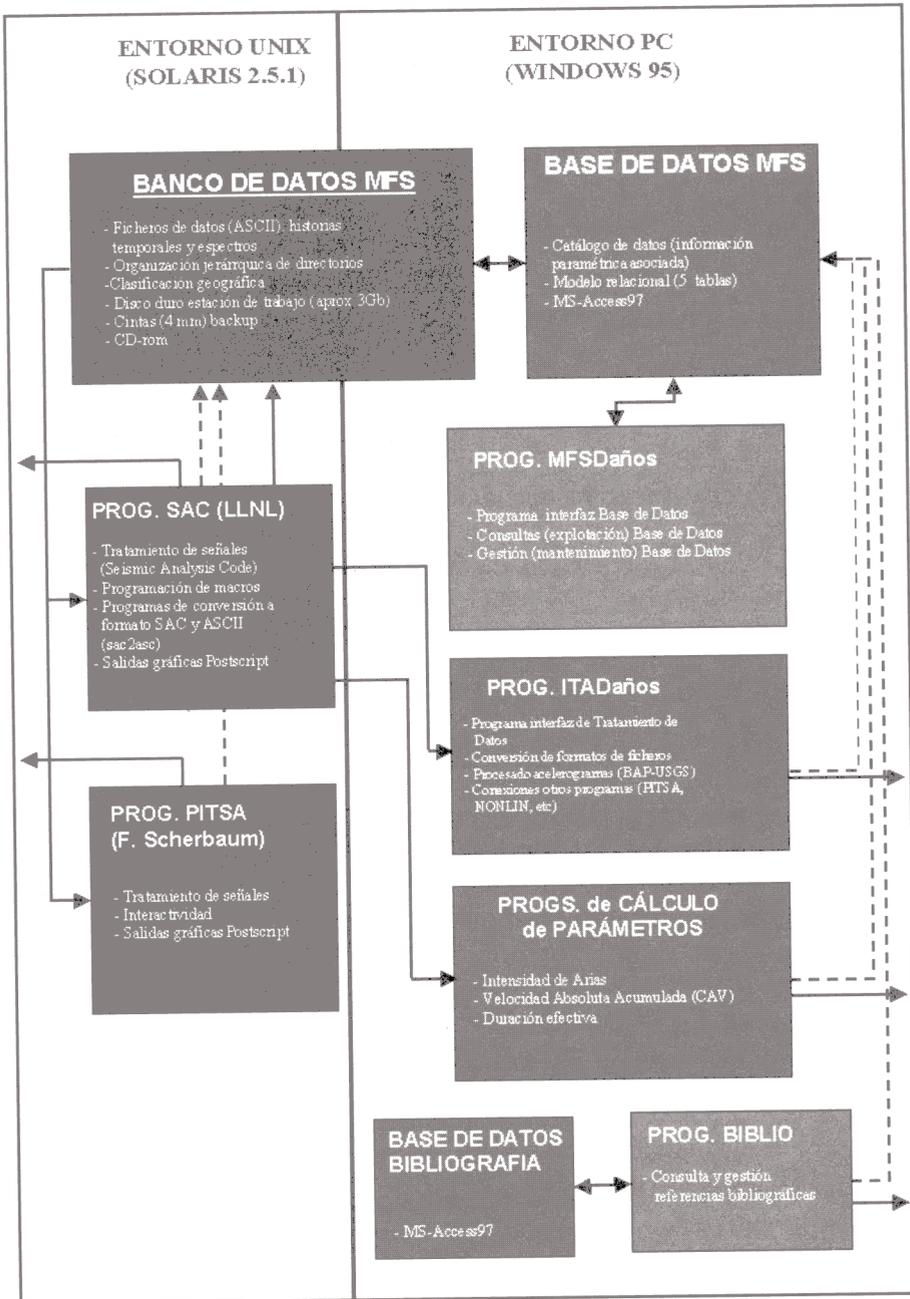


Figura 6. Banco de Datos MFS. Configuración final.

para deducir leyes de atenuación de la aceleración pico (PGA) en función de la magnitud, la distancia y la clase de suelo, para dos regiones: Mediterráneo y España.

Otra de las aplicaciones realizadas, en este caso no con los datos recopilados, pero sí destinada a completar la utilidad de los mismos, ha sido el análisis de regresión para obtener leyes de correlación magnitud-intensidad para España a partir de datos del Catálogo Sísmico del IGN.

4.1. Ajuste de Modelos de Atenuación para la Aceleración Pico (PGA)

El fundamento físico, la formulación matemática del modelo y la metodología a seguir para su estimación han sido descritos con detalle por Benito (1993).

El modelo final que se ha tratado de ajustar está dado por la expresión:

$$\ln A = C_1 + C_2 \cdot M + C_3 \cdot (R + R_0) + C_4 \ln (R + R_0) + C_5 \cdot S + \varepsilon$$

donde,

A es una variable dependiente. En este caso aceleración pico (PGA)

M es la magnitud

R es la distancia fuente-estación

R_0 es una constante. Representa un término de atenuación para distancia nula

S es una variable discreta que representa el tipo de suelo

ε es el error del modelo, incluye el efecto de otros factores no considerados

El análisis de regresión para la obtención de los coeficientes de las leyes de atenuación ha sido realizado para las dos regiones consideradas: Región Mediterránea y España. En ambas se han tomado la aceleración pico de la componente vertical (PGA_V) o bien la aceleración pico máxima de las dos componentes horizontales (PGA_H), como variable dependiente A.

El tipo de suelo (S), está basado en la clasificación adoptada en el banco de datos MFS, que es la siguiente:

- S1 Roca dura, basamento
- S2 Roca sedimentaria y conglomerados
- S3 Suelo y sedimentos glaciares
- S4 Aluvión y sedimentos sin consolidar

4.1.1. Región Mediterránea

Para las variables independientes que explican el modelo, R y M, se han considerado las distancias epicentral e hipocentral, y las magnitudes local y de ondas superficiales. Se realizaron ajustes combinando los dos tipos de distancia y de magnitud con cada uno de los valores tabulados de R_0 (0, 5, 10, 15, 20, 25). Tras un primer análisis se estudiaron los residuos y se eliminaron aquellos datos que tenían residuos muy grandes (datos anómalos o extremos). Después se volvió a realizar el ajuste para cada valor de R_0 , y se eligió el que se consideró el mejor de los obtenidos. En algunos de los casos el subconjunto de datos pertenecientes a la clase de suelo S3, se incluyó en la clase S4 o bien no se consideró por falta de datos.

En las tablas 3 y 4 se presentan las expresiones obtenidas correspondientes al valor de R_0 que proporciona el mejor ajuste para cada uno de los modelos, resultado de la combinación de los dos tipos de distancia, R_{ep} y R_{hip} , y los dos tipos de magnitud, M_L y M_S , para cada clase de suelo.

Tabla 3. Leyes de atenuación PGA_H . Mediterráneo

Suelo	Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{ep}, M_S)$ --- R^2 ajust = 58.4%
S1	$Ln(PGA_H) = 8.365 + 0.664 M_S + 0.009 (R_{ep} + 20) - 2.206 Ln(R_{ep} + 20)$
S2	$Ln(PGA_H) = 8.644 + 0.664 M_S + 0.009 (R_{ep} + 20) - 2.206 Ln(R_{ep} + 20)$
S3	$Ln(PGA_H) = 8.470 + 0.664 M_S + 0.009 (R_{ep} + 20) - 2.206 Ln(R_{ep} + 20)$
S4	$Ln(PGA_H) = 8.565 + 0.664 M_S + 0.009 (R_{ep} + 20) - 2.206 Ln(R_{ep} + 20)$
Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{hip}, M_S)$ --- R^2 ajust = 56.3%	
S1	$Ln(PGA_H) = 11.045 + 0.633 M_S + 0.015 (R_{hip} + 20) - 2.878 Ln(R_{hip} + 20)$
S2	$Ln(PGA_H) = 11.139 + 0.633 M_S + 0.015 (R_{hip} + 20) - 2.878 Ln(R_{hip} + 20)$
S3	Datos S3 en la misma clase que S4
S4	$Ln(PGA_H) = 11.143 + 0.633 M_S + 0.015 (R_{hip} + 20) - 2.878 Ln(R_{hip} + 20)$
Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{ep}, M_L)$ --- R^2 ajust = 46.6%	
S1	$Ln(PGA_H) = 8.463 + 0.699 M_L + 0.011 (R_{ep} + 20) - 2.262 Ln(R_{ep} + 20)$
S2	$Ln(PGA_H) = 8.564 + 0.699 M_L + 0.011 (R_{ep} + 20) - 2.262 Ln(R_{ep} + 20)$
S3	Datos S3 no considerados
S4	$Ln(PGA_H) = 8.956 + 0.699 M_L + 0.011 (R_{ep} + 20) - 2.262 Ln(R_{ep} + 20)$
Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{hip}, M_L)$ --- R^2 ajust = 49.1%	
S1	$Ln(PGA_H) = 10.676 + 0.662 M_L + 0.016 (R_{hip} + 20) - 2.790 Ln(R_{hip} + 20)$
S2	$Ln(PGA_H) = 10.751 + 0.662 M_L + 0.016 (R_{hip} + 20) - 2.790 Ln(R_{hip} + 20)$
S3	Datos S3 no considerados
S4	$Ln(PGA_H) = 11.711 + 0.662 M_L + 0.016 (R_{hip} + 20) - 2.790 Ln(R_{hip} + 20)$

Tabla 4. Leyes de atenuación PGA_V . Mediterráneo

Suelo	Leyes de atenuación $PGA_V = f(R_{ep}, M_S)$ --- R^2 ajust = 60.9%
S1	$Ln(PGA_V) = 7.693 + 0.658 M_S + 0.008 (R_{ep} + 20) - 2.174 Ln(R_{ep} + 20)$
S2	$Ln(PGA_V) = 7.915 + 0.658 M_S + 0.008 (R_{ep} + 20) - 2.174 Ln(R_{ep} + 20)$
S3	Datos S3 en la misma clase que S4
S4	$Ln(PGA_V) = 7.813 + 0.658 M_S + 0.008 (R_{ep} + 20) - 2.174 Ln(R_{ep} + 20)$
Leyes de atenuación $PGA_V = f(R_{hip}, M_S)$ --- R^2 ajust = 60.4%	
S1	$Ln(PGA_V) = 9.640 + 0.631 M_S + 0.011 (R_{hip} + 20) - 2.641 Ln(R_{hip} + 20)$
S2	$Ln(PGA_V) = 9.832 + 0.631 M_S + 0.011 (R_{hip} + 20) - 2.641 Ln(R_{hip} + 20)$
S3	Datos S3 en la misma clase que S4
S4	$Ln(PGA_V) = 9.778 + 0.631 M_S + 0.011 (R_{hip} + 20) - 2.641 Ln(R_{hip} + 20)$

Como ejemplo, en la figura 7 se representan las leyes obtenidas para la aceleración pico horizontal en función de la distancia epicentral y los valores fijados de magnitud $M_S = 4, 5, 6$ y 7 , para las cuatro clases de suelo consideradas.

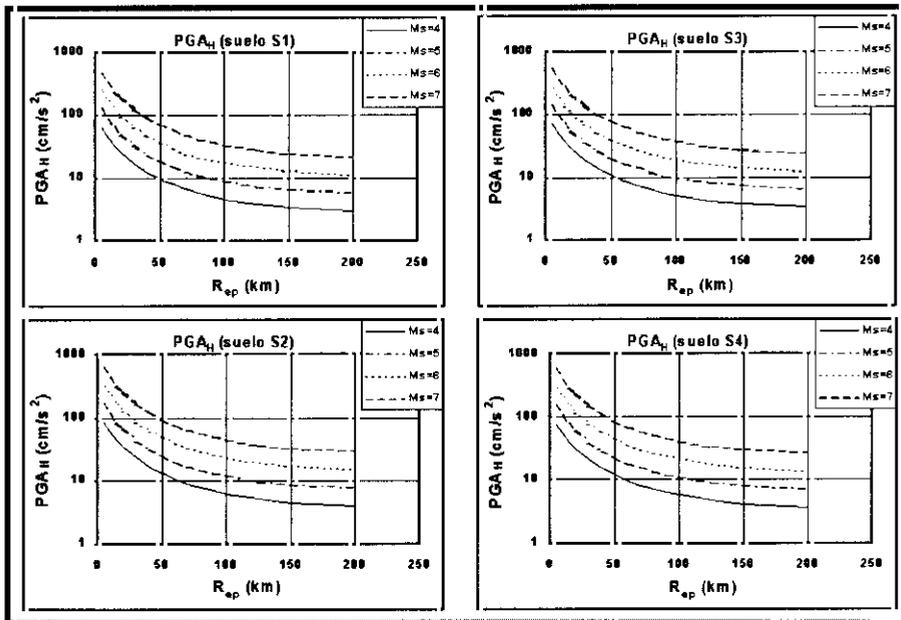


Figura 7. Región Mediterránea. Leyes de atenuación de PGA_H en función de M_S y R_{ep} .

4.1.2. España

Para el ajuste de los modelos de atenuación de PGA (horizontal máxima y vertical) de España las variables independientes consideradas han sido las distancias epicentral e hipocentral, R_{ep} y R_{hip} , la magnitud de ondas internas, m_{bLg} , y la clase de suelo que en este caso se limita a los tipos S1, S2 y S4, ya que no existen suelos clasificados como S3 en este subconjunto de datos.

Para todas las posibles combinaciones de variables, se realizó siempre un primer ajuste con cada uno de los valores de la constante R_0 , se estudiaron las distribuciones de residuos y se eliminaron aquellos datos que tenían residuos muy grandes correspondientes a observaciones extremas. A continuación se volvió a realizar el ajuste para cada valor de R_0 , y se eligió el que se consideró mejor entre todos los obtenidos. En las tablas 5 y 6 se muestran las expresiones deducidas para el modelo que presenta el mejor ajuste.

En la figura 8 se representan las leyes obtenidas para la aceleración pico horizontal y vertical y las tres clases de suelo consideradas, en función de la distancia epicentral, para valores fijos de magnitud m_{bLg} .

Tabla 5. Leyes de atenuación PGA_H . España

Suelo	Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{ep}, m_{bLg})$ --- R^2 ajust = 56.9%
S1	$Ln(PGA_H) = 0.003 + 1.611 m_{bLg} - 1.543 Ln(R_{ep} + 10)$
S2	$Ln(PGA_H) = 0.280 + 1.611 m_{bLg} - 1.543 Ln(R_{ep} + 10)$
S4	$Ln(PGA_H) = 0.398 + 1.611 m_{bLg} - 1.543 Ln(R_{ep} + 10)$
Leyes de atenuación $PGA_H = f(R_{hip}, m_{bLg})$ --- R^2 ajust = 52.2%	
S1	$Ln(PGA_H) = 0.461 + 1.538 m_{bLg} - 1.553 Ln(R_{hip} + 10)$
S2	$Ln(PGA_H) = 0.672 + 1.538 m_{bLg} - 1.553 Ln(R_{hip} + 10)$
S4	$Ln(PGA_H) = 0.911 + 1.538 m_{bLg} - 1.553 Ln(R_{hip} + 10)$

Tabla 6. Leyes de atenuación PGA_V . España

Suelo	Leyes de atenuación $PGA_V = f(R_{ep}, m_{bLg})$ --- R^2 ajust = 59.6%
S1	$Ln(PGA_V) = 2.827 + 1.573 m_{bLg} - 2.168 Ln(R_{ep} + 25)$
S2	$Ln(PGA_V) = 3.179 + 1.573 m_{bLg} - 2.168 Ln(R_{ep} + 25)$
S4	$Ln(PGA_V) = 3.294 + 1.573 m_{bLg} - 2.168 Ln(R_{ep} + 25)$
Leyes de atenuación $PGA_V = f(R_{hip}, m_{bLg})$ --- R^2 ajust = 58.1%	
S1	$Ln(PGA_V) = 0.419 + 1.505 m_{bLg} - 1.631 Ln(R_{hip} + 10)$
S2	$Ln(PGA_V) = 0.659 + 1.505 m_{bLg} - 1.631 Ln(R_{hip} + 10)$
S4	$Ln(PGA_V) = 0.860 + 1.505 m_{bLg} - 1.631 Ln(R_{hip} + 10)$

4.1.3. Discusión de resultados

Las leyes de atenuación deducidas en los dos apartados anteriores constituyen una primera fase en la deducción de modelos de movimiento. Dichas leyes presentan en general unos ajustes moderadamente aceptables a los datos de partida, por lo que en su uso tendrá que tenerse en cuenta la incertidumbre que llevan asociada.

En esta primera aproximación, las leyes han sido calculadas combinando los distintos tipos de magnitud (M_L y M_S) y distancia (R_{ep} y R_{hip}) clasificados en el Banco de Datos MFS, lo que condiciona su uso posterior con estos mismos parámetros de entrada.

Dentro de cada región, Mediterráneo y España, puede observarse que no existen apenas diferencias significativas que supongan mayor o menor atenuación de la PGA entre los distintos modelos considerados, aunque sí parece ocurrir en ambas zonas que la atenuación de las componentes verticales es algo más acusada.

No obstante, en la región Mediterránea, los modelos de aceleración horizontal construidos con la variable M_L , producen valores de aceleración, en general, mayores para todo el rango de distancias. Para cualquiera de los dos tipos de magnitud considerados, los valores de aceleración tanto horizontal como vertical, obtenidos por las ecuaciones, son mayores cuando se utiliza la distancia hipocentral, R_{hip} .

Para los datos de España, en los que sólo se ha utilizado una escala de magnitud, no parecen existir diferencias entre los valores que se obtienen de aceleración horizontal o entre los de aceleración vertical, cuando se compara entre distancia epicentral e hipocentral.

En cuanto a la comparación de los modelos de una región y otra se observa que la atenuación es mayor para el caso de España, y además en esta región existen diferencias relativas más grandes en los valores predichos de PGA, para distintas magnitudes.

Aunque las escalas de magnitud no son directamente comparables, los valores predichos por las ecuaciones en una y otra región son muy similares en distancias de 0 a 100 km para el valor de magnitud 6, mientras que difieren considerablemente para magnitudes menores que ésta, con valores de aceleración más pequeños en el caso español.

Por otra parte, por el método seguido y la forma funcional común adoptada, las variaciones dentro de cada modelo, para los diferentes tipos de suelo, están dadas por una constante en la ecuación que desplaza dicha forma funcional sobre el eje de aceleraciones, y que en algunos casos marca diferencias de amplificación notables, como por ejemplo en los modelos del Mediterrá-

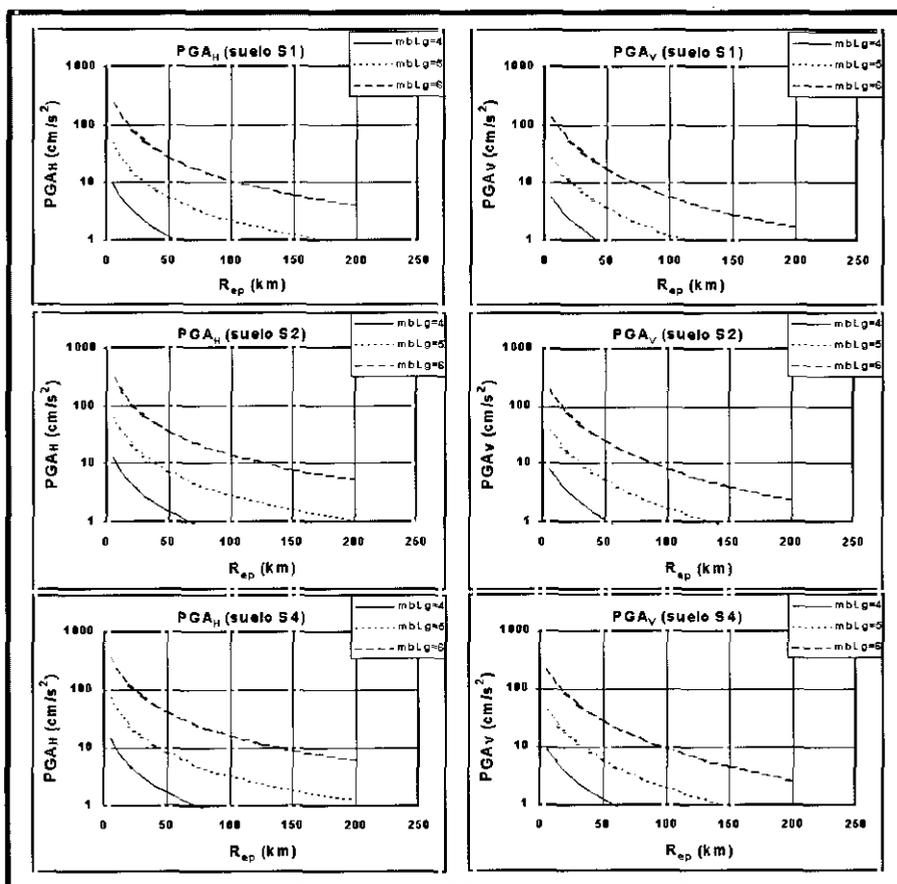


Figura 8. España. Leyes de atenuación de PGA_H y PGA_V en función de m_{bLg} y R_{ep} .

neo $PGA_H = f(M_L, R_{ep})$, $PGA_H = f(M_L, R_{hip})$ y de España $PGA_H = f(m_{bLg}, R_{ep})$, $PGA_H = f(m_{bLg}, R_{hip})$; mientras que en otros casos esta amplificación no parece ser importante.

4.2. Ajustes de Regresión de Leyes Magnitud-Intensidad

En regiones de sismicidad moderada, como es el caso de la Península Ibérica, los terremotos más destructivos suelen pertenecer al periodo histórico y por tanto sólo tienen asignados valores de intensidad. El cálculo de la peligrosidad sísmica, se hace entonces partiendo de valores de intensidad, y es

importante tener expresiones que permitan relacionar este parámetro macro-sísmico con otros instrumentales, como la magnitud o la aceleración pico, para el cálculo final de espectros.

Con el objeto de poder tener una ley que relacione y permita convertir valores de intensidad epicentral a valores de magnitud, se han realizado ajustes de regresión de datos del Catálogo Sísmico del IGN, para los que existen valores de ambos parámetros.

Para ello, se han seleccionado del Catálogo cuatro subconjuntos de datos, resultado de la combinación de dos filtros temporales y dos espaciales:

- Terremotos desde 1960 a junio 1998; catálogo completo (incluyendo terremotos de Portugal, Francia y Marruecos)
- Terremotos desde 1960 a junio 1998; sólo España
- Terremotos desde 1980 a junio 1998; catálogo completo
- Terremotos desde 1980 a junio 1998; sólo España

En todos ellos se han filtrado los terremotos cuyos epicentros estuvieran situados en el mar, ya que en estos casos se desconoce la intensidad epicentral. El modelo que se ha ajustado corresponde a una relación cuadrática de la magnitud en función de la intensidad epicentral, $M = f(I^2)$, siguiendo la tendencia habitual en este tipo de estudios. En los cuatro casos analizados se han probado otros modelos pero no resultan mejores que el propuesto. Para llegar a los modelos obtenidos se realizó el ajuste $M = a + bI^2$, se estudiaron sus residuos y se eliminaron los datos para los que se tenían residuos muy grandes. También se probó un estudio eliminando los puntos más influyentes, pero al realizar los ajustes se obtuvieron modelos con coeficientes R^2 más pequeños.

En los cuatro casos, tras el análisis de los residuos se observa que falla la hipótesis de normalidad, aunque las técnicas gráficas no muestran evidencia para rechazar dicha hipótesis. Ésta es necesaria para realizar contrastes de significación y obtener intervalos de confianza para los parámetros del modelo. Cuando esto ocurre los estimadores ya no son máximo-verosímiles y dejan de ser eficientes, aunque sí son centrados.

En esta situación el estudio puede limitarse a la estimación de parámetros incluyendo una medida descriptiva con R^2 (ajustado para el número de grados de libertad).

En la tabla 7 se presentan las ecuaciones obtenidas para cada caso.

Puede observarse que en ninguno de ellos el coeficiente R^2 es excesivamente alto, obteniéndose un ajuste algo mejor para los casos en los que se consideraron los datos de del catálogo completo. En la figura 9 se muestran gráficamente los datos y la expresión resultante para uno de estos casos.

Tabla 7. Leyes M-I

Catálogo IGN	Ley M-I	R ² ajust.	Error estándar
Completo (1960-1998)	$M = 2.907 + 0.035 I^2$	0.53	0.35
Completo (1980-1998)	$M = 2.820 + 0.044 I^2$	0.54	0.30
Sólo España (1960-1998)	$M = 2.919 + 0.034 I^2$	0.37	0.34
Sólo España (1980-1998)	$M = 2.842 + 0.044 I^2$	0.44	0.30

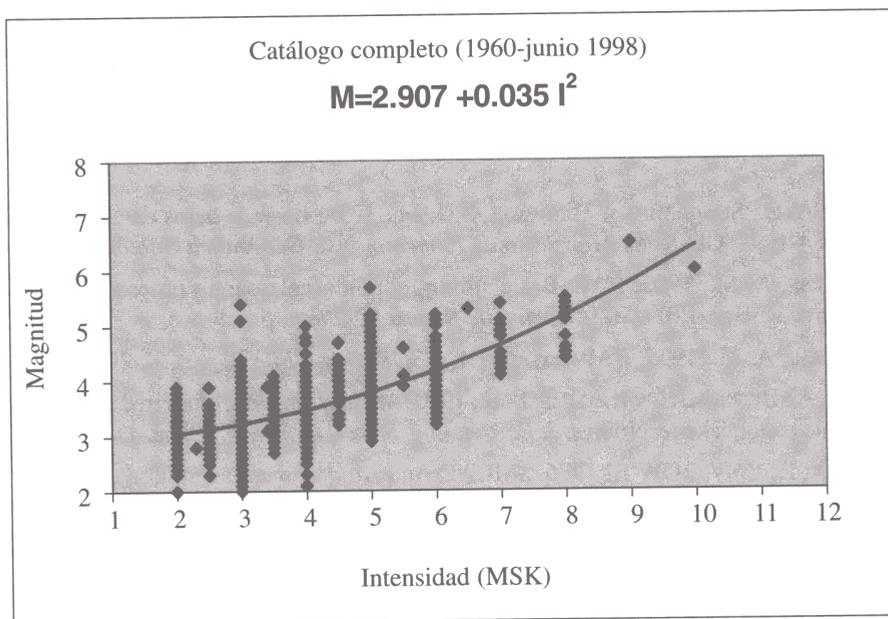


Figura 9. Leyes magnitud-intensidad. Catálogo completo, 1960-1998.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado durante la ejecución del Proyecto Daños, financiado por el CSN y ENRESA y realizado en la EUIT Topográfica -UPM (1997-98). Los autores agradecen también la aportación de datos del IGN.

REFERENCIAS

- AMBRASEYS, N. N., 1996. Measurement and application of strong ground motion in Europe (MASGE). *CSEM, Newsletter* N.º 10, September 1996.
- BENITO, B., 1993. Estimación de parámetros sísmicos y espectros específicos de respuesta característicos del movimiento del suelo en emplazamientos de la Península Ibérica. *Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid*.
- BOMMER, J. J., 1991. The design and engineering application of an earthquake strong-motion database. *Tesis Doctoral, Imperial College, Dep. Civil Engineering*. July 1991.
- BOMMER, J. J. y AMBRASEYS, N. N., 1992. An earthquake strong-motion databank and database. *Proc. of 10th WCEE*, Vol. 2, pp. 207-210. Madrid, 1992.
- BRADY, A. G., 1992. USGS strong-motion database. *Proc. of 10th WCEE*, Vol. 11, pp. 6919-6922. Madrid, 1992.
- CABAÑAS, L., 1992. Banco de acelerogramas. Informe Final. *Informe Beca CSN*. Sept. 1992.
- CARREÑO, E.; SUÁREZ, A. y TORDESILLAS, J. M., 1998. Base de datos de aceleración 1984-1997. CD-Rom, *Ministerio de Fomento, Inst. Geográfico Nacional (IGN)*.
- CONVERSE, A. M., 1992. BAP: Basic strong-motion accelerogram processing software. Version 1.0. *USGS, Open-File Report 92-296a*.
- CONVERSE, A. M., 1995. BAP version 1.1. *USGS, Open-File Report 92-296B*.
- DHALE, A.; BUNGUM, H. y KVAMME, L. B., 1990. Attenuation models inferred from intra-plate earthquake recordings. *J. Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 19, pp. 1125-1141.
- DUNBAR, P.; L. W. ROW III 1996. SMCAT. An earthquake strong motion catalog for personal computers (Version 3). *NOAA, Boulder, Colorado, USA*.
- GOULA, X.; RINALDIS, D.; Bommer, J. J. y MOHAMMADIOUN B., 1988. Developpments recents en matière de creation d'une banque de donnesse de mouvements forts, comune au CEA/IPSN (France), à l'ENEA (Italie) et l'Imperial College (G. Bretagne). *AFPS* 1988.
- IGN, 1998. Catálogo sísmico del IGN, 1998. *Instituto Geográfico Nacional*.
- JOYNER, W. B. y BOORE, D. M., 1981. Peak acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake. *BSSA*, Vol. 71, pp. 2011-2038.
- MIKOYAN, A.; BURSTEV, A.; GVISHIANI, A. y ZHIZHIN, M., 1997. ESMC Strong-motion database: www Interface. *CSEM, Newsletter* N.º 11, July 1997.
- MOHAMMADIOUN, B., 1992. Characteristics of strong ground motion records obtained in Europe and adjacent countries. *Proc. of 10th WCEE*. Vol. 11, pp. 6919-6922. Madrid, 1992.

- ROCA, A., 1989. Instrumentación para campo cercano y análisis de acelerogramas en movimientos fuertes del suelo y riesgo de terremotos. *Física de la Tierra N.º 1*, UCM. 1989, pp. 131-153.
- SUGITO, M., 1992. Recent activities in development of strong motion array record database in Japan. *Proc. of 10th WCEE*, Vol. 11, pp. 6923-6925. Madrid, 1992.
- WALD, D., 1997. Surfing the Internet for strong-motion data. *Seismol. Research Let.* Vol. 68, N.º 5, pp. 766-769 (Versión ampliada del artículo en <http://www-social.wr.usgs.gov/smdata.html>).

ANEXO

Direcciones Internet de los bancos y bases de datos de movimiento fuerte citados:

EEUU

- SCEC: SMDB: Strong-motion database, <http://quake.crystal.ucsb.edu/scec/smdb/smdb.html>
- LDEO/NCEER Earthq. Strong-Motion Database, <http://www.ldeo.columbia.edu/nceer/nceer.html>
- CDMG: CSMIP-Strong Motion Data Center, <http://www.consrv.ca.gov/dmg/csmip/>
- U.SGS: NSMP, <http://agram.wr.usgs.gov/>

México

- Base Mexicana de Sismos Fuertes, <http://www.mexacceldb.unam.mx/db/>
- Guerrero Accelerograph Network, <http://www.seismo.unr.edu/ftp/zeng/GUERRERO/guerrero.html>

Europa

- CSEM, <http://www-csem.bruyeres.cea.fr/>; CSEM-CDGS: SMDB Strong Motion Data Base, <http://perun.wdcb.rssi.ru/SMDB/>
- Swiss Strong Motion Network, http://seismo.ethz.ch:80/networks/strong_motion/strong_motion.html
- RAF: Friuli Strong-Motion Network, <http://www.dst.univ.trieste.it/raf.html>
- Turquía: SMA Working Group, <http://angora.depem.gov.tr/>

Japón

- KYOSHIN NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/>