

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El Prototipo de sistema de información Geográfica desarrollado, cumplirá un rol fundamental en la Fundación para la Prevención del Riesgo Sísmico, en la Gestión y Administración de Desastres naturales vinculados a eventos sísmicos y movimientos de masa que afecten a la ciudad de Mérida.

Como se ha indicado anteriormente, el prototipo se diseñó en su totalidad, pero se implementó únicamente lo referente al escenario sísmico de la ciudad de Mérida, por las razones ya descritas.

El sistema en sí, tiene como elemento central una base de datos espacial, que permitirá el acceso, almacenamiento, recuperación, interrogación y gestión de los datos útiles para la generación de escenarios sísmicos para la ciudad de Mérida y, en una fase posterior, se podrá realizar la zonificación de riesgo a movimientos de masa y evaluar los daños relacionados con los mismos.

Sobre el uso y la aplicabilidad del prototipo, tendrá como usuarios directos al personal de FUNDAPRIS con funciones de Gestión y Administración de Desastres Naturales y será la herramienta básica en la creación del Plan de Emergencia para la ciudad de Mérida.

Igualmente existe toda una serie de entes públicos y privados que tendrán en el SIG desarrollado una herramienta de trabajo útil.

Entre los entes públicos se tiene al Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Ministerio de la Defensa, Ministerio de Sanidad, Comisionaduría de Salud del Estado, y en especial las municipalidades, ya que la información sobre sectores por probabilidad de subsistencia ante sismos de diferente intensidad y la zonificación de riesgo a movimientos en masa a desarrollarse posteriormente, constituyen un insumo importante en la planificación urbana y el ordenamiento del medio local.

El sector privado también podrá obtener beneficios del SIG, por ejemplo las compañías de seguros al momento de asegurar una vivienda contra daños parciales o totales, podrían utilizar los datos que suministra el SIG sobre las Probabilidades de Subsistencia ante sismos de diferente intensidad para determinar la prima más apropiada a pagar por el asegurado, según el nivel de riesgo que presente.

Esta asesoría puede ser prestada por FUNDAPRIS, recibiendo beneficios por la prestación de este servicio, que servirían para la adquisición de equipos y software útiles para mantener permanentemente actualizado el sistema.

En la actualidad la sede de FUNDAPRIS es constantemente visitada por asociaciones de vecinos y personas naturales, preguntando sobre la estabilidad de

lugar para construir una vivienda, escuela, dispensario. Con las facilidades que presenta la base de datos espacial desarrollada es posible que una sola persona pueda atender varias consultas, pudiendo el resto del personal dedicarse a otras actividades de interés para la fundación.

Igualmente, el SIG podrá utilizarse como una ayuda de instrucción muy importante, al momento de dictar charlas y cursos en los diferentes planteles y comunidades sobre eventos sísmicos y planes de emergencia.

En relación a la metodología MDSIG-00, creada por el Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento, Adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, la cual fue implementada para el desarrollo del presente prototipo, se puede indicar que ha facilitado el proceso de diseño e implementación, ya que la estructura lógica, secuencial e interactiva que presenta la metodología, permite al diseñador del sistema concretarse y enfocarse desde un principio en los objetivos que debe cumplir el sistema.

El resultado de cada fase suministra la información y facilita el desarrollo de las subsecuentes fases.

Igualmente para el desarrollo de la metodología se requiere de una interacción permanente entre los diseñadores y los usuarios a objeto de definir detalladamente los requerimientos que debe cumplir el sistema; esta interacción es fundamental y facilita el proceso de modelado del mundo real en la base de datos espacial y modelará exactamente lo que le interesa al usuario y no al diseñador del sistema, evitándose gastos de tiempo y dinero en la recolección y procesamiento de información irrelevante

En resumen, se puede decir que la presente metodología, permite aprovechar óptimamente las potencialidades de un SIG, debido principalmente a :

Que ofrece un método que auxilia a los diseñadores del sistema y a los usuarios en la determinación precisa de los datos que deben ser colectados para obtener la información deseada.

Permite una reducción en los costos en lo referente a la recolección y entrada de datos al sistema, actividades consideradas las mas dispendiosas en el proceso de desarrollo del sistema.

Se definen los datos y su implementación utilizando un modelo orientado a objetos, lo que conlleva al desarrollo de un modelado que se apega a la terminología y entendimiento del mundo real propio de los usuarios del sistema, permitiendo esto que el proceso de aprendizaje se facilite y que el usuario al sentirse identificado con el sistema obtenga el máximo provecho del mismo.

La metodología MEDSIG-00, puede ser utilizada para el desarrollo de diferentes tipos de SIG, no importando el objetivo del mismo ni el modelo de datos

que utilice, pudiendo ser éste orientado a capas (raster y vectorial) u orientado a objetos.

Recomendaciones

Se recomienda que al momento de implementar lo correspondiente a la zonificación de riesgo a movimientos de masa, se siga el diseño que se presenta en este trabajo, ya que de utilizar otro diseño se podrían presentar problemas de inconsistencia e incompatibilidad, que afectarían la eficiencia y productividad del prototipo desarrollado.

Se debe adiestrar al personal encargado de operar el sistema mediante la asistencia a cursos cortos y conferencias relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica.

BIBLIOGRAFÍA

Aronoff, S. 1991. Geographic Information Systems. A Management Perspective. Ottawa-Canada. 294 p.

Arroyo, L. 1993. Desastre Natural: Un Concepto Cambiante. Revista Geográfica de América Central. Nro 28. II semestre de 1993. Pp 11-14.

Bosque, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España. 451 p.

Burrough, P. 1987. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford. New York-EEUU. 191 p

Comas, D. 1993. Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica. . Editorial Ariel. Barcelona. España. 285 p.

Egenhofer, M. y Frank, A. 1995. Object-Oriented Modeling: A Powerful Tool for GIS. NCGIA. Department of Surveying Engineering. University of Maine. Orono. USA. 21 p.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1990. ARC/INFO. PC Understanding GIS. The ARC/INFO Method. Redlands, California. EEUU. 220 p.

Febres, T. (1931). Archivo de Historia y Variedades. Editorial Sur América, Tomo II. Caracas. Venezuela.

Flores, E. (1995). Elementos de Cartografía Temática Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida-Venezuela. 256 p.

García, G. 1994. Desarrollo e implantación de Base de Datos para el Area Experimental de la Reserva Forestal de Caparo. Tesis M,Sci . Mérida. Universidad de los Andes. 221 p.

Goodchild, M. y Kemp, K. 1990. Developing a Curriculum in GIS: The NCGIA Core Curriculum, Cartographica, Vol. 28, Num 3, pp 39-54.

Grases, J. 1980. Investigaciones sobre sismos destructores que Han Afectado el Centro y Occidente de Venezuela. Proyecto INTEVEP. Caracas. 120 p

Hewitt, K. 1983. The Risks and Hazards Series, I Interpretation of Calamity. Departamente of Geography Ontario, Canada. 

Laffaille, J. 1996. Escenario Sísmico de la Ciudad de Mérida. Tesis M.Sci. Mérida. Universidad de los Andes. 103 p.

Martínez, L. 1986. El Concepto de Escala en Cartografía y su Aplicación Práctica. Facultad de Ciencias Forestales. Consejo de publicaciones. 127p.

Montilva, J. 1995. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Sistemas. Departamento de Computación. Mérida-Venezuela. 150 p.

_____. 1996. Metodología Orientada a Objetos para el Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica. Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 50p.

Mora, S. 1988. Representations of Geographic Space: Toward a Conceptual Synthesis. *Annals of the Assoc. Of American Geographers*, 78 (3), pp 375-394.

Mora, S. y Vahrson, W. 1992. Determinación "A Priori" de la Amenaza de Deslizamientos Utilizando Indicadores Morfodinámicos. 1er Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales. Bogotá. Colombia. 259-274 p.

NCGIA. 1990. Core curriculum. Technical Issues in GIS. Vol II. Santa Barbara, California. National Center For Geographic Information and Analysis. University of California. EEUU. 223 p

Parra, A. 1993. Curso básico de Sistemas de Información Geográfica. Monografía. Mérida. Universidad de los Andes.

Patterson, O. 1993. Referencias Conceptuales en el abordaje de los Desastres Naturales. *Revista Geográfica de América Central*. Nro 28. II semestre de 1993. Pp 15-23.

Peuquet, D. 1984. A Conceptual Framework and Comparison of Spatial data Models. *Cartographica*. Vol 21, núm.4, pp 66-113.

Quijada, F. (1992). *Cartografía Temática*. Mérida-Venezuela. 300 p.

Ramírez, R. 1995a. Relaciones entre Geomorfología, Suelos y Riesgo Sísmico. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales . Mérida. Venezuela. 16 p.

_____. 1995b. Análisis de factores Combinados en la Determinación de Areas críticas por Movimientos de Masa (Caso: Región Centro Occidental de

Nicaragua). Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales Trabajo de Ascenso. Mérida-Venezuela. 68 p.

_____.1996. Clasificación de los Movimientos de Masa. Problemas con la Terminología. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Instituto de Conservación y Geografía. Mérida. Venezuela. 8 p.

Rozo,L..1997.Identificación y Evaluación de Sitios Optimos Para el Establecimiento de Centros de Atención Médica Especializada (CAMEs) En Situacion de Desastre Sísmico. Caso de Estudio : Mérida-Estado Mérida-Venezuela. Tesis M.Sci. Mérida. Cidiat. 158 p.

Schubert, C. 1984. Los Terremotos en Venezuela y su Origen. Cuadernos Lagoven. Departamento de Relaciones Publicas de Lagoven. Caracas. 50 p.

Simoes, M. 1992. Evaluation and Mapping of Landslide Hazard on Desordely Occupied Areas Through GIS and Remote Sensing Techniques. 1er Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales. Bogotá. Colombia. 289-300 p.

Varnes, A. 1978. Slope Movement Land Types and Processes. En: *Landslides: Analysis and Control*. Washington, Transportation Res. Board Nat. Ac. Sci., 176; 11-33.

Verstappen, H. 1992. Requerimientos de la Información Temática en la Concientización de Amenazas Naturales y la Mitigación de Riesgos. 1er Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales. Bogotá. Colombia. 673-686 p.

Westen Van, C. 1992. Scale Related GIS Techniques in the Analysis of Landslide Hazard. 1er Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales. Bogotá. Colombia. 446-484 p.

Wijkman, A. y Timberlake, L. 1988. Natural Disasters Acts of God or Acts of Man. New Society Publishers, Santa Cruz, California.

Worboys, M. 1990. Object-oriented Data modelling for Spatial Databases. *Internacional Journal of Geographical Information Systems*, vol 4, núm 4, pp 369-383.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

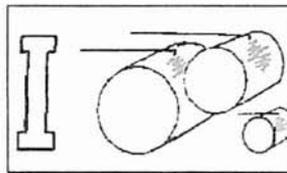
ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA



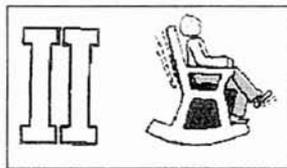
ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA

La escala fue propuesta por Wood y Neumann (1931), tuvo como finalidad adecuar las escalas existentes para la época y tomar así en cuenta los efectos en edificios modernos, estructuras altas, el comportamiento de vehículos de motor, los efectos sobre las líneas vitales, etc.

Se quería además tener la posibilidad de incluir información de daños en diferentes tipos de edificaciones (albañilería, madera, piedra, con estructura o sin ella, etc).



Grado I: Sentido solamente en circunstancias favorables. Bajo ciertas condiciones, fuera de los límites del área en la cual un gran sismo es sentido, se nota que algunos animales, como los pájaros, se muestran intranquilos. Puede experimentarse algún mareo; náusea. Algunos árboles, estructuras, líquidos, masas de agua, pueden oscilar suavemente.



Grado II: Es sentido por unas pocas personas dentro de las edificaciones, especialmente los pisos superiores y por personas nerviosas o muy sensibles. Al igual que en el grado uno, pero de una forma más clara, se nota que algunos animales, como los pájaros, se muestran intranquilos. Puede experimentarse algún mareo o náusea. Algunos árboles, estructuras, líquidos, masas de agua, pueden oscilar suavemente.



Grado III: Sentido por varias personas dentro de las edificaciones como un movimiento consistente de una rápida vibración. Algunas veces no es reconocido al principio como un terremoto.

En algunos casos, la duración del evento puede ser estimada. La vibración sentida es similar a la debida al paso de un pequeño camión, o un gran camión lejano. Los objetos colgantes pueden oscilar suavemente. El movimiento puede ser apreciado en estructuras altas. En los carros detenidos puede observarse un suave balanceo.

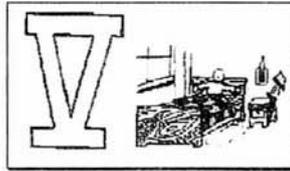


Grado IV : Sentido por muchas personas dentro de las edificaciones y por varias que estén fuera de ellas. Se despiertan varias personas, especialmente las de sueño ligero. No se asustan las personas, a menos que estén sensibilizadas por experiencias anteriores.

La vibración sentida es similar a la debida al paso de un camión pesado. Hay la sensación de que un cuerpo muy pesado golpea la edificación, o de que cuerpos pesados se caen dentro de ella.

Se nota el traqueteo de vajillas, ventanas y puertas; los objetos de vidrio y copas tintinean y chocan entre sí. Crujen las paredes y las estructuras, especialmente en el rango superior de este grado.

En muchos casos los objetos oscilan notablemente. Se agitan ligeramente los líquidos contenidos en envases abiertos. Los vehículos en reposo se balancean notablemente.



Grado V : Todo el mundo lo siente dentro de las edificaciones, la mayoría lo siente fuera de ellas pudiendo apreciar la dirección del movimiento.

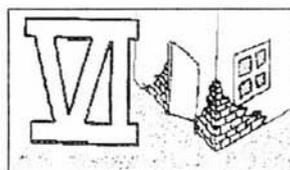
La mayoría, o muchos, se despiertan; varios se asustan, algunos resultan ligeramente excitados y unos pocos corren hacia afuera. Los edificios tiemblan y se estremecen por todos lados.

Se rompe una parte de las vajillas y objetos de vidrio. Se agrietan o se rajan las ventanas (pero no generalmente).

Se voltean los envases los objetos pequeños e inestables; se produce la caída de algunos objetos. Los objetos colgantes y puertas se balancean considerablemente y las pinturas, o cuadros, golpean contra las paredes o se balancean fuera de su lugar .

Las puertas, abiertas o cerradas, chocan abruptamente contra sus marcos. Los relojes de péndulo se detienen, o comienzan a funcionar, o se adelantan o atrasan .

Los objetos pequeños se desplazan, incluyendo los muebles, que se mueven un poco menos. Se derraman pequeñas cantidades de líquidos contenidos en envases muy llenos. Los arboles y arbustos se agitan suavemente.

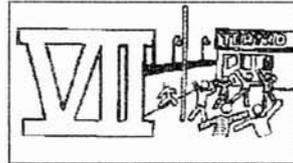


Grado VI : Sentido por todo el mundo. Muchos se asustan, excitación general, se presenta alguna alarma, muchos corren fuera de las casas y edificios. Todo el mundo se despierta.

Las personas caminan en forma inestable. Los árboles y arbustos se agitan entre suave y moderadamente . Los líquidos se ponen en movimiento fuerte . Suenan las campanas pequeñas de escuelas, capillas, iglesias etc. Se observan pequeños daños en edificios construidos pobremente . Es notoria la caída de friso y yesos de las

paredes, en pequeñas cantidades. Se agrieta un poco el friso, especialmente grietas finas.

Las vajillas y vidriería resultan rotas en cantidad considerable; también algunas ventanas. Los objetos pequeños, libros, adornos, cuadros etc, se caen de sus lugares. Los muebles quedan volteados en muchos casos, o se desplazan notablemente si son de peso moderado.



Grado VII : Todo el mundo se asusta, alarma general, todos corren fuera de las edificaciones .

Algunos, o muchos, encuentran difícil permanecer de pie. Es sentido por personas dentro de vehículos en movimiento. Los árboles y arbustos se agitan de moderada a fuertemente.

Se observan ondas en el agua de estanques, lagos y agua corriente. El agua se enturbia con barro revuelto. Suenan grandes campanas. Objetos suspendidos tiemblan y se estremecen.

Daños despreciables en edificios de buen diseño y construcción, de suave a moderado en edificios ordinarios bien contruidos, considerable en aquellos mal diseñados o pobremente contruidos, en casas de adobe, paredes viejas (especialmente donde se colocan adobes, ladrillos o piedras sin mortero), daños en torres, etc. Se producen grietas considerables en las chimeneas y aparecen algunas en paredes bien construidas.

Gran cantidad de frisos dañados o caídos. Se rompen gran cantidad de ventanas y se desprenden gran cantidad de tejas y ladrillos sueltos. Se rompen las chimeneas débiles en la base del techo, dañado éste en algunos casos. Se caen las cornisas de los edificios altos y las torres.

Se dislocan los ladrillos y piedras. Los muebles aparecen volteados, incluyendo muebles pesados que suelen resultar dañados. Los canales de concreto para irrigación suelen sufrir daños de consideración.

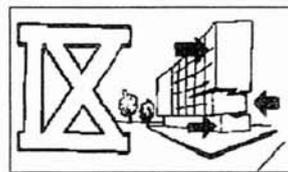


Grado VIII : Miedo general. Estado de alarma que se aproxima al pánico. Se asustan las personas dentro de vehículos en movimiento.

Los árboles son agitados fuertemente (las ramas y troncos se rompen, especialmente en el caso de palmeras). Arena y barro es expulsado en pequeñas cantidades.

Cambia el régimen de flujo de arroyos y manantiales, también la temperatura de los manantiales de agua. Las estructuras diseñadas especialmente para soportar terremotos, sufren daños ligeros, mientras que aquellas de diseño ordinario sufren considerablemente, incluyendo el colapso parcial, la ruina o la caída de algunas de estas estructuras, incluyendo casa de madera en algunos casos.

Las paredes de paneles son desprendidas de las estructuras aporticadas (frame structures) y las edificaciones con daños previos al sismo suelen resultar arruinadas. Se derrumban las paredes y las de piedra sólida se agrietan y rompen seriamente. Son notorios los problemas en suelos húmedos e inclinados. Las chimeneas, columnas, monumentos, torres, etc, se retuercen y caen. Los muebles incluyendo los muy pesados, son movidos notablemente y hasta volteados.



Grado IX : Situación de pánico generalizado.

El suelo se agrieta notablemente. Hay daños considerables en edificaciones de albañilería diseñadas especialmente para soportar terremotos. Son sacadas de la vertical algunas casas con estructuras de madera, diseñadas especialmente para soportar terremotos.

Grandes daños en edificaciones de albañilería, algunas colapsan en gran parte o sus estructuras son completamente movidas de sus fundaciones, arruinando la armazón. Daños serios a los depósitos de agua, Las líneas vitales bajo tierra resultan dañadas en algunos casos.

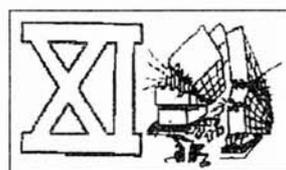


Grado X : Se agrieta el suelo, especialmente cuando se trata de suelos sueltos o húmedos, con grietas de varias pulgadas de ancho; aparecen fisuras, con más de una yarda de ancho, paralelas a los canales y riveras de los riachuelos y corrientes de agua.

Deslizamientos de tierra considerables en las riveras de los ríos y costas inclinadas. Movimiento horizontal de arena y barro sobre playas y tierras llanas. Cambio en el nivel de las aguas de los manantiales. El agua es lanzada sobre las riveras de los canales, lagos, ríos etc. Daños serios en represas, diques, embaulamientos.

Daños severos en puentes y estructuras bien diseñadas de madera, algunas resultan destruidas. Se desarrollan grietas peligrosas en excelentes paredes de ladrillo ,Quedan destruidas la mayoría de las obras de albañilería y las de estructura aporticada, así como también sus fundaciones. Los rieles de trenes se doblan ligeramente.

Las líneas vitales colocadas en tierra se desgarran o se rompen en los extremos. Se abren grietas y se forman dobleces rizados muy amplios en los pavimentos de cemento y asfaltado de carreteras.



Grado XI : Se observan muchas y muy variadas perturbaciones en el terreno, dependientes del tipo de suelo:

Amplias grietas, hundimientos, deslizamientos (sobre todo en suelos suaves y húmedos). Presencia de agua eyectada cargada con arena y barro.

En el mar se forman olas de magnitud significativa (ondas de marea o tidal waves).

Daños severos a estructuras con pórticos de madera, especialmente cerca de la zona epicentral. Graves daños a represas, diques y embaulamientos, hasta los que están ubicados lejos del epicentro.

Pocas edificaciones de albañilería, inclusive con estructura, quedan en pié. Grandes puentes, bien contruidos, son destruidos, fallando sus pilares de soporte. Se doblan notablemente los rieles de trenes. Las líneas vitales en tierra quedan completamente fuera de servicio.



Grado XII : Destrucción total, prácticamente todas las obras de construcción son grandemente dañadas o destruidas. Grandes y muy variadas perturbaciones del terreno, aparecen numerosas grietas, deslizamientos, caída de rocas de tamaño considerable, desborde de ríos, canales, etc.

Se observa la formación de ondas sobre la superficie del terreno. Grandes masas de rocas suelta son desprendidas y desgarradas. Deslizamiento de fallas en roca firme, con deslizamiento vertical y horizontal notable . Se forman represamientos naturales, con caídas de agua; se desvían los ríos, etc. Los objetos son lanzados hacia arriba en el aire.

FOTOS TERRAZA DE MÉRIDA



Figura 5.1 Vista sector Pedregosa Sur



Figura 5.2. Talud de la terraza de Mérida, desde la via Mérida-Tabay

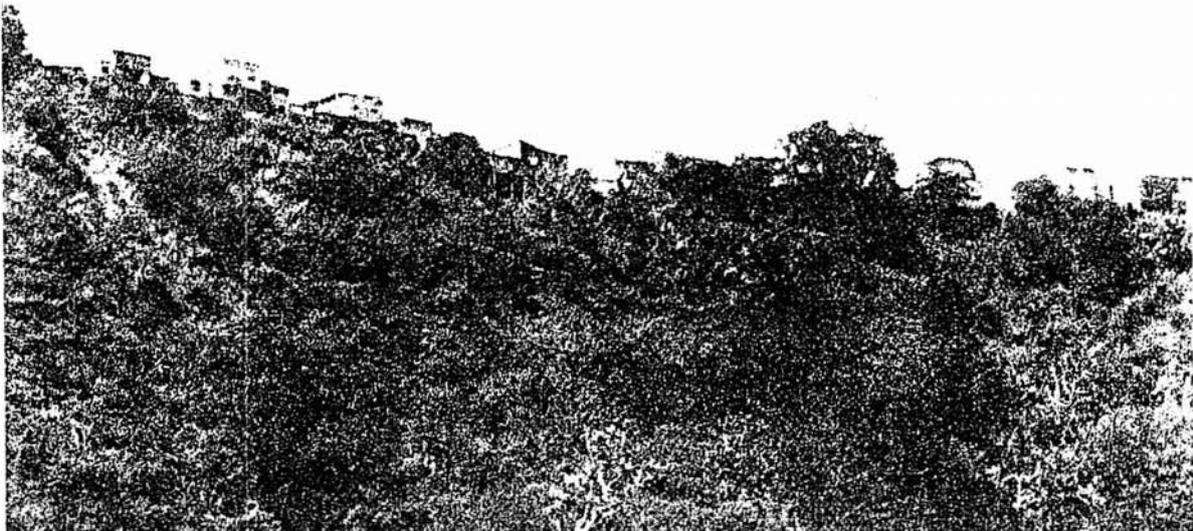


Figura 5.3. Talud de la terraza de Mérida, desde la via Mérida-Tabay

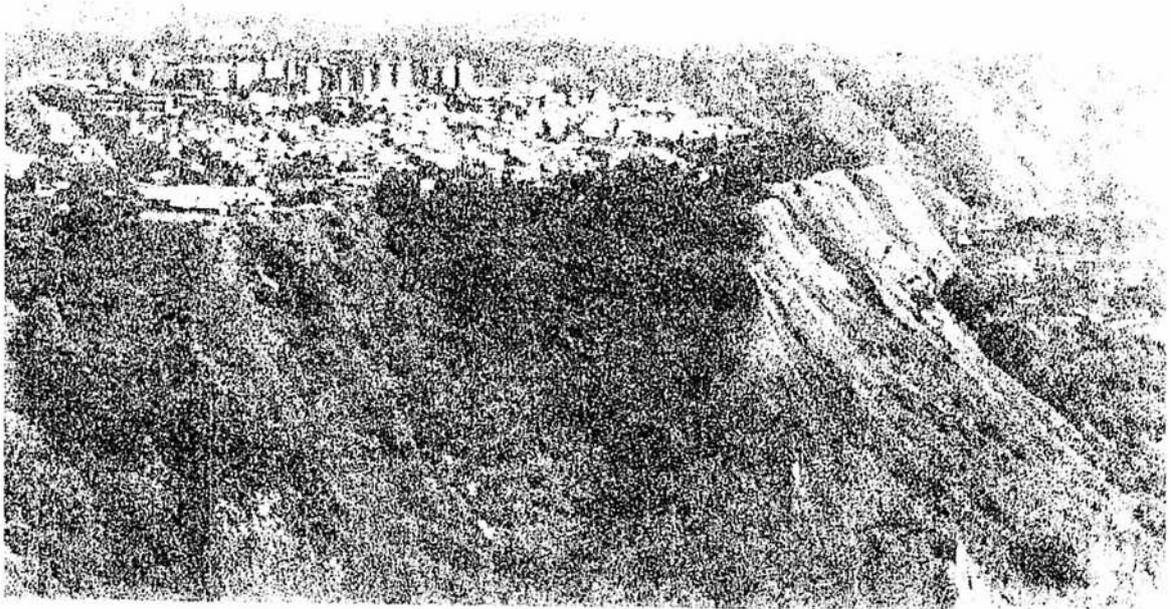


Figura 5.4. Sector sur de la terraza

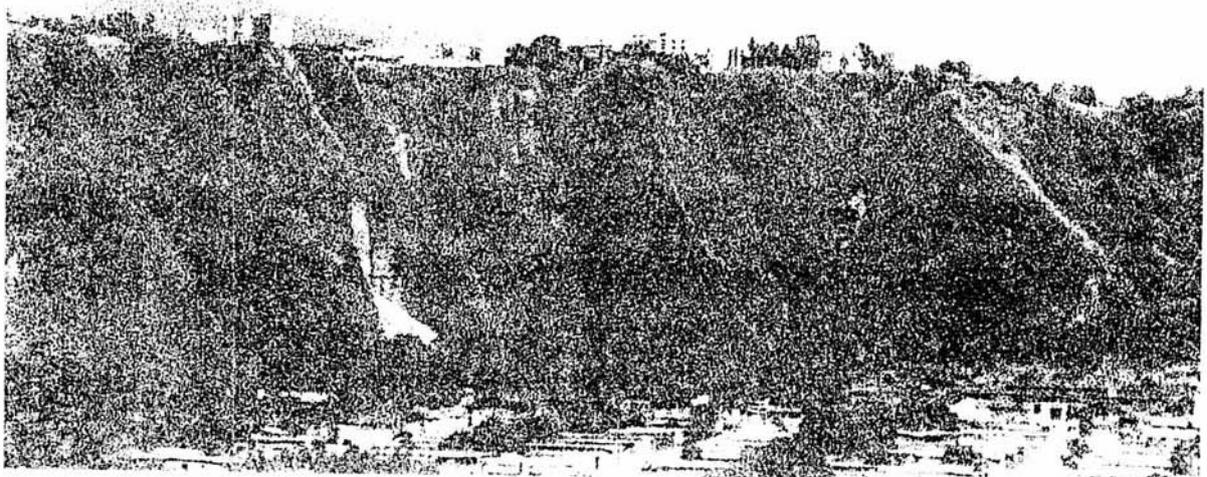


Figura 5.5 Vista de la terraza desde el Sector Chamita

APÉNDICE 2

ESCALA DE INTENSIDADES MSK

ESCALA DE INTENSIDADES MSK

1. Tipos de construcciones (edificios y edificaciones sin las medidas antisísmicas necesarias)

Tipo A: Edificios de piedra picada, construcciones rurales, casa de adobe, casa de arcilla.

Tipo B: Edificios de ladrillo corriente, de bloques largos y prefabricados, construcciones de madera, edificios de piedra natural labrada.

Tipo C: Edificaciones de hormigón u hormigón armado, construcciones de madera fabricadas.

2. Características cuantitativas

Pocos o muy pocos alrededor del 5%

Muchos alrededor del 50 %

La mayoría.....alrededor del 75%

3. Nivel de daños:

Grado 1. Daños ligeros, grietas finas en la cubierta (repello), caída (desprendimiento de pequeños pedazos de relleno)

Grado 2. Daños moderados, grietas pequeñas en las paredes, desprendimiento de pedazos bastante grandes de repellos, caídas de tejas del techo, grietas en las chimeneas, se caen parte de las chimeneas.

Grado 3. Daños considerables, grietas largas y profundas en las paredes, caídas de chimeneas.

Grado 4. Destrucción parcial, rajadura través de paredes, roturas y derrumbes de parte del edificio, destrucción de las paredes divisorias.

Grado 5. Destrucción total: derrumbe total del edificio.

4. Orden de los signos de la escla:

- a) Personas y ambiente.
- b) Construcciones.
- c) Naturaleza del fenómeno.

Intensidades (en grados) MSK

I. Terremoto imperceptible

La intensidad de las vibraciones por debajo del límite de la sensibilidad humana, sólo registrada por los sismógrafos.

II. Terremoto escasamente perceptible

Sentido solo por pocas personas que se encuentran descansando dentro de sus casas, especialmente en pisos altos de edificios

IV. Terremoto considerable

Sentido por muchas personas dentro de los edificios y por pocas a cielo abierto. En algunos lugares se despiertan los que están durmiendo, pero nadie se asusta. Las vibraciones son semejantes a las producidas por un camión pesado.

Vibraciones en las puertas y ventanas, tintineo de copas, vasijas y objetos de porcelana. Crujidos en los pisos y paredes. Cierta trepidación en los muebles.

Los objetos que cuelgan se balancean suavemente. Los líquidos en vasijas destapadas oscilan ligeramente. Sentidos en los automóviles con motor apagado.

V. Despertamiento

a) Sentido por todas las personas en el interior de los edificios, por muchas a cielo abierto. Muchas personas durmiendo se despiertan. Muchas salen de los locales. Los animales se alarman.

Se estremece todo el edificio. Los objetos colgados se balancean fuertemente. Los cuadros se salen de sus sitios. En raros casos los relojes de péndulo se detienen. Las puertas y ventanas entreabiertas se abren de par en par y se cierran de nuevo bruscamente. En las vasijas llenas de líquido hasta el borde, éste se derrama en pocas cantidades. Las vibraciones sentidas se asemejan a las producidas por la caída de objetos pesados dentro de un edificio.

b) Posibles daños en grado 1 en edificios aislados de tipo A

c) En algunos casos cambian los surtidores de los manantiales.

VI. Espanto

a) Sentido por la mayoría de las personas, lo mismo en interiores que a cielo abierto. Muchas personas pierden el equilibrio. Los animales domésticos salen de sus refugios. En algunos casos se puede romper la vajilla y otros objetos de vidrio; se caen los libros de sus estantes. Posible movimiento de muebles pesados. Puede ser sentido cierto sonido en las campanas.

b) Daños de grado 1 en edificios aislados del tipo B y en muchos edificios del tipo A. En edificios aislados. Tipo A, daños de grado 2.

c) En muchos casos, en los terrenos húmedos pueden aparecer grietas hasta de 1 cm, en las regiones montañosas, en casos aislados se producen deslizamientos en el terreno. Se observan cambios en el nivel de los pozos y en los bordes de los manantiales.

VIII. Fuertes daños en los edificios.

a) Espanto y pánico, incluso las personas que conducen automóviles experimentan alarma. En algunos lugares se rompen las ramas de los árboles. Los muebles pesados se mueven de lugar y en algunos casos pueden volcarse. Parte de las lámparas suspendidas se dañan.

- b) En muchos edificios del tipo C, sufren daños de grado 2 y en algunos casos de grado 3. En muchos edificios tipo B daños de grado 3, en algunos casos de grado 4. En muchos edificios de tipo A daños de grado 4 y en algunos casos de grado 5. En casos de aislados se observan rupturas en las tuberías de agua. Se desplazan los monumentos y estatuas. Se vuelcan las lápidas. Los muros de piedra se rompen.
- c) Pequeños derrumbes en los taludes escabrosos de los hoyos o excavaciones y en los terraplenes. Las grietas en el terreno alcanzan varios centímetros . Aparecen nuevos depósitos de agua. En algunos casos los pozos secos pueden llenarse de agua o aquellos llenos secarse. En muchos casos cambia el surtido de los manantiales y el nivel de agua de los pozos

IX. Daño general en edificios.

- a) Pánico general, grandes daños en los muebles. Los animales salen despavoridos y confusos chillando.
- b) Muchos edificios tipo C sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4. Muchos edificios de tipo B daños de grado 4 y pocos de grado 5. Muchos edificios tipo A sufren daños del grado 5. Los monumentos y columnas se vuelcan . Daños considerables en las presas .hidráulicas artificiales, ruptura en parte de las tuberías de agua subterránea. En algunos casos aparecen torceduras en los rieles de los ferrocarriles y daños en las partes transitables de los caminos.
- c) Es frecuente que aparezca arena y limo en las planicies inundadas de agua . El ancho de las grietas en el terreno puede llegar hasta 10 cm., y en pendientes y orillas de los ríos, sobrepasar está cifra. Esto unido A UN NÚMERO DE PEQUEÑAS GRIETAS. Las rocas se deslizan, aparecen grandes ondas en la superficie del agua.

X. Destrucción general del edificio

- a) Muchos edificios tipo C sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5. En muchos edificios tipo B daños de grado 5. En la mayoría del tipo A daños de grado 5. Daños críticos en los diques y embalses y serios en los puentes . Los caminos cubiertos o asfaltados toman formas ondulatorias en su superficie
- b) Las grietas en el terreno alcanzan un ancho de varios centímetros y en algunos casos hasta de un metro. Paralelas a las corrientes de agua aparecen rajaduras anchas. Derrumbes en rocas flojas en las pendientes escarpadas. En las regiones ribereñas se mezclan las masas de arena y limo. Desbordamiento de agua en los canales, lagos y ríos. Aparecen nuevas lagunas.

XI. Catástrofe

- a) Serios daños incluso en los edificios de construcción segura, además en los puentes, presas hidráulicas y en los ferrocarriles. Las carreteras y calzadas quedan en estado inservible. Destrucción de las cañerías subterráneas.
- b) Considerables deformaciones del terreno en forma de grietas, rajaduras y movimiento en las direcciones horizontal y vertical.. Gran cantidad de derrumbes en

las montañas . La determinación de la cantidad de estos estremecimientos exige una observación especial

XII. Cambios de relieve

a) Fuertes daños y destrucciones prácticamente en todas las construcciones tanto sobre tierra como subterráneas.

Cambios radicales en la superficie terrestre. Se observan grietas considerables en el terreno con amplio movimiento vertical y horizontal. Derrumbes en las montañas y las orillas de los ríos en grandes zonas. Aparecen lagunas, se forman saltos de agua, cambian los cauces de los ríos. La determinación de la intensidad de los estremecimientos exige también una observación muy especial.

APÉNDICE 3
TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

Tipo A: Viviendas de tierra apisonada, ladrillo sin coser (adobe), viviendas rurales, construcciones de piedra ordinaria (guijarros etc). En general, las edificaciones tipo A presentan paredes de carga (es decir, que cumplen una función estructural, como por ejemplo, sostener el techo de la edificación) y no tienen una estructura diseñada para soportar cargas laterales. Las viviendas tradicionales se incluyen en esta clasificación.

Tipo B: Construcciones de ladrillo, bloques de hormigón, construcciones mixtas de albañilería y madera, construcciones en piedra tallada; en el tipo B se incluyen construcciones de mampostería que pueden presentar o no algunos elementos de concreto armado (columnas, vigas etc), pero generalmente no están diseñadas para soportar cargas laterales.

Los daños causados a este tipo de edificaciones durante la ocurrencia de sismos de gran magnitud han sido por lo general, muy severos y las construcciones de esta clase tienen un comportamiento inferior comparado con las estructuras de concreto y acero.

Sin embargo, si este tipo de construcción se realiza fundamentada en un buen diseño estructural, es posible lograr construcciones seguras ante eventualidades sísmicas. En este tipo se incluyen las construcciones populares comunes en los barrios.

C₀: Construcciones Antisísmicas. Es conveniente aclarar a la mayoría de las edificaciones calificadas como "antisísmicas" han sido diseñadas respetando normas de construcción que han adquirido un carácter de obligatoriedad a partir del año 1983, de tal forma que la gran mayoría de las edificaciones de Mérida no está diseñadas de acuerdo con estas normas.

C₃: Edificaciones con estructura de concreto reforzado, de paredes exteriores de concreto, pisos y techos de concreto (uno o varios pisos), Son muy poco comunes en la ciudad.

C₅: Edificios de uno o varios pisos, con estructuras de acero, paredes exteriores de mampostería no reforzada, pisos y techos de concreto. Este tipo sólo existe en versiones de uno o dos pisos, principalmente en la modalidad de galpones.

C₆: Edificio de uno o varios pisos, con estructura de concreto armado, paredes exteriores de mampostería no reforzada, pisos y techos de concreto. En Mérida se puede considerar este tipo de edificación "moderna" más común, en versiones de estructura aporricada de concreto armado, con paredes de bloques de arcilla o cemento.

C₇.: Construcciones de concreto armado, del tipo de losas celulares, sin vigas (muy comunes en Mérida, sobre todo en las instalaciones universitarias, bancos y otras obras institucionales).

Esta clase de obras han mostrado un comportamiento inferior a las del tipo C₆ ante la presencia de cargas sísmicas.

C₈.: Construcciones con paredes estructurales, que soportan pisos y techos de cualquier material.

En este grupo podrían incluirse las construcciones con muros de concreto armado (generalmente se trata de obras prefabricadas, de las que actualmente se desarrollan varios complejos habitacionales en la ciudad).

Al parecer, el problema principal de esta clase de edificaciones radica en la clase de técnicas utilizadas para realizar las uniones de los elementos prefabricados, acerca de las cuales hay poco conocimiento y escasa difusión.

APÉNDICE 4

DEFINICIÓN DEL PARAMETRO PROBABILIDAD DE SUBSISTENCIA Y PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

ASIGNACION DE PROBABILIDADES: Definición del Parámetro Probabilidad de Subsistencia". Procedimiento de Cálculo (Laffaille, 1996)

Al ocurrir terremotos, los daños a las edificaciones son causados, en primera instancia, por efectos de la ruptura de falla (en caso de que el sitio de interés esté muy cerca del sector de la falla donde se origina el movimiento sísmico), por el movimiento ondulatorio producido por las ondas sísmicas al propagarse a través del suelo y por deficiencias del suelo en el lugar de estudio, las cuales se hacen más evidentes por el mismo movimiento ondulatorio (Bolt, 1.981, Bath, 1.973). Más del 90% de los daños ocasionados por los terremotos están vinculados con el segundo de los factores mencionados (movimiento ondulatorio del suelo), el cual es caracterizado a través de la "Intensidad del Movimiento", que depende básicamente del tamaño del evento y de su distancia al sitio de interés (Holmes y Arnold, 1.994) y que es cuantificada en términos de los efectos observados en cada localidad.

Como se mencionó anteriormente, la idea central consiste en que el daño que sufrirá una cierta edificación cuando ocurre un evento sísmico, depende de las características del sismo y de un conjunto de variables tales como el tipo de edificación, la clase de suelo bajo la edificación, la distancia de la edificación a un talud, la pendiente del terreno, etc. Dentro de este contexto, elaborar el Escenario Sísmico de una ciudad significa predecir cual será la posible distribución geográfica de los daños en la ciudad al ocurrir un evento sísmico de ciertas características. Sin embargo, la clase de daños producidos por los terremotos varía de un evento a otro, y de un sitio a otro, de una manera tal, que no parece posible predecir con certeza como serán dichos daños, aún teniendo toda la información posible acerca del evento y del sitio a estudiar (en la mayoría de los casos, no se dispone de esa información). Esta situación sugiere la posibilidad de construir el escenario sísmico deseado para la ciudad considerando por separado lo que pasaría en cada punto o sector de interés de la ciudad, como si el resultado correspondiera al de un experimento de azar. Aunque no se puede predecir con seguridad el resultado de un experimento de azar, se puede construir un modelo matemático para intentar caracterizar las leyes que gobiernan dicho experimento. La técnica usual para lograr esto consiste en realizar una serie de ensayos de dicho experimento para detectar, a partir del conjunto de datos así recabado, cualquier clase de regularidad que pueda ser útil en la construcción del modelo. El problema radica en que no es posible repetir un terremoto para observar los daños que produce en una ciudad o en una clase de edificación. La información existente acerca de los daños ocasionados por terremotos se refiere a lugares diferentes, con distintas condiciones, en épocas diversas y generalmente está restringida a eventos de gran magnitud. Además, la estadística detallada de daños es difícil de conseguir y, en caso de tenerla, los datos son insuficientes para determinar estadísticamente los niveles esperados de daños (Holmes y Arnold, 1.994). Por ejemplo, los terremotos más importantes de los Andes Venezolanos ocurrieron

en los años de 1.610, 1.812 y 1.894, afectando diferentes zonas de la geografía andina, en instantes de tiempo muy diferentes, lo cual hace muy difícil obtener conclusiones útiles respecto a cual sería la situación si un evento como esos ocurriera actualmente cerca de una ciudad como Mérida. Como un ejemplo de lo complicado que resulta el estudio del efecto de las fuerzas sísmicas sobre las edificaciones, cabe decir que los códigos sísmicos de construcción han sido desarrollados, y corregidos, en base a las observaciones que los ingenieros hacen luego de que ocurre cada gran terremoto, en busca de que funcionó bien y que no, más que en base a principios teóricos científicos (Holmes y Arnold, 1.994). En algunos lugares se han instalado redes de estaciones sismográficas destinadas a “observar” la respuesta del suelo de cada lugar al ocurrir pequeños eventos sísmicos y explosiones subterráneas, con la idea de detectar los efectos particulares de cada lugar y extrapolar éstos al caso de grandes eventos (ver por ejemplo, Rogers et al, 1.983). Las estaciones de estas redes deben ubicarse en todos los sitios donde existan condiciones que se deseen caracterizar, lo cual implica la instalación de un gran número de estaciones por períodos de tiempo que no están bien determinados. Estas razones hacen necesario recurrir a otra clase de argumentos para construir el modelo deseado.

Considerar la situación desde el punto de vista de quien realiza un experimento de azar implica realizar un análisis de tipo probabilístico. Esquemáticamente, lo que se plantea hacer para resolver el problema es lo siguiente:

a) establecer que cada edificación de una ciudad tiene una cierta probabilidad de subsistencia en caso de que ocurra un evento sísmico de características dadas,

b) identificar las variables determinantes de los daños que se observarían en un sitio al ocurrir un terremoto,

c) a partir de una interpretación de tipo probabilístico, construir un modelo matemático que cuantifique la importancia de cada variable en términos de los daños esperados o de la probabilidad de subsistencia,

d) definir la forma en que estas variables actúan conjuntamente para determinar la Probabilidad de Subsistencia de una edificación (el valor de esa probabilidad de subsistencia en un punto o zona de la ciudad definirá el escenario sísmico de ese sitio particular),

e) construir un escenario para cada punto o zona de la ciudad (escenarios puntuales o escenarios zonificados), seleccionando los sitios donde se considere que los valores de las variables determinantes de los daños establecen diferencias notables,

f) elaborar un mapa de la ciudad donde se observe la distribución geográfica de los escenarios puntuales obtenidos en el paso anterior (o un mapa con la zonificación de los escenarios). Este mapa es el Escenario Sísmico de la ciudad y debe servir de base para la construcción del escenario de daños y pérdidas esperadas en la ciudad dado que ocurre un evento sísmico de ciertas características.

En términos de lo planteado anteriormente, se va a considerar que una edificación de interés puede subsistir o puede colapsar cuando ocurre un evento sísmico. Si se acepta la idea de que estos dos resultados son los sucesos simples de un experimento de azar, entonces el espacio muestral E de dicho experimento será el conjunto que contiene los puntos que representan a estos dos sucesos simples. Cualquier subconjunto de E será considerado como un **evento**, y, para evitar ambigüedades entre éstos eventos y los eventos sísmicos, se denominará a los primeros “**eventos e_i** .” Para completar la definición del experimento de azar es necesario asignar a cada evento e_i un número $P(e_i)$ llamado **Probabilidad**, el cual debe obedecer ciertos axiomas:

- i) $P(E) = 1$
- ii) $0 \leq P(e_i) \leq 1$ para cada evento e_i
- iii) $P(\cup e_i) = P(e_1) + P(e_2) + \dots$, para cualquier secuencia de eventos disjuntos e_1, e_2, e_3, \dots , donde el símbolo \cup indica la unión de conjuntos.

Estos axiomas son conocidos como “**Axiomas de Probabilidad**” (Lindgren, 1.976).

Es importante notar que lo que se está considerando ahora como “eventos” es a lo que sucede a una edificación luego de ocurrir un evento sísmico. En este caso lo que se desea estimar es si una edificación podrá subsistir o no en caso de que ocurra un evento sísmico de ciertas características, de tal forma que los eventos e_i están claramente definidos: la edificación subsiste es uno de estos eventos; la edificación no subsiste es el otro evento. En otras palabras, se desea evaluar la Probabilidad de Subsistir que tiene una edificación que está ubicada en un cierto lugar, dado que ocurre un sismo de ciertas características. Una vez elegido el evento sísmico que servirá de modelo, esta probabilidad de subsistencia estará determinada por factores tales como el tipo de la edificación en cuestión, su ubicación con respecto a la fuente sísmica, el tipo de suelo en el sitio de interés, la pendiente del terreno, etc.. Cada uno de los mencionados factores puede modificar la probabilidad de subsistir de la edificación, de tal forma que se debe hablar de la variación de la probabilidad de subsistencia asociada con el tipo de edificación, de la variación asociada con el tipo de suelo, etc. y es necesario definir el modelo que define como son modificados los valores de probabilidad de subsistencia al cambiar los valores de cada una de las variables a considerar, dado que ocurre un sismo de ciertas características (el evento sísmico modelo puede ser definido a través de una variable que conjugue tanto el tamaño del sismo como la distancia entre éste y el sitio de interés, como por ejemplo la intensidad sísmica).

El procedimiento para determinar las funciones que representan la forma en que varía la probabilidad de subsistencia va a estar condicionado, hasta cierto punto, por la interpretación que se de al término “Probabilidad”. No existe una interpretación científica única del concepto de probabilidad que sea aceptada universalmente (DeGroot, 1.988). En algunos problemas se considera

que la probabilidad de obtener un cierto resultado es igual a la **frecuencia relativa f_r** , de ese resultado al realizar el experimento un gran número de veces (tantas como sea necesario para observar la tendencia de f_r). En otros experimentos se puede considerar a priori que los diferentes resultados son igualmente posibles o verosímiles y, por tanto, a cada uno de ellos les corresponde el mismo valor de probabilidad. La "Interpretación Subjetiva" acepta que el valor de probabilidad que una persona asigna a un resultado de un experimento representa su confianza de que se obtenga ese resultado, la cual está fundamentada en la información que maneja la persona acerca de las condiciones en que se realiza el experimento y del proceso que tiene lugar (Leroy, 1.981). Así como estas interpretaciones, existen otras que son celebradas por unos y criticadas por otros y el significado "verdadero" del término Probabilidad es tema de debate en la actualidad (DeGroot, 1.988). El modelo matemático al que conduce cualquiera de estas interpretaciones tendrá la misma clase de estructura (Lindgren, 1.976) y la teoría de las probabilidades se ha desarrollado sin considerar esta controversia, siendo aplicable independientemente de la interpretación de probabilidad que se use para analizar un problema particular (DeGroot, 1.988). Sin embargo, desde el punto de vista de la construcción de un escenario de daños, la interpretación de "Probabilidad" como frecuencia relativa puede ser la más útil.

Bajo este contexto, es conveniente realizar la determinación de dichas funciones de probabilidades sin ceñirse estrictamente a una u otra interpretación, de tal forma que sea posible incluir en la evaluación todas las evidencias y criterios disponibles.

En principio, se partirá de la premisa de que es la variable Intensidad Sísmica I la que determina la clase y nivel de daños en una localidad. Dicha intensidad debería ser la misma para todos los sitios ubicados a igual distancia de una fuente sísmica (intensidad teórica), pero es evidente, por lo dicho anteriormente, que hay factores locales que modifican el valor de intensidad teórico en cada sitio, originando un valor de intensidad local diferente al esperado. Como este valor de intensidad local está directamente relacionado con los daños que puede sufrir una edificación, es conveniente vincular la probabilidad de que una edificación no colapse al ocurrir un evento sísmico (**Probabilidad de Subsistencia**) con este parámetro. Cada factor que modifique el valor de intensidad esperado, modificará la probabilidad de subsistencia de una edificación. En base a esta afirmación, es posible definir un procedimiento para evaluar como cada factor afecta el valor de la probabilidad de subsistencia de una edificación (evaluando la manera como dicho factor afecta el valor de intensidad teórico local) y calcular una probabilidad de subsistencia global donde se conjugue el efecto de todos los parámetros considerados.

Como se mencionó anteriormente, la información con respecto a como un factor dado influye en la clase de daños que se observará en un cierto lugar es escasa y estadísticamente insuficiente. Mas aún, prácticamente no existe información acerca de como dos o más factores interactúan entre si

modificando la clase de daños que se observaría si ellos no estuvieran presentes. Por estas razones, el procedimiento a seguir se fundamentará en algunas premisas iniciales:

a) La probabilidad de subsistencia de una edificación depende de un conjunto de factores, o variables, vinculadas tanto a la clase de edificación como a las características del entorno en que ésta se encuentra ubicada. De esta manera, para evaluar la probabilidad de subsistencia será necesario considerar, en conjunto, factores tales como el tipo de edificación, la topografía del lugar, el tipo de suelo bajo la edificación, etc..

b) Estas variables son independientes entre si. Esto significa que la variación de la probabilidad de subsistencia de una edificación debida a que un factor determinante tiene un valor particular es independiente de los valores que puedan tener los otros factores. De esta manera, si una edificación en un sitio tiene una probabilidad de subsistencia $PE_{i_{sn}}$ cuando una variable E tiene el valor E_i y otra variable S toma el valor S_n , y dicha probabilidad cambia por un factor α al considerar otro lugar donde la variable S toma un valor S_m ($PE_{1_{sm}} = \alpha PE_{1_{sn}}$), este mismo cambio se observará para otro valor E_j de la variable E ($PE_{j_{sm}} = \alpha PE_{j_{sn}}$), y, en general, el mismo cambio se presentará para cualquier variable V al considerar sitios donde la variable S cambia del valor S_n al valor S_m : $PV_{sm} = \alpha PV_{sn}$.

c) Para unas condiciones dadas (valor dado de una variable V y óptimo de las otras) la función de variación de la probabilidad de subsistencia decrece linealmente desde 1, a medida que aumenta la intensidad teórica del evento desde un valor I_{DC} (el evento sísmico no es lo suficientemente fuerte como para afectar la edificación en las condiciones dadas), hasta 0 cuando al evento le corresponde el valor I_C (el sismo es de características tales que la estructura seguramente se cae de acuerdo con las condiciones mencionadas). La hipótesis de linealidad simplifica los cálculos, pero no es necesaria.

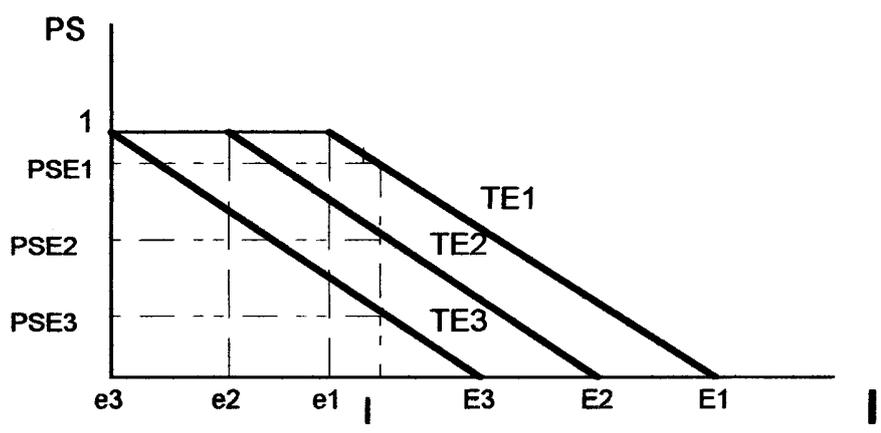


Figura 1.1: Funciones de variación de la Probabilidad de Subsistencia en función de la intensidad local, correspondientes a diferentes valores de la variable TE.

En base a la premisa de linealidad (c), se ilustra en la figura 1.1 un esquema de las funciones de variación de la probabilidad de subsistencia en función de I, que corresponderían a una variable de interés en el problema. En este caso la variable considerada es TE, que puede ser tipo de edificación, tipo de suelo, cercanía a taludes, etc.), y las curvas corresponden al caso en que todas las demás variables se encuentran en su valor óptimo (estas funciones se denominarán en adelante **“Funciones Básicas de Variación de la Probabilidad de Subsistencia”** o, abreviadamente, **Funciones Básicas**). La nomenclatura usada para esta gráfica es: PSE_j es la probabilidad de subsistencia asociada con el valor TE_i de la variable TE, I_L es la variable usada para caracterizar un evento sísmico (por ejemplo, en este trabajo I_L puede ser la Intensidad Teórica local de un evento que ocurre a una distancia D del punto de interés), E_j es el valor de I_L para el que la probabilidad de subsistencia asociada con el valor TE_i se hace cero, cuando las demás variables están en las condiciones más favorables (en adelante se denominará **Intensidad de colapso**), e_j es el valor de I_L por debajo del cual se tiene una probabilidad de subsistencia unidad para el valor TE_j y se denominará **Intensidad de daño cero**. La función de variación de la probabilidad de subsistencia en función de la Intensidad, correspondiente a la variable TE, se puede escribir como:

$$PSE_j = 1 \text{ si } I \leq e_j$$

$$PSE_j = 1 - \frac{I - e_j}{E_j - e_j} \quad \text{si } e_j < I < E_j \quad (1.5)$$

$$PSE_j = 0 \text{ si } I \geq E_j$$

Para cada una de las variables involucradas en el problema, por ejemplo tipo de suelo, cercanía a taludes, pendiente del terreno, etc., se debe producir, como un paso fundamental del procedimiento, funciones análogas a las mostradas en la figura 1.1. Estas funciones permitirán conocer la variación de la probabilidad de subsistencia de una edificación óptima, cuando la variable de interés V tome el valor V_i y las demás se encuentren en su valor óptimo. Es importante destacar que **las funciones básicas de variación de probabilidad correspondientes al caso óptimo de cualquiera de las variables de interés son iguales entre sí**, es decir, PS(E₁) = PS(S₁) = ... = PS(V₁), ya que todas se refieren al mismo caso en el que todas las variables adoptan su valor óptimo. Este es un punto fundamental, ya que solo es necesario determinar la función básica de variación de una de las variables en su valor óptimo y esta misma función servirá de referencia para todas las demás variables. Dada su importancia, a esta función básica correspondiente al caso de todas las variables en valor óptimo se le denominará **Función Fundamental de**

Variación de la Probabilidad de Subsistencia (o simplemente *Función Fundamental*).

Esta Función Fundamental permitirá conocer como cambia la probabilidad de subsistencia de una edificación óptima, cuando todas las demás variables se encuentran también en condición óptima. Sin embargo, esta situación ideal no es la más común, y es conveniente definir un procedimiento para obtener las funciones de variación de probabilidad referentes a situaciones donde las variables de interés tienen un valor diferente al óptimo. La idea propuesta consiste en considerar que el hecho de que cualquier variable posea un valor diferente al óptimo se traduce en la necesidad de considerar una función de variación de probabilidad de tal forma que la probabilidad de subsistencia asociada con un valor TE_i ($i \neq 1$, la variable TE no tiene su valor óptimo) es menor que la correspondiente a una TE_1 (caso óptimo de la variable en cuestión) por un factor h_i tal que $PSE_i = h_i PSE_1$ (esto es válido para cualquier variable V: $PSV_i = h_i PSV_1$). Por ejemplo, en la figura 1.1, $PSE_3 = h_3 PSE_1$ y $PSE_2 = h_2 PSE_1$. De la misma forma, en un lugar donde la variable V toma el valor V_j mientras las demás tienen su valor óptimo, la probabilidad de subsistencia se ve reducida por un factor f_j (con respecto al caso en que $V = V_1$) el cual verifica que $PSV_j = f_j PSV_1$. Gracias a la hipótesis de independencia, se tiene que PSE_i se verá reducida a PSE_{ij} por ese factor correspondiente al valor V_j de la variable V. Es decir (ver figura 1.2),

$$PSE_{ij} = f_j PSE_i = f_j h_i PSE_1 \quad \text{donde } f_j = PSV_j/PSV_1 \quad \text{y } h_i = PSE_i/PSE_1 \quad (1.6)$$

Al factor f_j se le llamará en adelante "factor de amplificación de V_j " y, en principio, solo depende del valor V_j de la variable V con respecto al valor óptimo patrón V_1 y del valor de la variable L que caracteriza al evento. Como una extensión de esta idea, se puede calcular como se ve afectada la probabilidad de subsistencia asociada con el valor TE_i de la variable TE en un lugar donde la variable V tiene el valor V_j y otra variable de interés T toma el valor T_k , mientras que las otras variables están en su valor óptimo, mediante la expresión:

$$PSE_{ijk} = f_j f_k PSE_i \quad (1.7)$$

En términos generales, si el valor de interés de TE es TE_i , y se encuentra ubicada en un lugar al que le corresponden los valores de variables S_j, T_k, \dots, V_r , la variación de la probabilidad de subsistencia asociada a TE_i en tal lugar se calculará según:

$$PSE_{ijk\dots m} = f_j \cdot f_k \cdot \dots \cdot f_r \cdot PSE_i \quad (1.8)$$

donde el valor de cada factor f_m puede ser evaluado mediante la relación (ver figura 1.2):

$$\begin{aligned} f_m &= 1 \text{ si } I < v_j \\ f_m &= PSV_j / PSV_1 \text{ si } v_j \leq I < v_1 \\ f_m &= 0 \text{ si } V_j \leq I \end{aligned} \quad (1.9)$$

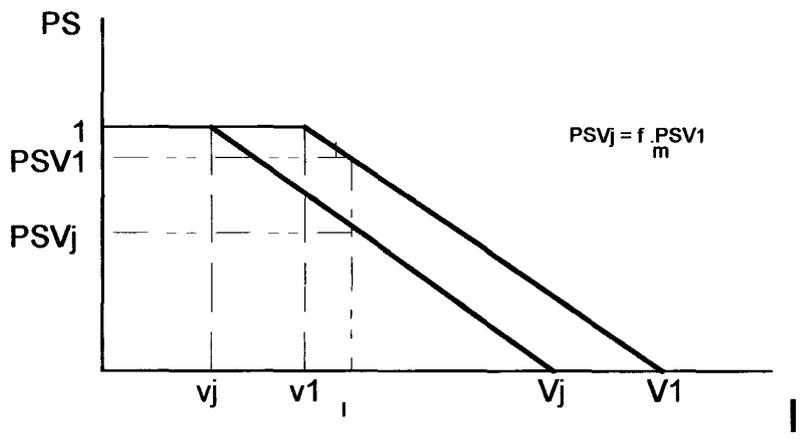


Figura 1.2

Para aplicar este procedimiento, se establecerá en primer lugar la Función Fundamental de Variación de la Probabilidad de Subsistencia (todas las variables en su valor óptimo), para luego establecer los casos particulares en términos de ésta. Las ventajas de hacerlo así radican en que dicha función fundamental tiene un carácter universal (no está determinada por las condiciones particulares del sitio a estudiar) y servirá de referencia para establecer las demás funciones básicas (valores particulares de las variables en cuestión), ya que entonces será suficiente con conocer los valores de magnitud para los cuales las variables estudiadas presentan un mal comportamiento sísmico extremo ($E_1, E_2, \dots, E_i; S_1, S_2, \dots, S_j; V_1, V_2, \dots, V_m$), a los que hemos llamado **Intensidades de Colapso (IC)**, o aquellos para los que corresponde una probabilidad de subsistencia unidad ($e_1, e_2, \dots, e_i; s_1, s_2, \dots, s_j; v_1, v_2, \dots, v_m$), a los que llamamos **Intensidades de Daño Cero (IDC)**.

Una vez conocidas las funciones básicas de las variables a considerar, se realizará una zonificación preliminar de la ciudad con miras a definir las áreas de ésta donde dichas variables presentan, en conjunto, valores constantes. En este contexto, la variable Tipo de Edificación será tratada en forma particular ya que se analizará por separado en cada una de las áreas definidas luego del proceso de zonificación preliminar y será estudiada usando técnicas de muestreo aleatorio, porque es imposible, en el contexto de este trabajo, estudiar todas las edificaciones de la ciudad.