

MANUAL DE USUARIO

IE - RISS

Ejecutora: UNIVERSIDAD EAFIT

Grupo de Investigación de Mecánica Aplicada

Beneficiaria: INTEGRAL S.A., Ingenieros Consultores

AGOSTO, 2010

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ASPECTOS GENERALES	2
2.1	Sismicidad.....	3
2.2	Ecuaciones de atenuación	6
2.3	Amplificación del suelo	6
2.4	Análisis de las estructuras	7
2.5	Vulnerabilidad de las edificaciones	9
2.6	Pérdidas para la compañía aseguradora.	10
3	INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN	12
3.1	Requisitos previos (Software)	12
3.2	Descripción de archivos	12
4	ENTRADA DE DATOS	14
4.1	Fuentes sísmicas	14
4.2	Información de periodos	17
4.3	Ecuaciones de atenuación	17
4.4	Información del suelo	18
4.5	Información estructural.....	19
4.5.1	Modos de vibración.....	19
4.5.2	Funciones de vulnerabilidad.....	20
4.6	Información de la ciudad.....	21
4.7	Información de la cartera	22
4.8	Configuración.....	23
5	RESULTADOS.....	24
5.1	Perdidas máximas probables	24
6	REFERENCIAS.....	25

1 INTRODUCCIÓN

La estimación de pérdidas físicas y de otra índole debidas a fenómenos naturales ha sido tema de investigación y de interés en los últimos años por parte de la comunidad ingenieril, del gremio de los seguros y de algunas entidades gubernamentales. El sector asegurador se ha preguntado por ejemplo, ¿cómo estimar la pérdida para la compañía de seguros, de un grupo de bienes sometidos a las acciones sísmicas? ¿Qué tanto influye sobre esta pérdida y sobre el valor de la prima, algunas condiciones impuestas a la póliza, como por ejemplo, deducibles, límites, etc.? Por otro lado, los centros de atención de desastres de carácter gubernamental pueden usar las estimaciones de pérdidas con el fin de elaborar planes de contingencia y optimización de recursos.

Para dar respuesta a estas necesidades se diseñó un programa de computador que combina los aspectos físicos del fenómeno y las condiciones de los requerimientos de las compañías aseguradoras en términos de las políticas de suscripción de pólizas. El IE - RISS es un programa de computador concebido para la estimación de pérdidas producidas por terremoto en estructuras; que usa un enfoque probabilista y que combina aspectos relacionados con la amenaza y la vulnerabilidad sísmica las estructuras. El desarrollo del programa se ha venido ejecutando en distintas etapas durante los últimos 10 años. En esta última etapa de expansión del modelo se incluyen nuevos y más eficientes procedimientos de cálculo y nuevas consideraciones para el tratamiento de la amenaza sísmica.

Los resultados, producto de la estimación de pérdidas en una cartera determinada, se describen completamente a través de la tasa de excedencia de pérdidas, o PML (Probable Maximum Loss), que relaciona el número de veces por año (tasa) que en promedio se excede determinado porcentaje de pérdida sobre el total. La aplicación tiene la capacidad para estimar la curva de PML para carteras distribuidas en distintos sectores (distinto tipo de suelo) de una misma ciudad, o en ciudades diferentes.

2 ASPECTOS GENERALES

Debido a la aleatoriedad de los procesos que generan los sismos, y al desconocimiento que se tiene del fenómeno, la modelación del IE - RISS tiene un enfoque probabilista que considera de manera explícita las incertidumbres involucradas. Como punto de partida, se considera que el proceso de ocurrencia de los sismos es Poissoniano, es decir, que la función de densidad de probabilidad de los tiempos entre eventos es exponencial. Esta suposición, muy ajustada a los datos que se han registrado, tiene la ventaja de describir todo el proceso por una sola variable: la tasa de ocurrencia. Ésta, por supuesto, podrá ser función de múltiples variables dependiendo del resultado final que se busca. Por ejemplo, la tasa de ocurrencia de pérdidas en una cartera de edificaciones podrá ser función de las magnitudes de los eventos, de las características de los suelos, de las propiedades físicas de las edificaciones, etc.

La estimación se inicia con la tasa de ocurrencia de eventos sísmicos en cada una de las fuentes sismogénicas que pudieran afectar la región donde están emplazadas las estructuras de la cartera, y a partir de éstas el proceso se reduce a una serie de integraciones y transformaciones sucesivas en la que cada una considera la influencia y la incertidumbre de cada una de las variables consideradas en el proceso. El problema básico que debe resolverse se plantea en la ecuación 1.

$$v(perd) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \int_{m_0}^{m_u} \int_{a_{f_0}}^{a_{f_u}} \int_{a_{r_0}}^{a_{r_u}} \int_{a_{s_0}}^{a_{s_u}} Pr(p \geq perd/a_s) f_{As/Ar}(a_s/a_r) f_{Ar/Af}(a_r/a_f) f_{Af/M}(a_f/m) f_M(m) da_s da_r da_f dm \quad (1)$$

En donde la tasa de excedencia para un valor determinado de pérdida, $v(perd)$, se estima a partir del teorema de las probabilidad totales, en donde λ_i es la tasa de ocurrencia de sismos en la fuente i , m_0 y m_u son la magnitud mínima y máxima de la fuente, respectivamente, a_{f_0} , a_{r_0} y a_{f_u} , a_{r_u} son las intensidades en roca debidas a la fuente y al trayecto, mínimas y máximas, respectivamente; y a_{s_0} y a_{s_u} son las intensidades en la superficie del terreno, mínima y máxima, respectivamente. Por otra parte, $f_{As/Ar}(a_s/a_r)$ es la función de densidad de probabilidad condicional de la intensidad en superficie, a_s , dada la intensidad en roca, a_r ; $f_{Ar/Af}(a_r/a_f)$ es la función de densidad de probabilidad condicional de la intensidad en roca, a_r , dada la intensidad en roca debida a la fuente, a_f ; $f_{Af/M}(a_f/m)$ es la función de densidad de probabilidad condicional de la intensidad en roca debida a la fuente dada la magnitud, m ; y $f_M(m)$ es la función de densidad de probabilidad de la magnitud, m . Finalmente, $Pr(p \geq perd/a_s)$ es la probabilidad de que la pérdida, p , sea mayor o

igual a la pérdida seleccionada, $perd$, dada la intensidad en la superficie, a_s . Esta probabilidad se calcula a partir de un modelo de respuesta estructural a la intensidad en la base, de una función de vulnerabilidad que relaciona la respuesta estructural (deformación) con el daño, y finalmente, de las políticas de la póliza de seguros que relacionan el daño con la pérdida.

2.1 Sismicidad

La sismicidad es tenida en cuenta mediante la discretización de fuentes, sobre las cuales será necesaria la definición de parámetros sísmicos tales como: tasa de ocurrencia de eventos λ_i , relación entre generación de magnitudes mayores y menores, β , magnitud mínima, m_0 , magnitud última, m_u , modelo de distribución de magnitudes, y de su geometría.

El modelo de distribución de magnitudes podrá ser exponencial, característico (de acuerdo a lo propuesto por Youngs y Coppersmith¹), o discreto, y será escogido por el usuario para cada una de las fuentes. Estos modelos estarán limitados por la magnitud mínima, m_0 , y la magnitud última, m_u , especificada para la fuente.

La tasa de excedencia, $v(\)$, para una magnitud, m , está dada por la ecuación 2

$$v(m) = \lambda_i \int_m^{m_u} f_m(x) dx \quad (2)$$

Donde f_m , función de densidad de probabilidad de las magnitudes en la fuente, está dada por la ecuación 3 para el modelo exponencial y por la ecuación 4 para el modelo característico.

$$f_m(m) = k_1 \beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad m_0 \leq m \leq m_u \quad (3)$$

$$f_m(m) = k_2 \beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad m_0 \leq m \leq m_u - \Delta 2 \quad (4)$$

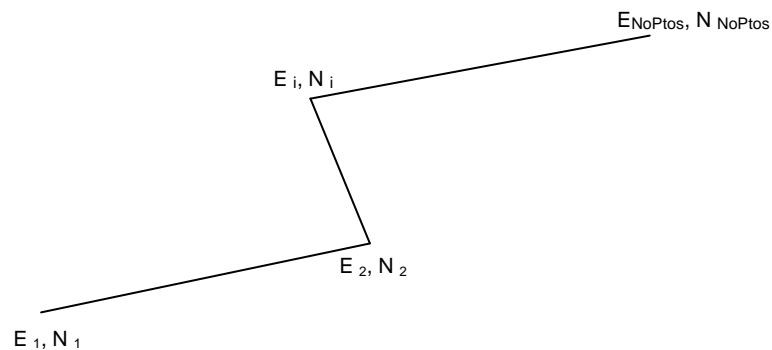
$$f_m(m) = k_2 \beta e^{-\beta(m^*-m_0)} \quad m_u - \Delta 2 < m \leq m_u$$

¹ YOUNGS, Robert R. and COPPERSMITH, Kevin J., 1985

Donde la constante, m^* , está dada por: $m^* = m_u - (Delta1 + Delta2)$, y k_1 y k_2 son constantes que hacen que la integral de la función de densidad de probabilidad sea unitaria en el dominio de aplicación. El parámetro β usualmente se escribe como: $\beta = b \ln 10$, donde b es la pendiente de la recta $\log_{10} N(m) = a - bm$, la cual relaciona la magnitud del sismo, m , con el número de sismos con magnitud igual o superior a m , $N(m)$.

En el modelo se considera que la amenaza está distribuida uniformemente en cada uno de los planos que forman las fuentes. Estos planos pueden definirse por medio de las así llamadas Lineal fuente o Area fuente. En este último caso estas fuentes deberán ser conformadas por polígonos cerrados, coplanares, horizontales y necesariamente convexos, de forma que permitan la aplicación de una discretización que use el esquema de triangulación de Delaunay².

Las Lineal fuente se especifican por medio de las coordenadas geográficas (latitud, longitud) de la proyección horizontal de los puntos de la línea más superficial del plano de la fuente, del buzamiento de los planos, y de las profundidades mínima y máxima de la fuente. Para las Area fuente, usadas para fuentes paralelas a la superficie (formadas por planos horizontales), es necesario especificar las coordenadas geográficas (latitud, longitud) del polígono completo y la profundidad del plano. En la Figura 2.1 y la Figura 2.2 se ilustran los parámetros geométricos de una fuente tipo Lineal y tipo Area, respectivamente.



² ARTEAGA M, Luis M, 2009

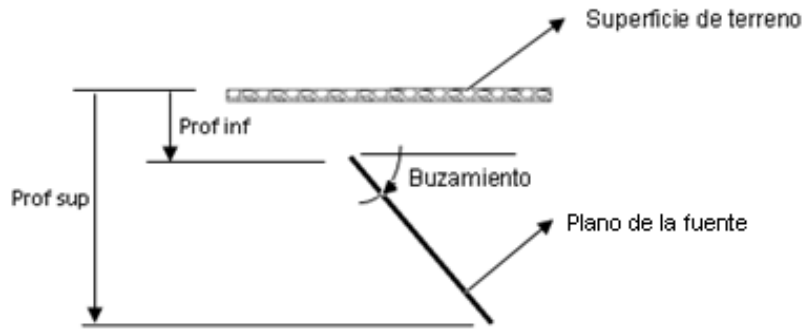


Figura 2.1 Esquema de fuente tipo Lineal. Arriba: proyección en superficie, abajo: perfil.

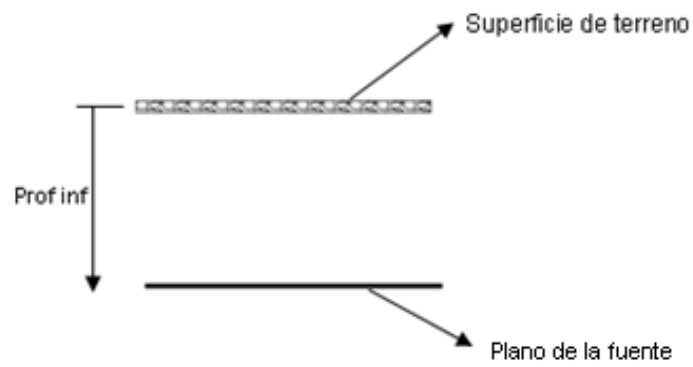
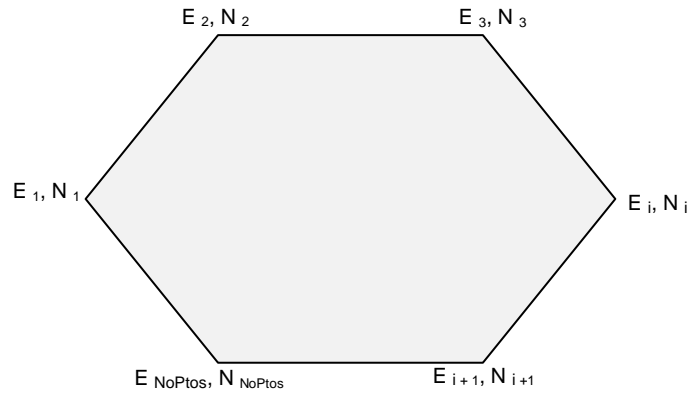


Figura 2.2 Esquema de fuentes tipo Area. Arriba: proyección en superficie, abajo: perfil.

2.2 Ecuaciones de atenuación

Las ecuaciones de atenuación son uno de los insumos básicos para la determinación de la tasa de excedencia de intensidades (desplazamiento, velocidad, aceleración, etc.), pues ellas permiten conocer la respuesta en un sitio determinado a partir de la magnitud del sismo y de la distancia desde el sitio al punto donde se genera el sismo. Por defecto el programa tendrá cargadas cuatro ecuaciones de atenuación: Idriss³ (Fallas: normales, inversas y de rumbo), Boore & Atkinson⁴ (Fallas: normales, inversas y de rumbo), y Gallego - Ordaz⁵; en las cuales la respuesta es la aceleración; sin embargo, el usuario podrá cargar las que él considere pertinentes. Un factor importante a tener en cuenta en la declaración de dichas ecuaciones es la inclusión de las llamadas desviaciones estándar: inter evento e intra evento⁶, las cuales permitirán considerar de manera independiente los efectos de la incertidumbre en la respuesta, debida a la fuente y al trayecto, respectivamente.

De forma general, la definición de las ecuaciones de atenuación está dada por la ecuación 5.

$$\ln Y = E(\ln Y) + \varepsilon_1 \cdot N(0, \sigma_{inter}) + \varepsilon_2 \cdot N(0, \sigma_{intra}) \quad (5)$$

Donde $E(\ln Y)$ representa el valor esperado del logaritmo natural de la respuesta, Y , y $\varepsilon_1 \cdot N(0, \sigma_{inter}) + \varepsilon_2 \cdot N(0, \sigma_{intra})$ son las componentes aleatorias inter evento e intra evento respectivamente, sobre las cuales se ajusta un modelo probabilista de tipo Normal, truncado a ε_1 y ε_2 desviaciones estándar, σ_{inter} y σ_{intra} , respectivamente⁷. Finalmente, con el propósito de considerar una correlación total entre los valores espectrales de la respuesta, se simulan con los mismos valores de incertidumbre, intra e inter evento, todas las respuestas espectrales.

2.3 Amplificación del suelo

El programa considera la posible amplificación o de-amplificación que puede sufrir la respuesta en superficie debido a las propiedades dinámicas del suelo en cada sector particular. La forma de tener en cuenta este hecho es mediante la función *RRS* (Radio of Response Spectra), la cual permite

³ IDRISSE, I. M., 2008

⁴ BOORE, David M. and Atkinson Gail M, 2008

⁵ GALLEGO S, Mauricio, 2000

⁶ BOMMER, Julian J. and CROWLEY, Helen, 2006

⁷ RESTREPO VÉLEZ, Luis F. and BOMMER, Julian J.

obtener la respuesta espectral en superficie a partir de la respuesta espectral en roca. Para tratar de estimar el efecto no lineal del suelo se deberá disponer de distintas funciones *RRS*, cada una asociada a un nivel de intensidad del movimiento. La intensidad del movimiento se podrá caracterizar de dos maneras dependiendo de las especificaciones del usuario: con base en la respuesta espectral en roca asociada a un periodo nulo, o con base en la respuesta espectral en roca asociada al periodo fundamental del depósito de suelo, indicado este último también por el usuario. El manejo de la incertidumbre en la respuesta en superficie, $\varepsilon \cdot N(0, \sigma_{LnRRS})$, se hará a partir de la información de la desviación sobre los valores de *RRS*⁸. La distribución de probabilidad de dicha incertidumbre se ajusta a un modelo probabilista Normal de media cero y truncado a ε desviaciones estándar, σ_{LnRRS} . La respuesta en superficie se puede entonces expresar de forma general mediante la ecuación 6.

$$Lna_s = Lna_r + E(LnRRS) + \varepsilon \cdot N(0, \sigma_{LnRRS}) \quad (6)$$

Donde Lna_s y Lna_r son los logaritmos naturales de la respuesta en superficie y la respuesta en roca respectivamente, y $E(LnRRS)$ es el valor esperado del logaritmo natural de *RRS*.

2.4 Análisis de las estructuras

Para estimar la respuesta de las estructuras se consideran éstas como sistemas de múltiples grados de libertad, tantos como el usuario considere adecuados para representar la estructura, y se combinan las respuestas de los modos principales de vibración, proveídos también por el usuario. Por ejemplo, si la variable de movimiento que se está usando fuera la aceleración espectral, la deriva “inelástica” del piso i , debido al modo j , de una edificación, estaría dada por una expresión como la que se muestra en la ecuación 7.

$$Deriva_j(Piso_i) = \beta_{3i} \frac{Sa(T_j) * 9,8 * T_j^2}{4 * \pi^2} \cdot FPM_j \cdot \frac{\phi_j(Piso_i) - \phi_j(Piso_i - 1)}{h_{piso_i}} \cdot FDesp_{ji} \quad (7)$$

Donde $Sa(T_j)$ es la aceleración espectral, T_j es el periodo modal, h_{piso} la altura de piso i , y $\phi_j(i)$ es el desplazamiento modal del piso i . El factor de participación modal, FPM_j , estaría definido por una ecuación como la 8.

⁸ JARAMILLO F, Juan Diego, 2006

$$FPM_j = \frac{\phi_j^T [M]}{\phi_j^T [M] \phi_j} \quad (8)$$

En donde $[M]$ representa la matriz de masas de la edificación.

Ahora, con el propósito de tener en cuenta los efectos de los desplazamientos inelásticos de la estructura se puede hacer uso de un factor de amplificación, β_3 , de acuerdo con la propuesta de Miranda⁹. El factor β_3 es función del periodo estructural y de la ductilidad demandada, la cual podría estimarse a partir de la aceleración resistente de diseño de la edificación, Ac , que representa el valor de aceleración a partir de la cual la estructura incursiona en el rango inelástico, y del valor de la aceleración espectral solicitante, $Sa(T_j)$. Finalmente, el usuario podrá ingresar un factor adicional, $FDesp_{ji}$, para considerar otros aspectos que puedan contribuir al desplazamiento modal como por ejemplo el efecto torsional.

De todo lo anterior es claro que siempre que se tenga un modelo para representar la respuesta estructural de un sistema en alguna de las variables representativas del movimiento, será posible expresar esta respuesta como el producto de la sollicitación por una función de esta misma sollicitación (movimiento), esto cuando se tiene una respuesta no lineal del sistema estructural, como en el caso que se acaba de ilustrar, en el que β_3 es función de la aceleración espectral en la superficie del suelo, o expresar esta respuesta como el producto de la sollicitación por una constante en el caso de respuesta elástica lineal del sistema estructural.

El programa IE - RISS considera una respuesta de los sistemas estructurales como la que se acaba de ilustrar, es decir, adecuada a la respuesta de edificios, porque ésta es la generalidad de los casos encontrados en la práctica, pero se llama la atención al hecho de que el usuario puede, asignando valores adecuados a T , FPM , $\phi(i)$, h_{piso} , $FDesp$, y Ac reproducir cualquier tipo de respuesta de un sistema estructural a cualquiera de las variables que representan el movimiento del suelo. La única limitación está en la forma de la respuesta no lineal, que corresponde a la modulada por el factor β_3 .

⁹ MIRANDA, Eduardo, 1999

Finalmente, es importante aclarar que para la determinación de la respuesta total se usa el método de combinación de respuestas modales CQC¹⁰ (Complete Quadratic Combination).

2.5 Vulnerabilidad de las edificaciones

La consideración de la vulnerabilidad de los sistemas estructurales se hace a partir de funciones que relacionan la respuesta estructural con el porcentaje de daño que esa respuesta produce. El manejo de la función de vulnerabilidad se hace siguiendo la propuesta de Ordaz¹¹ para fijar el valor medio. El programa tiene predeterminadas funciones para sistemas estructurales en mampostería no reforzada (MNR), mampostería reforzada (MR), concreto reforzado con muros de mampostería adosados (CMA), concreto reforzado sin muros de mampostería adosados (CSMA), muros de concreto reforzado (MCR), acero con muros de mampostería adosados (AMA), acero sin muros de mampostería adosados (ASMA)¹²; sin embargo, el usuario podrá ingresar las funciones que él considere pertinentes, mediante parejas de valores (respuesta, daño). La Figura 2.3 muestra una función de vulnerabilidad típica para una estructura dúctil siguiendo la forma funcional propuesta por Ordaz.

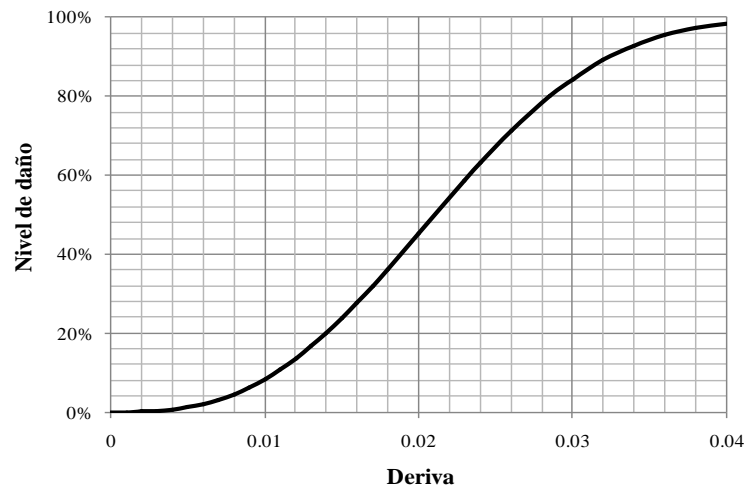


Figura 2.3. Función de vulnerabilidad para una estructura dúctil.

¹⁰ CLOUGH, Ray W. and PENZIEN, Joseph, 1993

¹¹ JARAMILLO, Juan. D. y ESTRADA Gloria. M, 2003

¹² Los valores de las funciones fueron tomados de: AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA, 2007

El programa considera que puede existir una incertidumbre alrededor del valor medio de la función de vulnerabilidad. El coeficiente de variación de esta incertidumbre es función de la esperanza del valor del daño, $E(\text{daño})$, lo que permite tener en cuenta el hecho de que para valores muy bajos o muy altos del daño la incertidumbre debe ser muy baja: casi se tiene la certeza de que el daño es nulo o total, respectivamente. Se propone entonces para el coeficiente de variación del daño, $CV(\text{daño})$, una función cuadrática, tal y como se presenta en la ecuación 9.

$$CV(\text{daño}) = 4 CV(0.5) (E(\text{daño}) - E^2(\text{daño})) \quad (9)$$

En donde $CV(0.5)$ corresponde al coeficiente de variación máximo para un valor de daño del 50%, este coeficiente es asignado por el usuario.

Para representar la incertidumbre en el daño se considera una función de densidad de probabilidad *Beta* en el dominio [0.0, 1.0], definida, para cada valor de la respuesta, por la Esperanza y la Variancia del daño asociadas a la función de vulnerabilidad.

2.6 Pérdidas para la compañía aseguradora.

Para estimar las pérdidas para una compañía aseguradora es necesario definir la función de densidad de probabilidad del valor, en porcentaje del valor asegurado, que tendría que liquidar la compañía aseguradora. Esta función de densidad de probabilidad depende de la función de densidad de probabilidad de los daños, previamente definida en el numeral 2.5 como una función Beta con Esperanza y Variancia definidas, pero que debe ser modificada por las políticas de las compañías aseguradoras por parámetros tales como el deducible y el límite máximo.

Usualmente el deducible se define como un porcentaje de los daños y significa que la compañía aseguradora no tiene ninguna responsabilidad cuando se presentan daños menores a ese porcentaje, y que responde, proporcionalmente al valor asegurado, por la diferencia entre el porcentaje de daños y el deducible, cuando se presentan daños por encima del deducible. Igualmente, el límite se define como un porcentaje de daños y significa que la compañía aseguradora responde, proporcionalmente al valor asegurado, sólo hasta un porcentaje de daños igual al límite menos el deducible, cuando se presentan daños por encima del límite.

De acuerdo con lo anterior, la función de densidad de probabilidad de las pérdidas, f_p , se modifica respecto a la función de densidad de probabilidad de los daños, f_d , de tal manera que la probabilidad de pérdida igual a 0.0 es el área bajo f_d entre 0.0 y el deducible, D . Además, la densidad de probabilidad de las pérdidas entre 0.0 y el límite menos el deducible, $(L-D)$, es exactamente la misma densidad de probabilidad de los daños, pero entre D y L . Finalmente, hay una concentración de probabilidad en una pérdida $(L-D)$ igual al área bajo f_d entre L y 1.0.

Ahora, en algunos casos el deducible se maneja con un criterio combinado: el mayor entre un porcentaje de daños fijo, y un porcentaje de los daños ocurridos. En este caso se opera de la siguiente forma: se verifica que el cociente, Q , entre el porcentaje de daños, D , y el porcentaje de los daños ocurridos, $D\%$, sea menor que la unidad, es decir, $Q < 1.0$. En caso contrario siempre regirá para efectos de la liquidación un deducible calculado como un porcentaje de daños, y su tratamiento será como el del caso descrito en el párrafo anterior.

Si $Q < 1.0$, la función de densidad de probabilidad de las pérdidas, f_p , se estima a partir de la función de densidad de probabilidad de los daños, f_d , de la siguiente forma: la probabilidad de pérdida igual a 0.0 es el área bajo f_p entre 0.0 y el deducible, D . La densidad de probabilidad de las pérdidas entre 0.0 y $(Q-D)$ es exactamente la misma densidad de probabilidad de los daños entre D y Q . Hasta este punto controla el deducible como porcentaje de daños. Ahora, f_p entre $(Q-D)$ y $L(1-D\%)$ es la misma densidad de probabilidad de los daños entre Q y L , pero escalada por $1/(1-D\%)$ ya que no sólo se trasladan los ejes sino que se escalan. Finalmente, existe una concentración de probabilidad en un porcentaje de pérdidas igual a $L(1-D\%)$ igual al área bajo f_d entre L y 1.0.

Con base en las consideraciones expuestas anteriormente, cuando el deducible es un porcentaje fijo de daños, D , o cuando el deducible es un porcentaje de los daños ocurridos, $D\%$, es posible calcular la Esperanza y la Variancia de las pérdidas en función de la forma y los parámetros que definen la función de densidad de probabilidad de los daños, f_d .

En caso de existir coaseguro, las pérdidas netas de la compañía aseguradora se calculan como el producto entre el porcentaje de pérdidas, el valor asegurado y el término: $(1-\% \text{ coasegurado})$.

3 INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN

3.1 Requisitos previos (Software)

La aplicación IE - RISS debe estar soportada por el sistema operativo Windows XP o Windows Vista a 32 bits. Para ejecutar el programa, el sistema debe poseer algunas aplicaciones básicas, de lo contrario es necesaria su instalación previa. Dichas aplicaciones están ubicadas en la carpeta Directorio “Soporte”. El orden de instalación es:

- a. WindowsInstaller-KB893803-v2-x86.exe
- b. dotNetFx35setup.exe (framework 3.5)
- c. vjredist.exe

Para el funcionamiento también es necesaria la instalación de la aplicación: Triangulacion.msi, la cual está ubicada en el directorio “Soporte” y debe ser instalada en el mismo directorio donde se encuentre el ejecutable IE_RISS.exe.

3.2 Descripción de archivos

Para realizar los procesos de cálculo la aplicación requiere una serie de archivos los cuales deben ser colocados en directorios específicos dentro de la carpeta donde se encuentra el ejecutable IE - RISS.exe. En la Tabla 3.1 se da una descripción de los directorios.

Tabla 3.1. Directorios y archivos de datos.

Directorio	Descripción	Archivos o directorio
IE RISS	Directorio principal	DatosConfig, Ecu, Fuente, Fm, Fv, Input, Output, RRS, Soporte IE_RISS.exe
DatosConfig	Configuración para procesos de cálculo (Numeral 4.8)	Configura.txt
Ecu	Ecuaciones de atenuación (Numeral 4.3)	Archivos .txt con ecuaciones de atenuación. El nombre de los archivos debe ser de máximo 14 caracteres.
Fuente	Información con los parámetros de la fuente sísmica (Numeral 4.1).	Fuente.txt
Fm	Grupo de formas modales típicas de las estructuras (Numeral 4.5)	Archivos .txt con formas modales. El nombre de los archivos debe ser de máximo 10 caracteres

Directorio	Descripción	Archivos o directorio
Fv	Grupo de funciones de vulnerabilidad típicas de las estructuras (Numeral 4.5)	Archivos .txt con funciones de vulnerabilidad. El nombre de los archivos debe ser de máximo 10 caracteres.
Input	Datos de cartera (Numeral 4.2, Numeral 4.7 y Numeral 4.6)	Periodos.txt Estructuras.txt Ciudades.txt
Output	Resultados de estimación de pérdidas (Numeral 5.1)	Pml.txt
RRS	Función de amplificación espectral del suelo (Numeral 4.4)	Archivos .txt con valores de la función <i>RRS</i> de distintos tipos de suelo. El nombre de los archivos debe ser de máximo 10 caracteres.

4 ENTRADA DE DATOS

Con el propósito de permitir mayor versatilidad en la nueva versión del software IE - RISS se pretende que todos los parámetros usados en la estimación de las pérdidas sean de manejo del usuario. El usuario debe especificar información relacionada básicamente con propiedades de sismicidad de las fuentes (Fuente), ecuaciones de atenuación (Ecu), relaciones de respuesta espectral del suelo (RRS), descripción de los bienes (Ciudades, Estructuras) y propiedades dinámicas de la estructura (Fm: formas modales, Fv: funciones de vulnerabilidad). Los datos tendrán que ser ingresados en forma de archivos .txt separados por tabulaciones, y deben ser ubicados en cada uno de los directorios y con los nombres indicados en la Tabla 3.1. . En el caso que sean archivos de nombre libre (ecuaciones de atenuación, formas modales, funciones de vulnerabilidad y RRS) los nombres deben coincidir exactamente con los ingresados en cada una de las plantillas.

La forma de los archivos .txt se describen a continuación en detalle. Por claridad de este documento las plantillas se presentan en forma de tabla y no con separación de tabulaciones como debe ser, tal y como se presenta en el archivo de ejemplo en cada directorio.

4.1 Fuentes sísmicas

En una misma plantilla se especifican todas las fuentes por medio de sus parámetros y los puntos que definen su geometría. Entre los parámetros de cada fuente se destacan: magnitud máxima, magnitud mínima (menor magnitud con potencial de daño), modelo de distribución de probabilidad de magnitudes, y definición de la geometría de la fuente. Los datos necesarios para la definición de la geometría serán función del tipo de fuente seleccionado. En las llamadas Lineal fuente se especificarán la longitud y la latitud de la línea de falla proyectada en superficie, el rango de profundidades y el buzamiento. Las Area fuente deben ser especificadas con las coordenadas, en latitud y longitud, de los puntos que conforman el polígono, y el valor de profundidad en el que se encuentra el plano horizontal. La Tabla 4.1 contiene los parámetros que se deben ser considerados en la definición de las fuentes.

Tabla 4.1. Estructura general de datos de fuentes sísmicas.

<i>n</i>											
<i>ID</i>	<i>Nombre</i>	<i>Tipo_Fuente</i>	<i>EcuAten</i>	<i>Mag_min</i>	<i>Mag_ult</i>	<i>Lamda</i>	<i>Modelo</i>	<i>Buz</i>	<i>Prof inf</i>	<i>Prof sup</i>	<i>N_Ptos (Max 32)</i>
<i>E1</i>	<i>N1</i>	<i>E2</i>	<i>N2</i>	<i>E3</i>	<i>N3</i>	...	...	<i>EN_Ptos</i>	<i>Nn</i>		
Fte ₁	NomFte ₁	TipoFte ₁	EcuAten ₁	Mo ₁	Mu ₁	λo ₁	Modelo ₁	Buz ₁	ProfInf ₁	Profsup ₁	NoPtos ₁
E ₁	N ₁	E ₂	N ₂	...	...	E _{NoPtos 1}	N _{NoPtos 1}				
Fte ₂	NomFte ₂	TipoFte ₂	EcuAten ₂	Mo ₂	Mu ₂	λo ₂	Modelo ₂	Buz ₂	ProfInf ₂	Profsup ₂	NoPtos ₂
E ₁	N ₁	E ₂	N ₂	...	...	E _{NoPtos 2}	N _{NoPtos 2}				
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Fte _n	NomFte _n	TipoFte _n	EcuAten _n	Mo _n	Mu _n	λo _n	Modelo _n	Buz _n	ProfInf _n	Profsup _n	NoPtos _n
E ₁	N ₁	E ₂	N ₂	...	...	E _{NoPtos n}	N _{NoPtos n}				

Donde *n* es el número total de fuentes, Fte₁, Fte₂, ..., Fte_n es el consecutivo de la fuente, NomFte₁, NomFte₂, ... NomFte_n es el nombre de la fuente (máximo 14 caracteres), TipoFte₁, TipoFte₂, ... TipoFte_n es el tipo de fuente (Lineal o Area), EcuAten₁, EcuAten₂, ..., EcuAten_n es el nombre de la ecuación de atenuación, Mo₁, Mo₂, ..., Mo_n es el valor de la magnitud mínima con potencial de daño, Mu₁, Mu₂, ..., Mu_n es la magnitud última de la fuente, λo₁, λo₂, ..., λo_n es la tasa de de ocurrencia de eventos en número de eventos por año. Por otra parte, Buz₁, Buz₂, ..., Buz_n es el buzamiento, en grados, del plano de fuente (se debe especificar 0.0 para fuentes tipo Area), Profinf₁, Profinf₂, ..., Profinf_n y Profsup₁, Profsup₂, ..., Profsup_n son las profundidades, en Km, que limitan el plano de la fuente (para fuentes tipo Area, Profinf es la profundidad del plano y el valor de Profsup debe ser 0.0), NoPtos₁, NoPtos₂, ..., NoPtos_n es el número de puntos que definen la fuente; E₁, N₁; E₂, N₂; ..., E_{NoPtos i}; N_{NoPtos i} son las coordenadas geográficas, longitud este y

latitud norte, respectivamente, de los puntos que definen la línea más superficial del plano de la fuente o el polígono, según sea una Lineal fuente o Area fuente, respectivamente.

La interpretación de la geometría de la Lineal fuente y las Area fuente se ilustra en la Figura 2.1 y Figura 2.2, respectivamente.

El Modelo puede ser exponencial (Exp), característico (Carac) o discreto (Manual). En función del modelo especificado se deben asignar parámetros adicionales, los cuales se ubicarían en la plantilla de la Tabla 4.1 entre la columna “Modelo” y la columna “Buz”. Los parámetros se especificarían de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Estructura de datos de las fuentes sísmicas (modelos de recurrencia de magnitudes).

<i>Beta</i>	<i>Delta1</i>	<i>Delta2</i>	<i>Tasa4.0</i>	<i>Tasa4.5</i>	<i>Tasa5.0</i>	...	...	<i>Tasa8.5</i>	<i>Tasa9.0</i>
β_1	Delta1 ₁	Delta2 ₁	Tasa _{1,4.0}	Tasa _{1,4.5}	Tasa _{1,5.0}	...	...	Tasa _{1,8.5}	Tasa _{1,9.0}
β_2	Delta1 ₂	Delta2 ₂	Tasa _{2,4.0}	Tasa _{2,4.5}	Tasa _{2,5.0}	...	...	Tasa _{2,8.5}	Tasa _{2,9.0}
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
β_n	Delta1 _n	Delta2 _n	Tasa _{n,4.0}	Tasa _{n,4.5}	Tasa _{n,5.0}	...	...	Tasa _{n,8.5}	Tasa _{n,9.0}

Donde β_i es la relación entre la generación de magnitudes mayores y menores para la fuente i , Delta1 _{i} , Delta2 _{i} son constantes, las cuales especifican en el caso que el modelo sea característico, de acuerdo a lo presentado en Numeral 2.1. El valor de Tasa _{i,j} ; tasa en la fuente i para una magnitud j , expresa en términos de número de sismos por año, se especifica en caso que el modelo sea discreto. Los parámetros de los modelos que no sean seleccionados deben tener un valor de cero (0).

4.2 Información de periodos

Los periodos estructurales que se tendrán en cuenta para realizar el análisis deben ser ingresados en forma de vector. Su estructura se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Estructura de datos de periodos.

t
T_1
T_2
:
:
:
T_t

Donde t es el número total de periodos y T_1, T_2, \dots, T_t es el valor de periodo.

4.3 Ecuaciones de atenuación

Se ingresa una plantilla tipo matriz por ecuación de atenuación. Se debe discriminar la magnitud del sismo, la distancia, el periodo estructural y el valor de respuesta. Se considera una componente aleatoria igual para todos los niveles de respuesta, la cual es cuantificada mediante los valores de desviación inter e intra evento. Adicionalmente, se debe especificar el tipo de distancia para la evaluación de la ecuación de atenuación. La plantilla de generación de la ecuación de atenuación se presenta en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Estructura de datos de la ecuación de atenuación.

NroPer	m	TotalDist	σ_{inter}	σ_{intra}	TipoDist		
<i>Periodo</i>	<i>Magnitud</i>	Dist ₁	Dist ₂	Dist ₃	Dist ₄	...	Dist ₂₅ (max)
T ₁	M ₁	Rta _{1,1}	Rta _{2,1}	Rta _{3,1}	Rta _{4,1}	...	Rta _{25,1}
T ₁	M ₂	Rta _{1,2}	Rta _{2,2}	Rta _{3,2}	Rta _{4,2}	...	Rta _{25,2}
:	:	:	:	:	:	...	:
T ₁	M _m	Rta _{1,m}	Rta _{2,m}	Rta _{3,m}	Rta _{4,m}	...	Rta _{25,m}
T ₂	M ₁	Rta _{1,1}	Rta _{2,1}	Rta _{3,1}	Rta _{4,1}	...	Rta _{25,1}
T ₂	M ₂	Rta _{1,2}	Rta _{2,2}	Rta _{3,2}	Rta _{4,2}	...	Rta _{25,2}
:	:	:	:	:	:	...	:
T ₂	M _m	Rta _{1,m}	Rta _{2,m}	Rta _{3,m}	Rta _{4,m}	...	Rta _{25,m}
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
T _{NroPer}	M ₁	Rta _{1,1}	Rta _{2,1}	Rta _{3,1}	Rta _{4,1}	...	Rta _{25,1}
T _{NroPer}	M ₂	Rta _{1,2}	Rta _{2,2}	Rta _{3,2}	Rta _{4,2}	...	Rta _{25,2}
:	:	:	:	:	:	...	:
T _{NroPer}	M _m	Rta _{1,m}	Rta _{2,m}	Rta _{3,m}	Rta _{4,m}	...	Rta _{25,m}

Donde, NroPer es el número de periodos para los que está definida la ecuación de atenuación, m es el número de magnitudes, TotalDist es el número de distancias, σ_{inter} es la desviación estándar inter evento, σ_{intra} es la desviación estándar intra evento, TipoDist es un indicador del tipo de distancia para la cual está definida la ecuación, el cual toma un valor de 0 si es la distancia más cercana a la rotura en proyección horizontal y un valor de 1 si es la distancia más cercana a la rotura. Dist₁, Dist₂, ..., Dist₂₅ es el valor de la distancia para la cual se discretiza la ecuación, T₁, T₂, ..., T_{NroPer} es el valor del periodo, M₁, M₂, ..., M_m es el valor de la magnitud, Rta_{ij} es la respuesta asociada a la distancia i y a la magnitud j para cierto valor de periodo.

4.4 Información del suelo

Para tener en cuenta el comportamiento no lineal del suelo, se deben entregar distintas funciones *RRS* para distintos niveles de intensidad de excitación. Además, será necesaria la especificación la desviación estándar sobre los valores de esas funciones *RRS* y el periodo fundamental del estrato de suelo.

La información del suelo debe ser entregada para cada uno de los sectores (sitios considerados con respuesta sísmica similar) en los que se divida la ciudad en estudio. La estructura de datos de los archivos con información del suelo se presenta en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Estructura de datos del suelo.

t	TotalInt	NivelInt	Tf	σ			
0	int ₁	int ₂	int ₃	int ₄	...	...	int ₁₀ (max)
T ₁	RRS _{1,1}	RRS _{1,2}	RRS _{1,3}	RRS _{1,4}	...	...	RRS _{1,10}
T ₂	RRS _{2,1}	RRS _{2,2}	RRS _{2,3}	RRS _{2,4}	...	...	RRS _{2,10}
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
T _t	RRS _{t,1}	RRS _{t,2}	RRS _{t,3}	RRS _{t,4}	RRS _{t,5}		RRS _{t,10}

Donde, t es el número de periodos, TotalInt, es el número de intensidades, NivelInt, es un indicador del nivel de intensidad al que se asocia la función *RRS*, el cual toma el valor de 0 si el nivel se asocia a una respuesta en periodo nulo y 1 si se asocia al periodo fundamental del suelo; σ es la desviación estándar sobre los datos de *RRS*, Tf es el valor del periodo fundamental del suelo (este parámetro puede obviarse en caso que NivelInt sea 0, para lo cual es necesario asignar un valor de 0.0),, int₁, int₂, ..., int₁₀ es el valor de la intensidad para la cual se obtuvo la función *RRS*, T₁, T₂, ..., T_t es el valor de los periodos espectrales sobre los que se define *RRS* y *RRS_{ij}* es el valor de la relación espectral para un periodo i y una intensidad j. El número total de periodos espectrales, así como el valor de los mismos, deben ser idénticos a los que se definan en la Estructura de datos de periodo de la Tabla 4.3.

4.5 Información estructural.

Existen dos componentes básicas que se deben proveer para la determinación de la respuesta de la estructura. Ellas son: información correspondiente a los modos elásticos de vibración, y las funciones de vulnerabilidad, las cuales dan cuenta de la relación entre la respuesta estructural y el daño.

4.5.1 Modos de vibración

Aquí se suministra la información de los modos predominantes de vibración de la estructura. La información que se deberá suministrar para cada uno de los modos es: desplazamientos modales horizontales, factores de participación modal, periodos de vibración y factores de amplificación. La estructura de entrada de datos se presenta en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Estructura de datos de la información modal.

m	p						
<i>Nro</i>	<i>T</i>	<i>FP</i>					
<i>Desp 1</i>	<i>FDesp 1</i>	<i>Desp 2</i>	<i>FDesp 2</i>	..	..	<i>Desp p</i>	<i>FDesp p</i>
Mod ₁	T	FP ₁					
d _{1,1}	FDesp _{1,1}	d _{1,2}	FDesp _{1,2}	..	..	d _{1,p}	FDesp _{1,p}
Mod ₂	T ₂	FP ₂					
d _{2,1}	FDesp _{2,1}	d _{1,2}	FDesp _{2,2}	..	..	d _{2,p}	FDesp _{2,p}
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
Mod _m	T _m	FP _m					
d _{m,1}	FDesp _{m,1}	d _{1,2}	FDesp _{m,2}	..	..	d _{m,p}	FDesp _{m,p}

Donde, m es el número de modos, p es el número de pisos, Mod₁, Mod₂, ..., Mod_j, ..., Mod_m es el indicador del consecutivo del modo, T₁, T₂, ..., T_j, ..., T_m es el valor del periodo del modo j, FP₁, FP₂, ..., FP_j, ... FP_m, es valor del factor de participación del modo j, d_{j,i}, es el valor de la respuesta modal del piso i en el modo j, y FDesp_{j,i} es el factor amplificador de la respuesta en el piso i y modo j. FDesp_{j,i} debe tomar el valor de 1.0 si el usuario considera no hacer uso del mismo.

4.5.2 Funciones de vulnerabilidad

Las funciones de vulnerabilidad de la estructura se especifican mediante pares de valores de respuesta estructural – Daño, tal y como se muestra en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Estructura de datos de las funciones de vulnerabilidad.

TotalPares	CV(0.5)	
<i>Nro</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Daño</i>
1	RtaEst ₁	dano ₁
2	RtaEst ₂	dano ₂
:	:	:
:	:	:
n	RtaEst _n	dano _n

Donde TotalPares es el número total de pares: respuesta estructural – daño, que son ingresados, CV(0.5) es el coeficiente de variación máximo para un valor de daño del 50%, $RtaEst_1, RtaEst_2, \dots, RtaEst_i, \dots, RtaEst_n$ es el valor de la respuesta estructural, y $dano_i$, es el valor de daño asociado a la respuesta: $RtaEst_i$.

4.6 Información de la ciudad

El software está diseñado para realizar análisis de riesgo en carteras ubicadas en distintas ciudades. La estructura de datos con la información de las ciudades se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Estructura de datos de las ciudades.

NoCiu					
<i>Ciudad</i>	<i>Long</i>	<i>Lat</i>	<i>Sectores</i>		
<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	...	...
Ciu ₁	E ₁	N ₁	NoSec ₁		
S _{1,1}	S _{2,1}	...	S _{i,1}	...	S _{NoSec 1,1}
Ciu ₂	E ₂	N ₂	NoSec ₂		
S _{1,2}	S _{2,2}	...	S _{i,2}	...	S _{NoSec 2,2}
:					
:					
Ciu _{NoCiu}	E _{NoCiu}	N _{NoCiu}	NoSec _{NoCiu}		
S _{1,NoCiu}	S _{2,NoCiu}	...	S _{i,NoCiu}	...	S _{NoSec NoCiu, NoCiu}

Donde NoCiu es el número de ciudades, Ciu₁, Ciu₂, ..., Ciu_{NoCiu} es el nombre de la ciudad, E₁, N₁; E₂, N₂; ...; E_{NoCiu}, N_{NoCiu} son las coordenadas geográficas, longitud este y latitud norte, respectivamente, de la ciudad, NoSec₁, NoSec₂, ..., NoSec_{NoCiu} es el número de sectores de la ciudad, y S_{i,j}, indica el nombre del sector i en la ciudad j. Este nombre debe coincidir con el nombre asignado en el directorio donde se almacenan las funciones *RRS* asociadas al sector.

4.7 Información de la cartera

Para cada estructura que compone la cartera se deben especificar, la forma modal y la función de vulnerabilidad en forma de un código de asignación. Otros datos importantes y que deben ser especificados son: valor del bien en unidades monetarias, condiciones de pólizas (deducibles y límite), aceleración resistente, las alturas de piso y la ciudad y el tipo de suelo donde está ubicado el bien. La cartera de bienes debe ser agrupada por ciudades consecutivas, conforme a la Estructura de datos de ciudades (Tabla 4.8).. Igualmente, la distribución de estructuras en los sectores de una ciudad debe respetar el orden especificado para los sectores en la Tabla 4.8. La estructura de datos de la cartera se presenta en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Estructura de datos de la cartera.

<i>m</i>											
<i>Nro</i>	<i>Ciudad</i>	<i>Sector</i>	<i>Valor</i>	<i>Ded</i>	<i>Ded%</i>	<i>Limite</i>	<i>Coas</i>	<i>FVulnera</i>	<i>Acel Resis</i>	<i>F modal</i>	<i>No Alturas</i>
<i>h 1</i>	<i>h 2</i>	<i>h 3</i>	<i>h 4</i>					<i>h 5</i>	...		
Est ₁	Ciu ₁	S ₁	Valor ₁	D ₁	D% ₁	L ₁	C ₁	FuncVul ₁	Ac ₁	ForMod ₁	NoH ₁
h _{1,1}	h _{2,1}	...	h _{i,1}					...	h _{NoH 1,1}		
Est ₂	Ciu ₂	S ₂	Valor ₂	D ₂	D% ₂	L ₂	C ₂	FuncVul ₃	Ac ₂	ForMod ₂	NoH ₂
h _{1,2}	h _{2,2}	...	h _{i,2}					...	h _{NoH 2,2}		
:	:	:	:					:	:	:	
:	:	:	:					:	:	:	
Est _m	Ciu _m	S _m	Valor _m	D _m	D% _m	L _m	C _m	FuncVul _m	Ac _m	ForMod _m	NoH _m
h _{1,m}	h _{2,m}	...	h _{i,m}					...	h _{NoH m,m}		

Donde *m* es el número de estructuras, Est₁, Est₂, ... Est_m es el consecutivo de las estructuras, Ciu₁, Ciu₂, ... Ciu_m es el nombre de la ciudad donde se encuentra el bien, S₁, S₂, ... S_m es el indicador de nombre de archivo de RRS donde está ubicada la estructura y debe coincidir con los nombres asignados en la estructura de datos de la ciudad (Tabla 4.8), Valor₁, Valor₂, ... Valor_m representa el valor de la estructura en unidades monetarias, D₁, D₂, ..., D_m, es el valor del deducible D, en porcentaje de daños, asignado a la estructura, D%₁, D%₂, ..., D%_m es el valor de

deducible $D\%$, en porcentaje de daños ocurridos, asignado a la estructura, L_1, L_2, L_3 , es el valor del límite de la póliza, en porcentaje de daños, fijado para la estructura, C_1, C_2, \dots, C_m , es el valor del coaseguro, en porcentaje del valor asegurado, $FuncVul_1, FuncVul_2, \dots, FuncVul_m$ es el indicador del nombre del archivo de función de vulnerabilidad (Numeral 4.5) asignada a la estructura, Ac_1, Ac_2, \dots, Ac_m es el valor de la aceleración resistente, $ForMod_1, ForMod_2, \dots, ForMod_m$ es el indicador del nombre del archivo de la forma modal (Numeral 4.5), $NoH_1, NoH_2, \dots, NoH_m$ es el valor del número de pisos de la estructura, el cual debe coincidir con los indicados en la estructura forma modal (Tabla 4.6). El valor $h_{i,j}$ corresponde a la altura del piso i de la estructura j .

4.8 Configuración

Aquí se deben especificar parámetros tendientes a la optimización de los métodos numéricos. La configuración del archivo es mostrada a continuación.

Encabezado:	Tamaño característico de triángulos
Línea:	Valor Double
Encabezado:	Distancia máxima de análisis
Línea:	Valor Double
Encabezado:	Número de puntos de Gauss para integración de sismicidad en los triángulos
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Número de puntos de Gauss para integración de magnitudes
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Número de puntos de Gauss para integración de la incertidumbre de la respuesta roca - fuente
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Número de puntos de Gauss para integración de la incertidumbre de la respuesta roca - trayecto
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Número de puntos de Gauss para integración de la incertidumbre de la respuesta superficial
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Número de sigmas de truncamiento en distribución de probabilidad Normal
Línea:	Valor Interger
Encabezado:	Coficiente de correlación para pérdidas de estructuras de un mismo sector
Línea:	Valor Double
Encabezado:	Método de integración para integración de incertidumbre. 0: Probabilidades, 1: Pesos Gauss
Línea:	Valor Integer

5 RESULTADOS

5.1 Pérdidas máximas probables

Las pérdidas en una cartera de bienes tienen representación completa mediante la curva PML (Probable Maximum Loss), la cual relaciona una pérdida determinada con su tasa de excedencia respectiva. En la curva se integran todas las posibles combinaciones probabilísticas de variables del fenómeno. Los resultados se entregan en un archivo de texto, Pml.txt, cuya estructura se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Estructura de resultados.

<i>Perdida</i>	<i>Tasa (Perd)</i>	<i>Tr</i>
perd ₁	Tasa (perd ₁)	Tr ₁
perd ₂	Tasa (perd ₂)	Tr ₂
perd ₃	Tasa (perd ₃)	Tr ₃
:	:	:
:	:	:
:	:	:
perd _n	Tasa (perd _n)	Tr _n

Donde perd₁, perd₂, ..., perd_n es el nivel de pérdida esperado, Tasa (perd_i) es la frecuencia de excedencia de la pérdida *i* y Tr_i es el periodo de retorno en años asociado a la pérdida *i*.

6 REFERENCIAS

AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. *Microzonificación y evaluación del riesgo sísmico del Valle de Aburra*, Medellín, diciembre 2007

ARTEAGA M, Luis M. Triangulaciones de nubes de puntos, triangulación de Delaunay, [consultado abril 2009] disponible en: <http://www.dma.fi.upm.es/docencia/trabajosfinde carrera/programas/geometria computacional/TrianArteaga/TRIANGULACIONES.html>.

BOMMER, Julian J. and CROWLEY, Helen. “The Influence of Ground-Motion Variability in Earthquake Loss Modelling”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, volume 4, april 2006, pages: 231-248.

BOMMER, Julian J. and CROWLEY, Helen. “Modelling Seismic Hazard in Earthquake Loss Models with Spacially Distributed Exposure”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, volume 4, march 2006, pages: 249-273.

BOORE, David M. and Atkinson Gail M. “Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s”, *Earthquake Spectra*, volume 24, No. 1, february 2008, pages: 99–138.

GALLEGO, S. Mauricio. Estimación del Riesgo Sísmico en la República de Colombia, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de México, México D.F, 2000

CLOUGH, Ray W. and PENZIEN, Joseph. *Dynamics of Structures*, [second edition], Mc Graw - Hill International Editions, 1993.

IDRISS, I. M. “An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes”, *Earthquake Spectra*, volume 24, No. 1, february 2008, pages: 217–242.

JARAMILLO, Juan. D. y ESTRADA Gloria. M. *Evaluación del Riesgo Sísmico con Fines de Seguros*. II Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Medellín, [Universidad de Medellín], Medellín, noviembre 2003.

JARAMILLO F, Juan Diego. “Influence of the Uncertainty in the Soil-Rock Spectral Ratios in the Definition of Uniform Hazard Spectra at Surface Level”, *Journal of Earthquake Engineering*, volume 10, No. 3, 2006, pages: 1-6.

MIRANDA, Eduardo. “Inelastic Displacement Ratios for Structures on Firm Sites”, *Journal of Structural Engineering*, volume 126, No. 10, april 1999, pages: 1150 - 1159.

MIRANDA, Eduardo. “Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings”, *Journal of Structural Engineering*, volume 125, No. 4, april 1999, pages: 417- 125.

YOUNGS, Robert R. and COPPERSMITH, Kevin J. Implications of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models to Probabilistic Seismic Hazard Estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*, volume. 75, No. 4, august 1985, pages: 939-964.

RESTREPO VÉLEZ, Luis F. and BOMMER, Julian J. “An Exploration of the Nature of the Scatter in Ground-Motion Prediction Equations and the Implications for Seismic Hazard Assessment”, *Journal of Earthquake Engineering*, volume 7, special issue No. 1, 2003, pages: 171-199.

Referencias adicionales de consulta:

COWPER, G. R. “Gaussian Quadrature Formulas for Triangles International”, *Journal for Numerical Methods in Engineering*, volume 7, issue 3, 1973, pages: 405-408.

ESTRADA Gloria M and JARAMILLO, Juan D. “IE-RISS: A Modeling System to Manage Risks and Disasters Associated to Earthquake”. Seventh U.S National Conference on Earthquake Engineering, Boston, MA, 2002.

GODA, Katsuichiro and HONG, H. P. “Estimation of Seismic Loss for Spatially Distributed Buildings”, *Earthquake Spectra*, Volume 24, No. 4, november 2008, pages: 889–910.

DUNAVANT, D. A. “High Degree Efficient Symmetrical Gaussian Quadrature Rules for the Triangle”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, volume 21, 1985, pages: 129-1 148.

McGUIRE, Robin K. *Seismic Hazard and Risk Analysis*. Earthquake Engineering Research Institute. 2004.

McGUIRE, Robin K. *FRISK: Computer Program for Seismic Risk Analysis Using Faults as Earthquake Sources*, [United States Department of the interior, Geological Survey], 1978.