

PROYECTO DE GRADO

**LOS SISTEMAS DE EVALUACION DE PERDIDAS POR SISMO.
SU APLICACIÓN AL SECTOR ASEGURADOR COLOMBIANO, UN
ANALISIS RETROSPECTIVO DE SU IMPACTO EN EL COSTO DEL
REASEGURO CATASTROFICO Y UN DISEÑO DE PROPUESTA PARA
LA REGULACIÓN DEL RAMO.**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Facultad de Derecho
Especialización en Seguros y Seguridad Social
Chía
2002**

PROYECTO DE GRADO

**LOS SISTEMAS DE EVALUACION DE PERDIDAS POR SISMO.
SU APLICACIÓN AL SECTOR ASEGURADOR COLOMBIANO Y UN
ANALISIS RETROSPECTIVO DE SU IMPACTO EN EL COSTO DEL
REASEGURO CATASTROFICO**

CARLOS ALBERTO VARELA ROJAS

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Facultad de Derecho
Especialización en Seguros y Seguridad Social
Chía
2002**

*A Bertha Cecilia y a Fidelfina.
Nunca las olvido, las siento cerca cada momento de mi vida*

CONTENIDO

0. Introducción	5
1. Objetivos	7
2. Riesgo Sísmico	8
2.1 La Amenaza Sísmica	9
2.1.1 Determinación de la Amenaza Sísmica	9
2.1.1.1 <i>Determinación de las Fuentes Sísmogénicas</i>	12
2.1.1.2 <i>Evaluación de la Recurrencia de Magnitudes de Cada una de las Fuentes Simogénicas</i>	12
2.1.1.3 <i>Magnitudes Máximas de la Ecuación de Atenuación</i>	12
2.1.1.4 <i>Función de Probabilidad Condicional Acumulada de la Amenaza</i>	13
2.1.2 La Naturaleza del Movimiento Sísmico	13
2.1.2.1 <i>Aceleración</i>	14
2.1.2.2 <i>Contenido de Frecuencias</i>	15
2.1.2.3 <i>Desplazamiento</i>	18
2.1.2.4 <i>Duración</i>	19
2.2. Respuesta Local, la razón de la Microzonificación Sísmica	19
2.3. Vulnerabilidad Sísmica	22
2.3.1. Nivel de Riesgo Aceptable	23
2.3.2. Diseño	24
2.4. Factores a tener en cuenta en la Vulnerabilidad Sísmica	27
2.4.1. Altura	28
2.4.2. Irregularidad en Planta y en Altura	29
2.4.3. Año de Construcción	30
2.4.4. Sistema Estructural	31
3. Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo	33
3.1. Cálculo del Daño	34
3.2. Determinación de la Pérdida Máxima Probable	35
3.2.1. Deducible, Coaseguro y Límite de Responsabilidad	36
3.2.2. Cálculo de la Prima Pura de Riesgo	37
3.2.3. Cálculo de la Pérdida Máxima Probable	37
3.3. Cálculo del PML según el Régimen de Seguros y Capitalización.	38
4. Estimación de las Pérdidas por Sismo en las Estructuras Aseguradas e	41
4.1. Aspectos Generales del Software RS-COL ®	41
4.1.1. Sismicidad de Bogotá D.C.	42
4.2. Procedimientos Utilizados para la Realización del Estudio	43
4.2.1 Información Requerida	44
4.2.2. Modelo Estadístico para Inferir los datos complementarios	45

4.2.2.1. Número de Pisos	45
4.2.2.2. Sistema Estructural	46
4.2.2.3. Año de Construcción	47
4.2.2.4. Visitas a los Inmuebles	47
4.2.2. Escenarios de los Análisis	48
4.2.2.1. Escenario 1	49
4.2.2.2. Escenario 2	51
4.2.2.3. Escenario 3	52
4.3. Resumen de Resultados	54
5. Análisis Retrospectivo del Impacto de los SEPS	56
5.1 Sobre-compra de Reaseguro Catastrófico	57
5.1.1. R.O.L. Promedio del Sector Asegurador Colombiano en los Últimos años	57
5.1.2. Información Histórica del Costo de Reaseguro XL de una Compañía de Seguros del País	58
5.1.3. Cálculo del sobre-Costo en la Compra de Reaseguro Catastrófico por Cambio en el PML	61
5.2. Análisis Retrospectivo con Base en el Mercado Mexicano	63
6. Propuesta de Regulación del Ramo de Terremoto	69
6.1. Razones de Orden Técnico para Reestructurar el Manejo del Ramo de Terremoto en Colombia	69
6.2. Razones de Orden Económico para Reestructurar el Manejo del Ramo de Terremoto en Colombia	71
6.3. Propuesta	72
6.3.1. Esquema General de la Propuesta	74
6.3.1.1. Etapa 1. Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS)	74
6.3.1.2. Etapa 2. Corrida del Modelo	74
6.3.1.3. Etapa 3. PML y Prima Pura de Riesgo	75
6.3.1.4. Etapa 4. Constitución de Reservas Técnicas	75
6.3.1.5. Etapa 5. Margen de Solvencia	75
6.4. Implementación de los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS)	76
6.4.1. Conceptos que Manejan los SEPS	76
6.4.1.1. Prima Pura de Riesgo	76
6.4.1.2. Definición de la Pérdida Máxima Probable (PML)	77
6.4.1.3. Deducible, Coaseguro y Límite de Responsabilidad	77
6.4.1.4. Tipos de Pólizas que deben ser Consideradas	78
6.4.2. Cálculo de la Prima Pura de Riesgo	81
6.4.3. Cálculo de la Pérdida Máxima Probable	82
6.4.4. Modelos de la Ocurrencia de Sismos	83
6.4.5. Relaciones Intensidad-Daño	84
6.4.6. Correlación entre Pérdidas	84
6.4.7. Proceso de Certificación de los SEPS	84
6.5. Utilización de los Resultados de Pérdida Máxima Probable y Prima Pura de	86

Riesgo Obtenidos con los SEPS	
6.5.1. Compra de Reaseguro Catastrófico	86
6.5.2. Constitución de la Reserva de Riesgos en Curso y la Reserva Catastrófica	86
6.5.3. Margen de Solvencia para el Ramo de Terremoto	87
6.5.4. Requerimiento de Solvencia (RS)	88
6.5.5. Acreditación del Requerimiento de Solvencia	88
6.5.6 Liberación de la Reserva Catastrófica	91
6.5.7. Límite de Responsabilidad	92
7. Conclusiones	93
8. Referencias	98

0. INTRODUCCION

El 25 de Enero de 1999, un sismo de 6.2 M_L , el más destructivo en los últimos cincuenta años, sacudió la parte centro – este de Colombia (4.41° N, 75.72° W), conocida como la zona cafetera. El sismo causó gran daño en la ciudad de Armenia (270.000 habitantes), la ciudad de Pereira (380.000 habitantes) y en aproximadamente treinta y cinco (35) poblaciones vecinas. El número de muertos alcanzó los 1.230, aproximadamente 5.300 personas resultaron heridas y 100.000 personas se quedaron sin hogar. Adicionalmente, el sismo causó daño a más de 50.000 edificaciones. Las pérdidas económicas alcanzaron los US\$1.8 billones de dólares, sin incluir las pérdidas indirectas en el comercio y la industria. El impacto en la economía del país fue cerca del 1.5% del PIB, justo cuando Colombia atravesaba por la peor recesión económica en 57 años.

Debido al bajo porcentaje de propiedades, servicios y personas aseguradas en esta parte del país (estimada en tan solo un 10%), el sector asegurador colombiano contribuyó con alrededor de US\$195 millones de dólares por medio de los pagos de seguros realizados. Este evento revivió la pregunta respecto de cuál sería el impacto en el sector asegurador por la acción de un sismo intenso en las principales ciudades del país, teniendo en cuenta el alto porcentaje de aseguramiento en las mismas.

Para abordar este interrogante se cuenta en la actualidad con los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo que se han convertido en una herramienta poderosa, no solo para las compañías aseguradoras, sino para las entidades que, por su función, necesitan estimar con un adecuado grado de acierto los daños que podría producir un sismo.

Este tipo de sistemas han surgido por la coexistencia de dos factores fundamentales, a saber, la información técnico-científica sobre la sismicidad de la zona a evaluar, el conocimiento de la respuesta sísmica de las estructuras construidas en dicha zona y la aparición de herramientas computacionales de mayor capacidad y velocidad. Esto, claro está, por sí solo no produciría el efecto que se espera sin que el *“Know How”*, traducido en las curvas de vulnerabilidad y daño construidas a través de años de observación de daños por sismos, sean incorporados de alguna manera en los algoritmos de estos sistemas.

En este trabajo se mostrarán los aspectos fundamentales que rigen este tipo de modelos y el impacto que los resultados de los mismos tendrían en la gerencia del riesgo de terremoto en la compañía de seguros. Es necesario anotar que este tipo de sistemas ofrecen al sector asegurador información relativa a la Prima Pura de Riesgo (PPR) y a la Pérdida Máxima Probable (PML) de una cartera de terremoto. Si bien el impacto es muy relevante tanto en la estimación de las primas puras como lo es en la determinación de la Pérdida Máxima Probable, el trabajo se concentrará en éste último que considera de capital importancia dada la connotación derivada de los infortunados ataques del 11 de septiembre cuyas implicaciones en los reaseguradores, a la fecha de presentar éste trabajo, aún no se ha podido establecer en su totalidad.

1. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son fundamentalmente dos. El primero es mostrar los resultados de un estudio que ha llevado a cabo el autor como director de la Cámara Técnica de Incendio y Terremoto de la Federación de Aseguradores Colombianos FASECOLDA, junto con el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico CITEC, de la Universidad de los Andes y la Universidad Autónoma de México, en donde se analizaron las carteras de terremoto de diecinueve compañías afiliadas al gremio.

El segundo objetivo se centra en realizar un análisis retrospectivo del impacto de la utilización de estos sistemas de evaluación de pérdidas por sismo, en el sector asegurador colombiano, con base en los resultados de este estudio.

Como tema adicional a esta investigación, se recomienda un modelo de regulación para el ramo de terremoto, basado en los alcances y limitaciones del sistema, teniendo como base el sistema de regulación de la Comisión de Seguros y Fianzas de México.

2. RIESGO SISMICO

Debido a que este documento va dirigido principalmente a quienes trabajan en el sector asegurador, es necesario anotar lo que se define aquí como riesgo de Terremoto. Para los aseguradores la palabra riesgo es utilizada, entre otros, para definir el concepto de un proyecto, negocio, edificio, persona, etc., expuesta de una u otra manera a un evento que puede generar un siniestro. Es común entonces que el suscriptor confunda el término de riesgo sísmico.

Ahora bien, en el lenguaje puramente ingenieril, si cabe el término, el riesgo sísmico es la conjugación de dos factores que veremos más adelante: La Amenaza Sísmica y la Vulnerabilidad Estructural. Es de esta manera en que se referirá de ahora en adelante el riesgo sísmico: Como la conjugación de estos dos factores. Esta definición debe quedar particularmente clara para el lector no experto en el tema debido a que estos dos factores conjugados, y no sólo la acción de uno de ellos, es lo que determinará la calificación del riesgo en términos de seguros.

En una reunión promovida por la UNDRO y la UNESCO de expertos en desastres naturales realizada en 1979 con el objeto de unificar definiciones respecto de estos temas, se redactó un informe donde se definen los términos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo:

La amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala de 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

El riesgo específico es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y vulnerabilidad. [CARDONA et. Al 2000].

2.1 LA AMENAZA SISMICA

Como se ha mencionado el riesgo sísmico esta compuesto por dos conceptos bien definidos: La Amenaza Sísmica y la Vulnerabilidad Estructural. La amenaza sísmica puede definirse como “... *la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del medio transmisor iguale o supere un nivel de referencia*”. [SARRIA 1995]. En términos generales la amenaza sísmica se entiende como la probabilidad de que se presente un evento sísmico con determinada fuerza y duración, en un lugar determinado y durante una ventana o lapso de tiempo o exposición prefijado. Como se puede notar, la amenaza sísmica viene determinada por la condición de sismicidad de un sector o zona determinada. Estas condiciones varían de una localidad a otra.

2.1.1 Determinación de la Amenaza Sísmica

Numerosa literatura, aún dirigida al sector asegurador, se ha escrito sobre el tema de la determinación de la amenaza sísmica. Sin embargo, debido al alto contenido técnico del mismo, es fácil perderse en la formulación y en los conceptos que comúnmente se utilizan para definir este parámetro, relegándolo en ocasiones a ver la amenaza sísmica como una simple valoración cuantitativa o cualitativa inmutable que puede llevar a desarrollar una apreciación del riesgo de terremoto equivocada.

Los mapas de zonificación o las calificaciones estándares de riesgo bajo, medio o alto son algunos de los resultados finales a los que llegan los estudios de la determinación de la amenaza sísmica, pero es muy poco o casi nada lo que el asegurador puede hacer con estos resultados por sí solos. Existe la creencia entre algunos

aseguradores, que una zona llamada de alta amenaza sísmica conduce necesariamente a un mal riesgo, lo mismo que una zona denominada de baja amenaza sísmica es de por sí un buen riesgo. Nada más inexacto. Esto sin mencionar aquellas ocasiones en donde la valoración de la sismicidad no es cualitativa sino cuantitativa. Es muy poco probable que el valor de 0.25 en la meseta de un espectro de diseño, comparado en el 0.35 de otro espectro pueda decirle algo al asegurador respecto de un riesgo.

¿Qué significa que una zona sea llamada de amenaza sísmica baja? ¿Qué la diferencia de las denominadas zonas sísmicas medias y altas?

La respuesta a esta pregunta es relativa en términos la calificación que se le desee dar a un riesgo. La única respuesta válida para un asegurador es que las edificaciones deben cumplir con criterios de diseño y construcción sísmo resistentes más exigentes entre mayor sea la amenaza sísmica. Estos criterios lo dictan los códigos de construcción vigentes.

¿Cómo se determina entonces la Amenaza Sísmica? He aquí un procedimiento general que esperamos sea asimilado por el asegurador. Si bien cada uno de los ítem tiene un contenido técnico amplísimo, se resume lo esencial para que el concepto quede como el aspecto más relevante. Queda claro, además, que este es un procedimiento general y no es el único. Técnicas y conceptos más avanzados y confiables son utilizados.

1. Determinación del área de influencia a la cual se le evaluará la Amenaza Sísmica.
2. Determinación y evaluación de las fuentes sismogénicas que pertenezcan al área de influencia.
3. Evaluación de la recurrencia de magnitudes de cada una de las fuentes sismogénicas.

4. Con base en lo anterior y las relaciones entre la longitud de la falla y la magnitud del sismo que puede generar y con el mejor criterio y basado en información de situaciones similares, se evalúan las magnitudes máximas que deben introducirse en las ecuaciones de atenuación de la aceleración.

5. Determinar la función de probabilidad condicional acumulada del parámetro de amenaza. En general este parámetro es la aceleración en roca. *“La metodología persigue reflejar la historia pasada a través de la recurrencia de las magnitudes y la futura mediante un generador de eventos aleatorios. El producto de los dos componentes produce la esencia del resultado final buscado.”* [SARRIA 1995].

En general, a menos que se trate de una estructura especial como una presa o una generadora de energía nuclear, por ejemplo, los estudios de amenaza sísmica se realizan para un área específica como son las ciudades. Es por ello que escuchamos el término microzonificación sísmica.

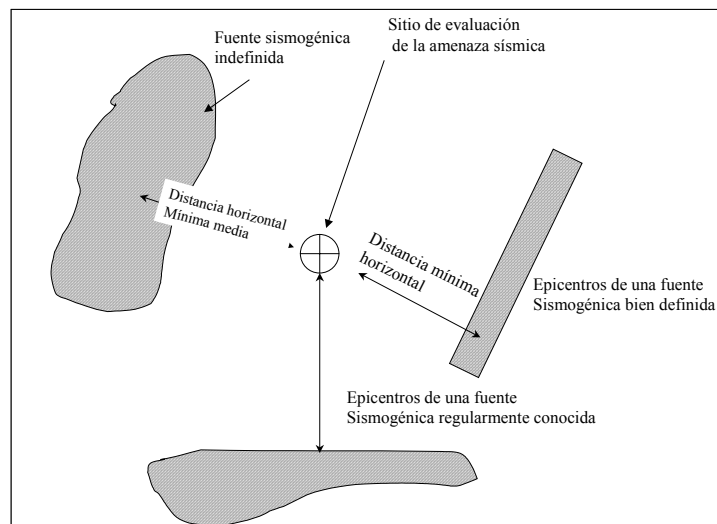


Fig. 1. Esquema general de la determinación de la Amenaza Sísmica

Con base en estudios realizados en varias partes del mundo, en general, se ha encontrado que los efectos locales de sismos cuyo epicentro este localizado a

distancias mayores de 200 kilómetros, son despreciables. Es así como la denominada área de influencia se circunscribe dentro de un círculo de 200 kilómetros de radio.

2.1.1.1 Determinación de las Fuentes Sismogénicas.

“Las fuentes sismogénicas son proyecciones de volúmenes litosféricos dentro de los cuales se presume que pueden ocurrir sismos de origen tectónico similar“. Eso significa que una fuente sismogénica no es una falla geológica activa, pero también significa que es muy probable que a una fuente sismogénica se asocien una o varias fallas activas.

2.1.1.2 Evaluación de la Recurrencia de Magnitudes de Cada una de las Fuentes Sismogénicas.

Cada fuente sismogénica tiene asociada una actividad sísmica determinada. Por medio de estudios de neotectónica puede determinarse, en algunos casos, la actividad de una falla geológica asociada a una fuente sismogénica, ya bien sea por medio de evidencias geológicas o por la realización de modelos matemáticos complejos. Es por ello que la evaluación de la recurrencia de las fuentes sismogénicas puede resultar particularmente compleja, dependiendo de la cantidad y calidad de la información disponible en campo.

Esta evaluación pretende identificar para cada fuente el número de sismos de determinada magnitud que esta es capaz de generar.

2.1.1.3 Magnitudes Máximas de la Ecuación de Atenuación.

En el momento del desplazamiento de una falla y dependiendo de la localización de ésta respecto de la zona de evaluación (recuerde que nos hemos circunscrito a una zona de 200 Km.) el tren de ondas se desplaza sobre una distancia y por un medio

transmisor que es la roca sobre la cual están los depósitos de suelo sobre los cuales, en general, se ubican nuestras ciudades.

Este desplazamiento hace que las ondas se modifiquen en intensidad hasta llegar al punto sobre el cual se encuentra la zona de evaluación.

2.1.1.4 Función de Probabilidad Condicional Acumulada de la Amenaza

Este parámetro es la conclusión de un estudio de determinación de la amenaza sísmica. En general, el parámetro que se utiliza es la aceleración máxima de la roca. Cada fuente sismogénica es capaz de generar cierto evento máximo, que a su vez genera dicha aceleración. Esta aceleración es la que se utiliza para analizar cuál es el efecto de los depósitos de suelo que existen sobre la roca.

2.1.2 La Naturaleza del Movimiento Sísmico

Se ha explicado de forma muy rápida los pasos generales que puede tener un estudio de amenaza sísmica. Estos estudios son de carácter interdisciplinario e involucran un sinnúmero de variables, algunas de ellas, difíciles de determinar.

Para continuar es necesario introducir algunos aspectos fundamentales para el cabal entendimiento del concepto de vulnerabilidad estructural.

El movimiento sísmico dista mucho de ser un balanceo de un lado a otro del suelo. La naturaleza de un movimiento de ir y venir es muy simple de determinar en términos matemáticos. En cambio, el movimiento sísmico se antoja caótico. Si colocáramos un punto en sobre el suelo y analizáramos su movimiento durante un sismo, veríamos que se mueve tridimensionalmente y de forma caótica. Los desplazamientos verticales pueden llegar a ser importantes y sobre el plano no existe movimiento armónico alguno.

Aún así, el movimiento sísmico como tal, posee unas características propias que hace diferenciar un sismo de otro. Se debe entender que la intensidad es un parámetro de la cantidad de energía que ha generado el movimiento. Dos sismos pueden tener una misma intensidad y naturalezas de sus movimientos totalmente distintas. Dentro de estas características están:

1. Aceleración.
2. El contenido de frecuencias.
3. Desplazamiento.
4. Duración.

Como se definió con anterioridad, la amenaza sísmica es un parámetro probabilístico. Lo anterior constituye la esencia de la asegurabilidad de este riesgo. Podemos conocer con certeza que en una determinada zona ocurrirá un sismo. Lo que se desconoce es exactamente cuándo y con qué magnitud. La intensidad del movimiento sísmico puede deducirse por estudios de neotectónica, pero dista mucho de ser un parámetro exacto. Más bien los estudios pueden arrojar un rango de intensidades, definiendo la intensidad como una medida instrumental (escala de Richter) y no una medida apreciativa (escala de Mercalli). Esto, claro está, sin tener en cuenta otro parámetro de importancia y mucho más difícil de determinar cual es la duración del sismo.

Para explicar mejor la idea vamos a trabajar sobre los aspectos más importantes.

2.1.2.1 Aceleración

La aceleración en sí es un parámetro que le permite a los ingenieros diseñadores poder dar dimensión a los elementos que sostendrán la edificación. El valor numérico de este parámetro poco le dice al asegurador y no será tema de discusión de esta

tesis. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que lo importante de este parámetro es que fue determinado utilizando funciones de probabilidad, tal y como se discutió con anterioridad. Esta probabilidad se basa en los estudios de amenaza sísmica que tratan de establecer la mayor magnitud que pueden generar fallas asociadas a una o más fuentes sismogénicas.

Sin embargo, la aceleración por sí sola no es un buen parámetro para medir un sismo. Aceleraciones muy grandes han sido registradas de muchos eventos pequeños sin correspondencia al daño [SWISS RE HANDBOOK. 1992]. Las aceleraciones horizontales, no siempre son más grandes que las aceleraciones verticales. Estas aceleraciones verticales pueden causar gran daño y sin embargo frecuentemente no son tomadas en cuenta de la forma apropiada en la etapa de diseño de las edificaciones.

2.1.2.2. Contenido de frecuencias

Cada sismo posee una especie de “huella digital”. Una característica que lo puede diferenciar de otro sismo aparte de la intensidad y la duración. Esta identificación es precisamente el contenido de frecuencias. Antes de explicar el término contenido de frecuencias, es necesario entender primero lo que significa el término frecuencia de vibración.

¿Qué significa “*Frecuencia de Vibración*”? La frecuencia de vibración se define como el número de veces por unidad de tiempo que un oscilador pasa por determinado punto. La unidad más común para expresar la frecuencia de vibración es el HERTZ. Algo que vibra a 20 Hertz, es un oscilador que en un segundo ha pasado por el punto de origen de su oscilación 20 veces.

Ahora bien, el movimiento sísmico puede ser descrito como la superposición de varios movimientos menos caóticos. Tal como lo indica la figura 2, un sismo puede

descomponerse en varios movimientos distintos. Dentro de este maremagno de movimientos superpuestos, existen en general ciertos tipos de movimientos predominantes.

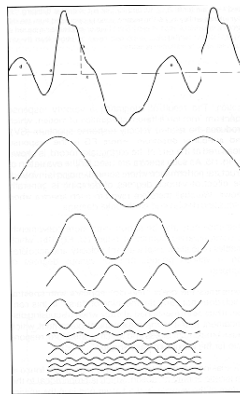


Fig. 2. Composición lineal del movimiento sísmico

Estos movimientos predominantes tienen a su vez ciertas características particulares, como son la frecuencia o su inverso el período de vibración, la amplitud, la longitud de onda entre otros. En términos generales, la frecuencia de vibración del sismo es similar a la frecuencia de vibración del movimiento más predominante. Debido a que pueden existir dos o más movimientos predominantes dentro de la composición del movimiento sísmico, pueden existir dos o más frecuencias de vibración predominantes en él.

Esta gama de frecuencias de las cuales está conformado el sismo es a lo que se denomina *contenido de frecuencia de un sismo*.

Adelantándonos al tema de vulnerabilidad sísmica y para aprovechar la explicación que hacemos respecto del contenido de frecuencias de un sismo, es necesario adelantar la definición de frecuencia natural de vibración.

La frecuencia natural de vibración es, como su nombre lo indica, la manera natural a la que tiende a vibrar un oscilador. Si la frecuencia natural de vibración de un péndulo es 1 Hertz, significa que tiende a vibrar a esa frecuencia cada vez que oscila.

Lo anterior lleva a un tercer término llamado resonancia. La resonancia es un efecto que se produce cuando a un oscilador se le aplica una frecuencia de vibración igual o muy cercana a su frecuencia natural de vibración. El efecto que produce es que el oscilador, a la misma frecuencia, tiene amplitudes mayores. Matemáticamente, esta amplitud rápidamente tiende al infinito. En la realidad, no existe oscilador que soporte tal cantidad de deformación y sufre cambios en su estructura por las deformaciones permanentes a las que se vio sometido.

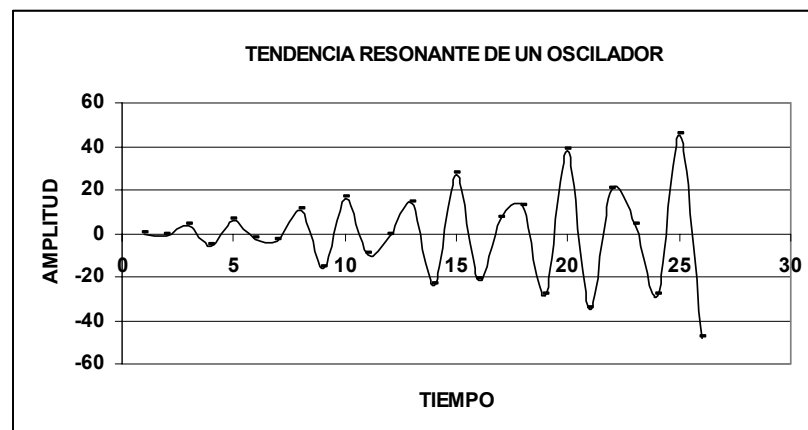


Fig. 3 Movimiento resonante

Con este preámbulo es fácil entender que una edificación ante la acción de un sismo puede verse como un oscilador. Como tal, tiene una frecuencia natural principal de vibración. Si un sismo determinado tiene un contenido de frecuencias tal, que alguna de sus frecuencias de vibración sea cercana o igual a la frecuencia natural de vibración de dicha edificación, se crea un fenómeno cercano a la resonancia y la estructura comienza sufrir deformaciones importantes que se traducen en un daño de consideración a la misma.

2.1.2.3 Desplazamiento

Las estructuras se comportan como resonadores amortiguados. Esto significa que los desplazamientos que sufren ellas mismas, tienden a ser mayores que el desplazamiento del suelo mismo en un sismo.

El desplazamiento en la estructura es de por sí la causa del daño en las mismas. Debido a que la estructura no es infinitamente rígida (estructuras como las presas, los contenedores de plantas nucleares por ejemplo, tienen una rigidez superior) esta sufre deformaciones diferenciales debido a los desplazamientos que sobre ella produce el sismo.

Para esquematizar de mejor manera lo anterior tomemos como ejemplo una torre de radio, una chimenea industrial alta y esbelta e inclusive un puente largo. Estas estructuras tienen un período natural de vibración alto (su frecuencia natural de vibración es baja). Si ocurre un sismo con un contenido de frecuencias rico en frecuencias altas, los desplazamientos son tan pequeños que la estructura los asimila sin daño. Es de notar que puede existir un registro que muestre una gran aceleración, pero sin el daño correspondiente.

Pero puede ocurrir que por la acción de un sismo lejano o la excitación de un suelo blando, los movimientos del suelo sean suaves, de período alto (frecuencia de vibración baja). Sobre este mismo tipo de estructuras se generaría un enorme desplazamiento que produciría un gran daño sobre las mismas.

Es necesario tener en cuenta también que el suelo durante un sismo puede tener desplazamientos bastante fuertes. Un solo desplazamiento brusco del suelo puede producir grave daño a las edificaciones.

2.1.2.4 Duración

La duración del sismo es un parámetro determinante en cuanto a la cantidad de daño que puede producir. La duración puede estimarse en función de la magnitud de la dimensión de la ruptura, el tipo de subsuelo afectado, la distancia del epicentro, etc.

Es claro que los conceptos descritos anteriormente como la aceleración, el contenido de frecuencias del sismo versus la frecuencia natural de vibración y el desplazamiento que sufre la estructura y/o el suelo son parámetros de importancia en cuanto al daño de una edificación se refiere. Sin embargo la duración es, como se mencionó, determinante.

La documentación que existe respecto del término “duración de un sismo” es variada. Va desde el lapso de tiempo que transcurre entre que el rango de aceleraciones supera el 5% de la aceleración g (9.8 m/seg^2) y que esta misma aceleración sea menor que dicho 5%. Otra definición de la “duración de un sismo” se refiere al lapso de tiempo que transcurre mientras arriba el 95% del total de la energía (definida a su vez como la integral de la aceleración al cuadrado para el componente en consideración).

Estas complejas definiciones no son la intención de este capítulo. Lo que se desea dejar en claro es que a mayor duración de un movimiento sísmico, mayor daño se presenta. Aun cuando el contenido de frecuencias del sismo sea muy diferente a la frecuencia natural de vibración de la estructura, el movimiento produce igual deformaciones en ella. Estas deformaciones se traducen, a su vez, en daños.

2.2 RESPUESTA LOCAL, LA RAZON DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

La llamada respuesta local es un término que se ha utilizado desde algún tiempo para explicar el porqué se presentan diferentes niveles de daño en diferentes zonas de una ciudad afectada por un sismo. Hasta ahora hemos visto que existen fuentes

sismogénicas y que existe una atenuación de las ondas que viajan, desde el punto donde se presentó la ruptura, hasta el sitio en roca donde está localizada la zona de interés sea esta un proyecto en particular o una ciudad.

Como se ha explicado, las ondas pueden o no sufrir amplificaciones según el suelo de la zona estudiada. Ahora bien, este cambio, no sólo en amplificaciones, sino inclusive en contenido de frecuencias, intensidad o cantidad de energía está en función de la onda que parte de la roca y de la composición del suelo por donde viaja esta onda.

Debido a que las ciudades pueden presentar diferentes tipos de suelo a lo largo y ancho de su extensión, de la misma manera se presentan diferentes tipos de comportamiento de las ondas sísmicas afectando así mismo de manera diferente las estructuras que están soportadas por dicho suelo. Esta razón explica porqué estructuras similares en tamaño y diseño pueden presentar una apreciable diferencia de daño para el mismo evento sísmico. También explica porqué en eventos importantes algunas zonas de la ciudad resultan particularmente más afectadas que otras.

La microzonificación sísmica se hace para evaluar la respuesta sísmica de los subsuelos de una ciudad o zona determinada. Esto, por lo tanto, tiene en cuenta todos los aspectos que se han mencionado para la determinación de la amenaza sísmica y muchos otros que no son de particular atención para este compendio. El resultado final se traduce en la división por zonas de la ciudad según características de respuesta de los subsuelos o respuesta sísmica local de características similares.

Un buen ejemplo de este tipo de estudios es la microzonificación sísmica de Bogotá D.C. Para este caso, la ciudad se dividió en cinco zonas de comportamiento local similar. Para efectos de diseño cada zona tiene un espectro de aceleraciones determinado. Otro ejemplo importante es la microzonificación sísmica de Medellín que se observa en la figura 4.

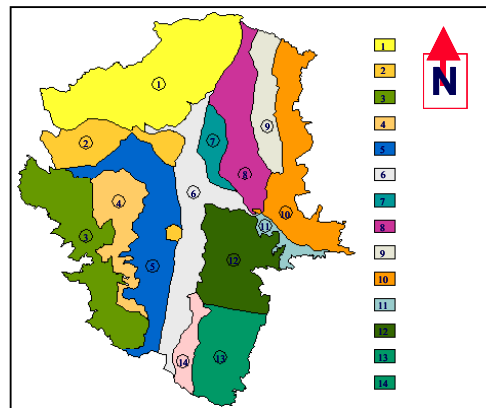


Fig. 4 Microzonificación Sísmica de Medellín

Observe que la ciudad fue dividida en doce zonas de similar comportamiento. Dada la localización geográfica de la ciudad y la heterogeneidad del subsuelo donde se irguió la misma, se encontró esta variedad en el comportamiento de dicho subsuelo.

En cuestión de metros, la respuesta local puede presentar variaciones importantes. Una misma edificación construida en un lugar puede presentar un daño muy diferente si estuvieran localizada a solo unas decenas de metros de distancia. ¿Esta característica se tiene en cuenta en la suscripción de los riesgos de terremoto?

Estos conceptos explicados con mas detalle en la sección anterior debe permitirle entender al asegurador que el nivel de sismicidad es determinado con base en estudios multidisciplinarios y que existe un nivel de incertidumbre de los resultados de los mismos. Debe ser claro para el asegurador que la escala de tiempo de los eventos sísmicos en general, es mayor que la escala de tiempo que manejamos día a día. Es muy probable que pasen generaciones entre eventos sísmicos de importancia.

Dado el desarrollo de la gran mayoría de ciudades de Sur y Centro América, donde el crecimiento ha sido considerable, el potencial de daño del mayor evento sísmico esperado ha crecido también de gran manera.

2.3 VULNERABILIDAD SISMICA

Este es el segundo concepto a tener en cuenta al determinar el riesgo sísmico. La vulnerabilidad sísmica, en términos prácticos, puede definirse como el grado de susceptibilidad o predisposición que tiene una estructura de soportar los esfuerzos generados por la acción de un sismo. Si la estructura presenta alta vulnerabilidad sísmica en una zona de sismicidad importante, deberá ser intervenida o reemplazada por otra ya que su nivel de confiabilidad es bajo ante el evento sísmico. Por el contrario, si una estructura presenta una baja vulnerabilidad sísmica, está en capacidad de soportar un sismo de importancia si sufrir mayores daños y, en caso de que el sismo sea considerablemente mayor, sin sufrir colapso. Esta definición de vulnerabilidad esta dada exclusivamente para el caso de las estructuras ante un movimiento sísmico. Como se verá en un capítulo mas adelante, el concepto de vulnerabilidad así como el de amenaza tienen un contenido y alcance mucho más amplio.

Como vimos en el capítulo anterior, existe una cierta probabilidad de ocurrencia de sismos de cierta magnitud. De la misma manera, cuando ocurre un sismo, existe una cierta probabilidad de distribución del daño de los elementos expuestos. No hay entonces una ley absoluta respecto del daño que sufrirán estos elementos. Después del evento sísmico se encuentran elementos (edificaciones, obras urbanas, etc.) que han sufrido un daño leve o ningún daño, elementos que sufrieron daño medio y elementos que sufrieron daño severo o la destrucción total. Esto nos indica que el daño también es probabilístico y no existe ninguna garantía que edificaciones, aún diseñadas con las normas sismo resistentes, no vayan a sufrir daño alguno.

Es claro que a mayor vulnerabilidad sísmica, mayor será la probabilidad de daño que tenga la estructura ante la ocurrencia de un sismo. ¿Cómo entonces determinar dicha vulnerabilidad? ¿Cómo puede un funcionario de una compañía de seguros utilizar este concepto para determinar la calidad del riesgo que pretende suscribir? Para el negocio práctico de la suscripción del seguro de terremoto es necesario utilizar un software especializado. Sin embargo, por más complejo que sea este programa utiliza en términos generales los mismos conceptos que trataremos a continuación.

Antes de entrar de lleno a la determinación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de una estructura, es necesario entender primero el comportamiento de una edificación sometida a sismo. Como la atención de los aseguradores se centra en la cantidad de daño que una estructura puede llegar a tener, abordaremos brevemente los siguientes conceptos:

- Nivel de riesgo aceptable.
- Diseño.
- Variables que intervienen en la vulnerabilidad sísmica de una edificación.

2.3.1 Nivel de Riesgo Aceptable

El concepto de riesgo aceptable no es del todo entendido por el ciudadano común. No existe una ecuación o ley que permita establecer un valor a este nivel de riesgo. El que sea aceptable o inaceptable, no está delimitado por una frontera clara y depende mucho del nivel de desarrollo de la comunidad, su capacidad económica, sus leyes, su estado social, político, etc. En general el nivel de riesgo aceptable es aquel que la comunidad está dispuesta a asumir a cambio de una tasa o nivel de beneficios.

En el caso específico de la vulnerabilidad sísmica el nivel de riesgo aceptable está establecido implícitamente al proveer a una edificación de cierto nivel de seguridad o protección contra el evento sísmico. Esta protección debe cubrir, entre otros aspectos,

la incertidumbre de la magnitud de la ocurrencia del sismo, las imprecisiones en las hipótesis que se realizan en el diseño y las propias de la construcción. A mayor nivel de seguridad o protección, menor la cantidad de riesgo pero también mayor el presupuesto que se debe asignar para su construcción. Los códigos de construcción son los que determinan el nivel de seguridad sísmica en una comunidad. Estos códigos están basados, por supuesto, en los estudios de amenaza sísmica y son el resultado del consenso de varios actores de la misma sociedad. Una actitud conservadora respecto de las incertidumbres propias de dichos estudios es aconsejable, pero como se mencionó con anterioridad, esto no debe ir en contra de la viabilidad económica de la construcción misma de las edificaciones.

Debe encontrarse entonces, un equilibrio que permita tener un nivel de riesgo tal que se garantice un adecuado comportamiento de la estructura ante la ocurrencia del mayor evento sísmico esperado y al mismo tiempo, sea económicamente viable su construcción.

2.3.2 Diseño

La construcción de una edificación es el resultado final del trabajo de varios profesionales que van desde el arquitecto que concibe la distribución del espacio en función del uso que tendrá el inmueble, su ubicación, etc., hasta el constructor que levanta la obra rigiéndose por los parámetros de calidad de los materiales y los planos entregados para tal efecto. En esta ruta intervienen los ingenieros calculistas o estructurales quienes son los encargados de darle soporte a la edificación dimensionando los elementos de carga, determinando la cantidad de refuerzo de cada uno de ellos, la resistencia de los materiales de construcción, etc., e intervienen también los ingenieros sanitarios, electricistas, electrónicos (si es del caso) quienes dotan de los recursos necesarios a la edificación para su funcionamiento.

A excepción del constructor, todos los demás protagonistas en esta cadena de construcción deben efectuar un diseño. En lo relacionado con la vulnerabilidad sísmica, los diseños más representativos son el arquitectónico y el estructural. Esto no significa que el diseño de las redes de suministro de agua, energía, transmisión de datos, etc., sea menos importante.

El punto de partida del grado de vulnerabilidad de una estructura urbana, es sin lugar a dudas, la concepción arquitectónica y su diseño. El arquitecto debe ser cada vez más consciente del papel que desempeña como gestor de un adecuado comportamiento sísmico de la edificación. Lo anterior, por supuesto, no debe ir en contra de la creatividad del arquitecto sino en armonía con su diseño.

Existen formas arquitectónicas que presentan de por sí, serios inconvenientes a la hora de diseñarlas estructuralmente. Formas con fuertes irregularidades en altura y/o en planta llevan implícito el sello de un comportamiento sísmico que no es fácil de prever. Esto podría ser superado, entre otras alternativas, si se subdivide estructuralmente la edificación en formas más simples, pero esta alternativa no es fácil de abordar. Generalmente, aún cuando la disposición geométrica de la estructura no presente este tipo de irregularidades, algunos diseños arquitectónicos obligan a una distribución irregular de los elementos de soporte lo que es altamente inconveniente.

El talento en el diseño arquitectónico no debe limitarse justificándose en la vulnerabilidad implícita del diseño mismo, pero es absolutamente necesario una comunicación con el ingeniero calculista, de manera que se llegue a un punto de equilibrio en donde las formas y espacios ingeniosamente concebidos, se comporten adecuadamente ante la ocurrencia de un sismo.

El diseño estructural es el responsable de la estabilidad de la edificación. Este diseño está reglamentado en los códigos de construcción que la sociedad ha asumido, lo que significa que el diseño estructural lleva implícito un nivel de vulnerabilidad sísmica tal,

que el riesgo es aceptable. El ingeniero calculista tiene el reto de basarse en el diseño que plantea el arquitecto; de ahí la importancia de la comunicación entre estos dos profesionales. Pero aun cuando esta comunicación se haya establecido de manera efectiva, por sí sola no es una garantía de un buen diseño. Otros aspectos influyen de manera determinante. La utilización de las herramientas de computación, por ejemplo, ha contribuido mucho al diseño estructural, pero el ingeniero debe ser cuidadoso con la interpretación de la información que arrojan estos programas.

Ahora bien, si el ingeniero calculista no tiene en cuenta las hipótesis del diseño en sí, la manera en que el software que está utilizando realiza cálculos específicos como hallar los centros de masa y rigidez, las frecuencias naturales de vibración y el hecho de que el modelo que trabaja es un modelo matemático que no tiene en cuenta el comportamiento no lineal de los materiales de los que estará hecha la estructura, caerá fácilmente en un mar de información aparentemente consistente y pierde el horizonte conceptual de su diseño. El resultado es inesperado al momento que la estructura se vea sometida a la acción de un sismo.

Los demás diseños revisten una importancia especial por cuanto pueden contribuir con la resiliencia de la edificación. En términos de la vulnerabilidad sísmica estos diseños deben tener en cuenta la probabilidad de deformación de la estructura y prever la ocurrencia de incendios, cortes en los suministros, afectación de ascensores, accesos, alarmas, etc., mientras ocurre el sacudimiento y después de éste. Varios de los daños en los sismos de importancia se han producido por la acción de los incendios posteriores.

El diseño es pues, la antesala del nivel de vulnerabilidad sísmica que una estructura pueda llegar a tener. Debe ser realizado por profesionales capacitados, experimentados y con criterio. No sólo la vulnerabilidad sísmica debe tenerse en cuenta. Existe otro tipo de amenazas que deberían evaluarse como el incendio, los vientos huracanados, inundaciones, explosión, etc.

Es difícil determinar si una estructura es vulnerable o no a simple vista debido a la gran cantidad de factores que intervienen producto de la cantidad de variables que se deben tener en cuenta. A menos que se encuentren serias deficiencias en la distribución de los elementos que soporten la edificación por ejemplo, un observador a simple vista no podría sacar conclusiones respecto a la vulnerabilidad de la misma.

A pesar de este hecho y basados en la experiencia que se ha recogido a través del comportamiento de las edificaciones en numerosos sismos en varios sitios del mundo, se ha desarrollado una metodología sencilla para determinar en primera instancia el nivel de vulnerabilidad sísmica cualitativamente. Este procedimiento no condena ni exonera a una estructura. Es, simplemente, un indicador que arroja una luz sobre el estado de la edificación en cuanto a su predisposición ante la ocurrencia de un sismo. Debe recordarse que el grado de afectación que tenga esta edificación depende no sólo de esta predisposición sino del sismo en sí, tal y como lo explicamos en el capítulo anterior.

2.4 FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA VULNERABILIDAD SISMICA

Los factores que se relacionarán a continuación son indicadores que arrojan una luz sobre el estado de vulnerabilidad sísmica de una estructura. Un estudio completo del estado de la estructura es mucho más complejo, involucra la participación de profesionales capacitados para tal fin, visita a la edificación para obtener ciertos datos necesarios para el análisis, creación del modelo matemático que describe la estructura, etc. En general este tipo de estudio debe adelantarse para estructuras que deben permanecer funcionales después de la ocurrencia de un sismo como son hospitales, estaciones de bomberos, edificios gubernamentales, policía, etc. Estas estructuras deben diseñarse y construirse de manera que tengan una capacidad especial para soportar los movimientos sísmicos.

Debido a que es imposible entrar a hacer este tipo de estudios a todos los inmuebles de una cartera de terremoto de una compañía de seguros, es necesario encontrar alternativas para estimar, en primera instancia, el nivel de vulnerabilidad sísmica. Es así como estos factores deben tenerse en cuenta para dicho trabajo:

2.4.1 Altura

La altura de la estructura es una variable importante en el momento de determinar su vulnerabilidad sísmica. Es una falsa creencia que entre más número de pisos tenga una edificación, más afectada va a verse en el caso de un sismo. Si bien existe relación indirecta entre estos dos aspectos y es necesario recordar el parámetro de frecuencia natural de vibración de la edificación versus el contenido de frecuencias del sismo.

El daño tanto en elementos estructurales como en elementos no estructurales durante un sismo se debe principalmente a los desplazamientos laterales de la edificación. Este daño podría reducirse si se le da a la estructura una apropiada rigidez lateral.

Si estamos ante una edificación de más de cinco pisos, es muy probable que exista un diseño que siguió normas sismo resistentes. En general en nuestras ciudades este tipo de edificaciones necesitan de un permiso especial de construcción, por decirlo de alguna manera, no pasan desapercibidas. Es muy probable también que hayan sido construidas bajo una supervisión técnica profesional. Esta suposición toma fuerza en el sentido que a mayor altura el costo de la edificación tiende a elevarse. Estas sumas de capital no se invierten tan a la ligera y el concurso de este grupo de profesionales es exigido. No quiere decir esto que automáticamente los edificios más altos queden exonerados de estimarles su vulnerabilidad o que de por sí tengan una vulnerabilidad baja. Pero es cierto que la probabilidad de que estas edificaciones tengan serias deficiencias en su diseño y construcción es relativamente baja.

Ahora bien, las estructuras menores de cinco pisos no quedan condenadas. En Colombia, por ejemplo, la construcción de vivienda de interés social, en general, se conforma de edificaciones de cinco pisos en mampostería estructural o edificaciones de uno o dos pisos también en mampostería estructural sobre losas flotantes. Este tipo de vivienda ha tenido el concurso de profesionales en su diseño y construcción.

La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de menor altura tiende a ser relativamente mayor en el sentido que la autoconstrucción es más sencilla de llevar a cabo en alturas menores. Esta llamada autoconstrucción a probado ser un generador de importancia de vulnerabilidad al movimiento sísmico. La autoconstrucción es pocas veces dirigida. Por experiencia del autor, los errores de orden técnico en este tipo de construcciones son graves y muy repetidos.

La altura es entonces un elemento fundamental en la apreciación del riesgo sísmico.

2.4.2 Irregularidad en Planta y Altura

Como lo hemos mencionado la irregularidad en planta y en altura es un elemento crítico en la vulnerabilidad de una estructura. Debido a que en un sismo ésta se comporta como un oscilador, la irregularidad se traduce en un comportamiento, más que errático, impredecible. Los modelos computacionales para el diseño de las estructuras están basados en modelos matemáticos lineales.

Para dar un ejemplo claro de lo anterior puede realizarse una hipótesis de tener una viga de concreto, apoyada en sus extremos y con un peso en la mitad de su longitud. A medida que el peso se aumenta la viga se deforma. Si el peso se aumenta permanentemente, la deformación de la viga, deflexión, también aumentará pero llegará un punto en el cual la viga simplemente se rompe. Esto no está ajustado a la ortodoxia de la ingeniería donde se habla de carga y no de peso y de colapso o, en este caso, formación de una rótula plástica y no de rompimiento. Esto es la realidad.

En un modelo matemático elástico como el de la mayoría de programas de computación diseñados para esto, sin embargo, la deformación es permanente, lo que no corresponde a la realidad. Por su puesto los ingenieros reconocen este comportamiento y toman las precauciones necesarias.

En el caso de una viga la situación es clara y fácil de determinar. Esta relativa facilidad en el reconocimiento del fenómeno se mantiene en estructuras regulares (de formas simples, simétricas, etc.), pero entre más irregular se vuelva, esta percepción se pierde y obliga al ingeniero a volver robusta la estructura o a partirla en formas más regulares.

La irregularidad, por lo tanto, contribuye al desconocimiento del comportamiento sísmico de la estructura y aumenta su vulnerabilidad.

2.4.3. Año de Construcción

El año de construcción es un dato de importancia en la determinación de la vulnerabilidad en virtud de que el primer Código de Construcciones Sismo Resistentes fue emitido en 1984 y actualizado por la Norma Sismo Resistente NSR-98.

Es una buena aproximación estimar que una construcción levantada antes de 1984, podría tener una vulnerabilidad más alta que una construida después de 1984 y a su vez, después de 1998. Esto no quiere decir que todas las estructuras de mas de 15 años estén expuestas a un peligro mayor. En general, para las estructuras importantes, aun cuando no existía Código alguno, la construcción fue hecha con bases técnicas adecuadas.

2.4.4 Sistema Estructural

El sistema estructural esta definido según el tipo de elementos encargados de soportar la estructura. El siguiente cuadro muestra los sistemas estructurales más reconocidos, su descripción y tipo de uso mas frecuente:

SISTEMA ESTRUCTURAL	DESCRIPCION	USO
Pórticos de concreto reforzado o acero	Entramado de vigas y columnas en concreto reforzado o acero con muros divisorios no estructurales. Las losas (pisos) en general son entramados de vigas de concreto o steel deck.	En edificaciones hasta de 10 pisos (pueden ser menos altura dependiendo de las características del suelo) Se utiliza en general para oficinas o vivienda
Sistema de muros de carga en concreto reforzado	Sistema de muros de carga que reciben losas (pisos) conformados por entramados de vigas de concreto o steel deck.	En edificaciones de mas de 10 pisos (pueden ser menos). Se utilizan en general para oficinas o vivienda.
Sistema dual	Sistema combinado de pórticos de concreto con muros de carga. Las losas (pisos) en general son entramados de vigas de concreto o steel deck.	En edificaciones de mas de 10 pisos (pueden ser menos). Se utilizan en general para oficinas o vivienda.
Mampostería estructural	Sistema de muros de carga, ausencia generalizada de vigas o columnas. Las losas (pisos) son en general placas macizas de concreto reforzado.	En edificaciones de hasta 6 pisos (pueden ser menos). Se utiliza para vivienda.
Mampostería no estructural	Sistema de muros divisorios que no son de carga.	No esta especificada su uso por el código para fines estructurales. Para fines no estructurales se requiere diseño. Cuando se trata de viviendas en general son de autoconstrucción y son muy vulnerables.
Cerchas de acero	Cubiertas hechas de entramados de elementos de acero, unos a tensión otros a compresión y otros como amarre, dispuestos sobre muros de mampostería estructural.	Bodegas o centros de almacenamiento.

Ahora bien, la escogencia del sistema estructural, por parte del ingeniero, se basa, entre otros factores, en la respuesta local del suelo (cómo tiene a moverse el suelo donde será construida la estructura), el material de construcción, el uso, la disposición arquitectónica, el presupuesto de obra, etc.

Con un diseño adecuado, los sistemas estructurales funcionan, igualmente, de manera adecuada.

3. SISTEMAS DE EVALUACION DE PERDIDAS POR SISMO

La evaluación sísmica de una edificación, como lo hemos visto, tiene en cuenta las variables de amenaza sísmica y vulnerabilidad estructural. *Los sistemas de evaluación de pérdidas deben, por lo tanto, trabajar sobre estas mismas variables.*

Ahora bien, evaluar la pérdida (traducida como el daño esperado convertido en valor monetario) de una cartera de seguros conformada por varios miles o a veces cientos de miles de riesgos no es una tarea fácil.

Los análisis se basan, no solo en la relación amenaza – vulnerabilidad, sino también en la agregación de las matrices de daño. Estas matrices de daño introducen en los modelos de cálculo de pérdidas un cierto valor de aleatoriedad que es manifiesta en los daños por sismo. Esto modela, en cierta medida, fenómenos tan comunes como el que dos estructuras contiguas, idénticas en su arquitectura y diseño estructural, puedan resultar afectadas en forma diferente, a tal grado, que una presente colapso y la otra permanezca casi intacta.

Esta valoración es, por supuesto, subjetiva y resulta particularmente difícil entender que en un ámbito técnico se presente este tipo de valoración. Sin embargo, esto se aborda en este tipo de sistemas como valores de probabilidad, en donde a las incertidumbres se les asigna un valor matemático probabilístico que permite esta compleja modelación.

Debe ser claro que, para evaluar una cartera de terremoto de una compañía, es necesario que el software en que se ha desarrollado el sistema, cuente de manera confiable con la información de la sismicidad de la zona donde la cartera se encuentre. Es preferible que la información sobre esa sismicidad se refiera a la respuesta local de suelo donde cada riesgo se encuentra ubicado. De no ser así, el sistema empieza a perder precisión y sus resultados resultan más difíciles de interpretar.

De igual manera la vulnerabilidad de la cartera debe ser establecida. Como se vio anteriormente, los datos relevantes al sistema estructural, irregularidades en planta o en altura, número de pisos, edad de construcción y cualquier otro parámetro que se refiera a las características de la vulnerabilidad del riesgo.

Los objetivos principales de los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo son:

- a. Calcular la *pérdida máxima probable* en la cartera de terremoto de la compañía.
- b. Calcular las *primas puras de riesgo* sísmico para la misma cartera.

3.1 CALCULO DEL DAÑO

Existen varios métodos para calcular el daño sísmico, sin embargo el método más reconocido es una aproximación al daño estructural en función de la distorsión máxima entre piso del sistema para determinado movimiento sísmico. Debido a que este movimiento sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sismogénicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura, existe una buena correlación entre la amenaza sísmica y el daño que produce dicha amenaza en determinada estructura.

La distorsión máxima de entrepiso, γ_i , se estima a partir de la expresión [Miranda, 1997] :

$$\gamma_i = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \eta^2 N^{3/4}}{4\pi^2 h} S_a(T) \quad (1)$$

Donde $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 son factores de amplificación que permiten estimar el desplazamiento y la deformación lateral máxima de la estructura considerando tanto el comportamiento lineal elástico, como el inelástico y relacionan la distorsión máxima entrepiso con la distorsión global de la estructura.

η , N , h y $S_a(T)$, son respectivamente, el factor que permite calcular el período fundamental de la estructura a partir del número de niveles de la misma, el número de pisos, la altura entrepiso (promediada según el sistema estructural) y la aceleración espectral que depende del peligro sísmico del sitio y del período fundamental de vibración y del amortiguamiento de la estructura.

Para poder calcular el nivel de daño de una cartera de terremoto, conformada por al menos varios centenares de datos, el software utiliza una metodología desarrollada por Ordaz (1995) para calcular el valor esperado del daño dada una distorsión máxima de entrepiso, $E(\beta | \gamma_i)$, que es función, principalmente, de la intensidad sísmica (medida con la aceleración espectral, S_a), del sistema estructural, de la fecha de construcción y de otros parámetros estructurales. Esta metodología trabaja a su vez con una densidad de probabilidad del daño en donde se fija la variación de la varianza del daño bruto de la edificación, utilizando básicamente dos fuentes de información: Las distribuciones de probabilidad de asignadas en el estudio clásico del informe ATC-13 [ATC-13, 1985] e información procedente de ejercicios de simulación suponiendo estructuras simples con propiedades aleatorias.

3.2 DETERMINACION DE LA PERDIDA MAXIMA PROBABLE (PML)

Se define como pérdida máxima probable (PML) a un valor de pérdida económica neta que se excede, en promedio, una sola vez cada cierto período de retorno.

En la definición de PML, el concepto “neta” se refiere a las pérdidas a cargo de las compañías de seguros, es decir, las que resultan de descontar, a las pérdidas totales

o brutas, los efectos de deducible, coaseguro, límite de responsabilidad y tipo de agrupación de las pólizas. Estos conceptos se definirán en los incisos siguientes.

3.2.1 Deducible, coaseguro y límite de responsabilidad.

El deducible, el coaseguro y el límite de responsabilidad, también conocido como límite de primer riesgo, son los mecanismos más comúnmente usados por las compañías para limitar sus pérdidas o lograr cierto grado de solidaridad del asegurado.

Se definen estos conceptos mediante la siguiente relación entre pérdidas brutas y pérdidas netas P_N :

$$P_N = \begin{cases} 0 & \text{si } P_B < D \\ (P_B - D)(1 - C) & \text{si } D \leq P_B < L \\ (L - D)(1 - C) & \text{si } P_B \geq L \end{cases} \quad (2)$$

donde

- D = Deducible ($D < L$)
- C = Coaseguro ($0 < C < 1$)
- L = Límite de responsabilidad
- P_N = Pérdida neta
- P_B = Pérdida bruta

En general, P_N y P_B representarán pérdidas en una edificación o en una cartera de edificaciones dependiendo del tipo de póliza considerad, ya sea esta individual o que agrupe a un conjunto de bienes.

3.2.2 Cálculo de la Prima Pura de Riesgo

La PPR se calculará con la siguiente expresión, o cualquier otra que resulte analíticamente equivalente:

$$PPR = \sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NF} \int_{M_{oj}}^{M_{uj}} -\frac{d\lambda_j}{dM} E(P_i | M_j) dM \quad (3)$$

Donde $E(\cdot)$ denota valor esperado y

- NC = Número total de pólizas en la cartera. Como se explicó, éste numero no necesariamente es el número de edificaciones.
- $P_i | M_j$ = Pérdida en la cartera i dado que ocurrió un sismo con magnitud M en la fuente j . Esta pérdida se calculará atendiendo al tipo de póliza, de acuerdo con las definiciones entregadas.
- NF = Número total de fuentes sísmicas consideradas. El número y disposición de fuentes sísmicas será tal que éstas puedan considerarse fuentes puntuales.
- M_{oj} = magnitud mínima de análisis en la fuente j .
- M_{uj} = magnitud máxima que puede ocurrir en la fuente j .
- λ_j = tasa de excedencia de magnitudes en la fuente j .
- M = Magnitud sísmica.

Para el cálculo de P_i se tendrá en cuenta que al ocurrir un sismo en la fuente j , las distancias focales a cada edificación son, en general, diferentes.

3.2.3 Cálculo de la Pérdida Máxima Probable

Para el cálculo del PML se tomará en cuenta que la tasa de excedencia de valores de pérdida, $\nu(p)$, debe calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación, o cualquier otra que resulte analíticamente equivalente:

$$\nu(p) = \sum_{j=1}^{NF} \int_{M_{oj}}^{M_{uj}} -\frac{d\lambda_j}{dM} \Pr(P > p | M_j) dM \quad (4)$$

Donde $Pr()$ denota probabilidad, P se refiere a las pérdidas en toda la cartera, conformada generalmente por pólizas de los tres tipos y el resto de las variables tienen el mismo significado que en la ecuación 2.

Una vez determinada $v(p)$, la PMP será aquel valor de p cuyo periodo de retorno sea el escogido previamente por la compañía. Si el período de retorno fuera n años $v(p)=1/n$.

3.3 CÁLCULO DEL PML SEGÚN EL RÉGIMEN DE SEGUROS Y CAPITALIZACIÓN. OBSERVACIONES.

Se ha explicado en breves líneas la manera técnica en que deben calcularse dos aspectos principales del seguro de terremoto (PML y PPR). Ahora se relaciona la forma en que se opera técnicamente este seguro según el Régimen de Seguros y Capitalización colombiano.

Decreto 2272 de 1993:

Art1. En la operación técnica del seguro y reaseguro de terremoto, las entidades aseguradoras y reaseguradoras deberán observar que la responsabilidad neta proveniente de la integridad de sus contratos de seguros y reaseguro, calculada en función de una pérdida máxima probable equivalente, cuanto menos, al quince por ciento (15%) de los valores asegurados y/o reasegurados, no podrá exceder por cada una de las zonas sísmicas que a continuación se detallan, del diez por ciento (10%) de su patrimonio técnico correspondiente al trimestre inmediatamente anterior a aquel en el cual se efectuó la operación.

Se entiende por responsabilidad neta aquella que esta a cargo de la compañía, una vez deducida la correspondiente a sus coaseguradores y reaseguradores en los contratos principales....

Art. 2. La responsabilidad de excedente del diez por ciento (10%) del patrimonio técnico, calculada en función del mismo porcentaje de pérdida máxima probable, deberá ser objeto de contratos de reaseguro en el exterior...

Las observaciones resultan fáciles de entender según el marco del cálculo del peligro sísmico expuesto con anterioridad. Se listan a continuación algunas de ellas. Debe tenerse claro, sin embargo, que estas observaciones se hacen a una metodología que, en su momento, era la mejor. La información de la sismicidad y las herramientas computacionales necesarias para el cálculo del riesgo sísmico, como aquí se propone, no estaba dispuesta hace cinco años:

1. La pérdida máxima probable se supone como un valor constante de 15%. Eso a todas luces es un error. Cabe recordar que la pérdida esta en función de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural de la cartera que se esta analizando. Según [VARELA et AL 2001] en su paper “Loss estimation of insured structures in Bogotá D.C.” se advierte que para un grupo de compañías el PML varía según, no sólo las variables mencionadas, sino del período de retorno escogido.
2. Las zonas crestas son un instrumento útil en la determinación de las acumulaciones. Sin embargo este concepto está revaluado según lo que se ha visto en la determinación de la amenaza sísmica y la influencia determinante de la respuesta local de un sismo. Colombia cuenta con varias de las principales ciudades con estudios completos de la respuesta local del suelo. Entre ellas Bogotá D.C., Medellín, Popayán, Armenia, Pereira y a punto de ser entregada, Manizales.
3. Observe que no existe cálculo alguno para la determinación del la Prima Pura de Riesgo (PPR). Esta prima está en función de la parte retenida que a su vez

viene dada de la prima comercial. En un mercado de competencia abierta es muy probable que la tasa no tenga un contenido de riesgo puro y que se esté trabajando esta prima con los costos de reaseguro, colocación, administración y un pequeño margen de utilidad, en ciertos casos. Esto obliga a que el asegurador retenga muy poco de ese riesgo, cediendo la gran parte del mismo.

4. ESTIMACION DE LAS PERDIDAS POR SISMO EN LAS ESTRUCTURAS ASEGURADAS EN BOGOTA D.C.

La Federación de Aseguradores Colombianos, FASECOLDA, diseñó un proyecto piloto estructurado para encontrar la Pérdida Máxima Probable (PML), las primas puras de riesgo (PPR) y la distribución de los riesgos de las carteras de terremoto de varias compañías de seguros afiliadas al gremio. Este análisis se realizó para la ciudad de Bogotá D.C., utilizando la información disponible sobre las fuentes sismogénicas y la respuesta dinámica del suelo de los estudios de microzonificación sísmica de la ciudad, junto con las características generales de la estructura, utilizando el programa RS-COL ®, de la Alianza Estratégica entre la Universidad Autónoma de México y la Universidad de los Andes.

El nivel daño se encontró con base en consideraciones de la deriva de piso máxima de cada estructura, mostrada en el capítulo anterior, al simular todos los posibles eventos que pueden desarrollar las fuentes sismogénicas asociadas a la ciudad. Las compañías conforman aproximadamente el 80% del sector asegurador colombiano y es la primera vez que un estudio de estimación de las pérdidas por sismo de la ciudad es realizado teniendo en cuenta los estudios de respuesta local del suelo y las características de vulnerabilidad de las estructuras analizadas.

4.1 ASPECTOS GENERALES DEL SOFTWARE RS-COL ®

La universidad de los Andes y el instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México se unieron en una alianza estratégica para ofrecer al sector asegurador colombiano un sistema para la evaluación de pérdidas por terremoto en edificaciones para fines de seguros.

Este sistema une los resultados de los estudios de zonificación sísmica de la ciudad de Bogotá D.C., realizados por la universidad de los Andes, y el algoritmo que permite calcular, con base en la información de la sismicidad del sitio y las características de los inmuebles, la distorsión máxima entre piso que el sistema tenga para determinado movimiento sísmico. Los aspectos más relevantes de este software son, entonces, la información sobre la sismicidad de la zona y la forma en que calcula el daño.

4.1.1 Sismicidad de Bogotá D.C.

La Universidad de los Andes y el Instituto Nacional de Geociencias INGEOMINAS, con la ayuda del gobierno municipal y nacional a través de la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de desastres, presentaron en 1997 los resultados del estudio de zonificación sísmica para la ciudad de Bogotá D.C., capital de Colombia, mediante el convenio administrativo número 01-93. Este estudio definió cinco zonas de comportamiento homogéneo en la ciudad, caracterizados por parámetros útiles para el diseño y construcción de edificaciones y líneas vitales, que fueron incorporados a la Norma de Construcciones Sismo Resistentes de la ciudad.

Para este estudio se evaluó la amenaza sísmica regional, identificando las principales fuentes sismogénicas y determinando su actividad neotectónica. Paralelamente se realizaron estudios sobre las características del subsuelo de la ciudad utilizando ensayos de prospección geofísica y se estudió la respuesta dinámica de las diferentes estratigrafías típicas según la información geotécnica existente. Se estableció entonces la microzonificación sísmica de la ciudad así como las recomendaciones para estudios futuros que se realicen con el objetivo de complementar y mejorar la información. [MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA-INGEOMINAS, 1985]

La microzonificación sísmica determinó cinco zonas de comportamiento sísmico similar, cada una con un espectro de aceleraciones característico, según se muestra en la figura 5.

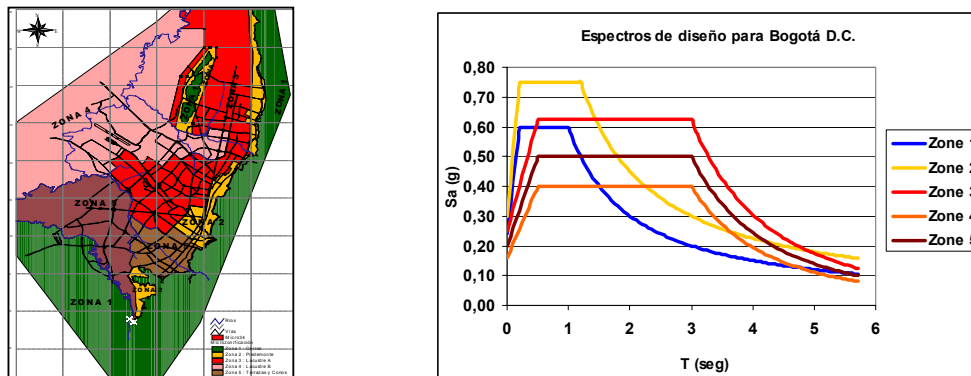


Figura 5. Microzonificación sísmica de Bogotá D.C., con sus respectivos espectros.

4.1.2 Daños en contenidos y consecuenciales

El software considera que los daños en contenidos y por pérdidas consecuenciales están completamente correlacionados con el daño en la estructura. Para los contenidos se considera que el valor esperado del daño es la mitad de la que se presenta en la misma. Por lo que respecta a pérdidas consecuenciales, se supone que tienen la misma densidad de probabilidad que los daños del inmueble.

4.2 PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Las compañías que participaron en este proyecto piloto suministraron información de sus carteras de terremoto. El procedimiento que siguió el estudio fue el siguiente:

Primera fase:

- a. Verificación y corrección de la información básica entregada por las aseguradoras.
- b. Ubicación de los riesgos mediante coordenadas geográficas utilizando un el sistema CCD (Cálculo de Coordenadas a partir de Direcciones).
- c. Elaboración de un modelo estadístico para inferir, según su ubicación dentro de la ciudad, los parámetros de la información complementaria que no se hayan entregado en las bases de datos. Estos parámetros son la fecha de construcción, el número de pisos y el sistema estructural.

Segunda fase:

- a. Visitas técnicas para recopilar la información complementaria para los riesgos más importantes de las aseguradoras, según el listado entregados por ellas.
- b. Complementar los datos de entrada con los datos de las visitas técnicas.
- c. Corrida del modelo.
- d. Análisis y entrega de resultados.

4.2.1 Información requerida

La información requerida por el sistema se ha dividido en dos tipos: una información básica y una información complementaria. La información básica corresponde a aquella inherente a los valores de una póliza de seguro de terremoto. Esta incluye el número de la póliza, las fechas de inicio y final de la cobertura, el valor asegurable, el valor asegurado, el límite máximo (si existe), los porcentajes de retención, deducible, coaseguro y dirección del riesgo. Esta información se solicita para la estructura, los contenidos y las coberturas de pérdidas consecuenciales. Por medio de un algoritmo especial se transformaron las direcciones en coordenadas geográficas (CCD) con el fin de localizar dentro de la ciudad a la estructura. La información básica fue suministrada por las aseguradoras.

La información complementaria se refiere a la información inherente a la estructura. Esta incluye la fecha de construcción, el número de pisos, el uso, la existencia de columnas, trabes, muros, el tipo de cubierta (ligera o pesada), la existencia o no de columnas cortas, posibilidad de golpeteo con estructuras adyacentes, la existencia de irregularidades en planta o altura, la existencia de daños previos y la existencia de reparaciones o intervenciones. Con esta información el programa obtiene los parámetros necesarios para determinar la vulnerabilidad de la estructura. Ninguna de las aseguradoras tenía establecido un procedimiento para la recopilación de esta información al momento de la suscripción de la póliza, por lo tanto, se hizo necesario inferir dicha información mediante un modelo estadístico y obtener directamente los datos mediante visitas para los riesgos más importantes de cada cartera.

4.2.2 Modelo estadístico para inferir los datos complementarios

El modelo estadístico (PAR-EST) se creó para poder inferir los datos complementarios que no tienen las aseguradoras en la información entregada de las carteras de terremoto. Debido a la gran cantidad de datos complementarios, el modelo se concentró en inferir tres datos principales: La fecha de construcción, el número de pisos y el sistema estructural. De estos datos, además, existe información estadística disponible.

4.2.2.1 Numero de pisos

El número de pisos se estimó con base en el mapa de alturas máximas de la ciudad. Este dato básico de altura máxima, se complementó con la información relacionada en el mapa de las zonas de uso (figura 7) y el mapa de la distribución de los estratos socioeconómicos (figura 8). Con esta información, se establecieron unos límites y valores probables en relación con el número de pisos que se está asignado a una edificación en particular. La Figura 9 presenta el diagrama de flujo utilizado por el

modelo para la selección del número de pisos de una edificación con base en la información estadística disponible.

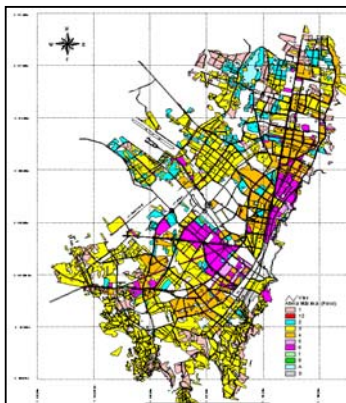


Fig. 6. Mapa de alturas

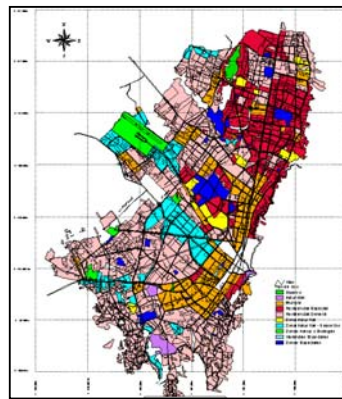


Fig. 7. Mapa de zonas de uso

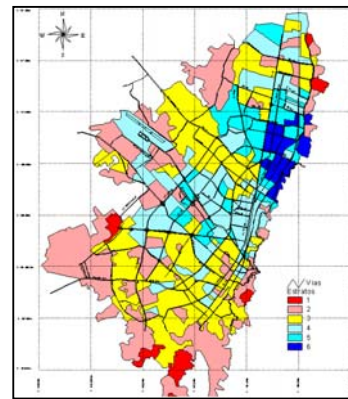


Fig. 8 Mapa estratos

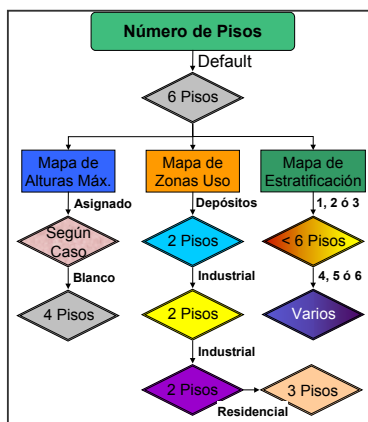


Fig. 9. Diagrama de flujo para determinar altura

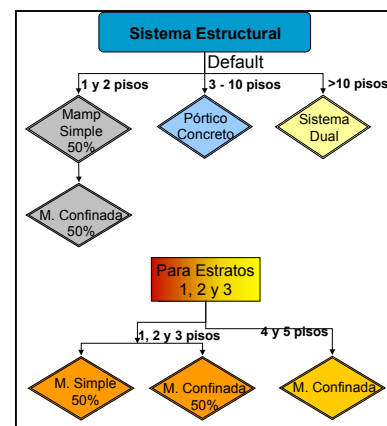


Fig. 10 Diagrama de flujo para el sistema estructural

4.2.2.2. Sistema estructural

El sistema estructural se determinó a partir del número de pisos inferidos. Es una buena aproximación estimar que las edificaciones de 1 y 2 pisos son construidas en

mampostería, la cual, según los estudios paralelos de la microzonificación sísmica, se pueden determinar como 50% mampostería confinada y el resto 50% no confinada. De igual manera es muy aproximado afirmar que el gran porcentaje de las edificaciones de 3 a 10 pisos son pórticos en concreto. Las edificaciones de más de 10 pisos, para el cumplimiento de las derivas máximas, en general fueron construidas con muros estructurales. La figura 10 muestra el diagrama de flujo que determina estas propiedades dentro del modelo estadístico.

4.2.2.3. Año de construcción

Finalmente, el año de construcción más probable de la edificación se determina de acuerdo con el mapa de crecimiento histórico de la ciudad (Figura 11) y el diagrama de flujo desarrollado con base en este (Figura 12).

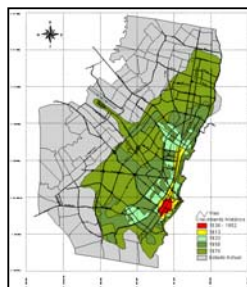


Fig. 11 Mapa de crecimiento de la ciudad

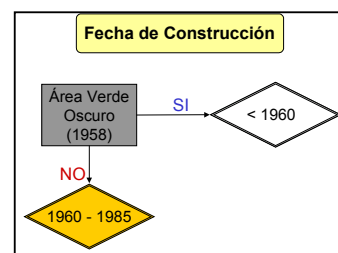


Fig. 12 Diagrama de flujo fecha de construcción

4.2.2.4 Visitas a los inmuebles

Cada aseguradora suministró a FASECOLDA un listado con los riesgos más importantes de su cartera. La importancia de estos riesgos viene determinada por el valor retenido del riesgo, es decir, aquel valor que queda a cargo de la aseguradora. Cerca de 1.500 riesgos fueron visitados para obtener la información necesaria y se

hizo un registro fotográfico de los mismos. Esto se realizó con un formato rápido de recolección de datos proporcionado por la Universidad de los Andes.

4.2.2. Escenarios del análisis

Tres escenarios se plantearon para realizar el estudio. El primer modelo se corrió con los datos básicos únicamente. El segundo con los datos básicos mas los datos inferidos del modelo estadístico y el tercero con los datos básicos, complementados con los datos inferidos del modelo estadístico y la información de las visitas a los riesgos más importantes.

Cada escenario arroja tres resultados significativos que son:

1. El índice de Concentración de la cartera.
2. Las Pérdidas Máximas Probables (PML) para diferentes períodos de retorno.
3. La probabilidad de excedencia del PML para diferentes tiempos de exposición.
4. Probabilidad de excedencia del valor esperado de la pérdida de toda la cartera para diferentes eventos sísmicos.

Índice de Concentración: la relación entre la cantidad de inmuebles en porcentaje (eje de las abscisas) y la prima pura acumulada en porcentaje (en el eje de las ordenadas). La acumulación se realiza en forma ordenada empezando con la prima de mayor valor. La gráfica resultante es una medida de la concentración de la cartera. En la medida que la curva se acerca a la línea recta a 45 grados la cartera es más dispersa y mejor distribuida. En la medida que la curva se aleje de la línea recta la cartera será más concentrada lo cual indica que un pequeño número de pólizas concentra un buen porcentaje de las primas y por lo tanto del riesgo. El índice de concentración I.C es la relación entre el área bajo la curva y el área total limitadas por la recta a 45 grados.

Pérdidas Máximas Probables para diferentes períodos de retorno: Este resultado presenta las pérdidas máximas probables para períodos de retorno de 100, 250, 500, 1000, 1500, 2000 y 5000 años. El período de retorno corresponde aproximadamente al inverso de la probabilidad anual de excedencia de cada uno de los valores de PML dados. Se puede también interpretar la curva como que para un valor dado de PML (por ejemplo el 10%), las pérdidas de la compañía por efectos de terremoto se esperarían que sobrepasaran el valor seleccionado una vez cada T años en promedio, donde T corresponde al período de retorno leído en la curva para el PML seleccionado. El sector asegurador y reasegurador trabajan en zonas de amenaza sísmica considerable con un período de retorno de 1500 años.

Probabilidad de excedencia del PML para diferentes tiempos de exposición: Este resultado indica las probabilidades de exceder un PML determinado para diferentes tiempos de exposición seleccionados (150, 500 y 1000 años).

Probabilidad de excedencia del valor esperado de la pérdida de toda la cartera para diferentes eventos sísmicos: Este resultado presenta la probabilidad de exceder determinados valores esperados de la pérdida (en porcentaje en el eje de las abscisas) para los cinco eventos sísmicos críticos dentro de todos los posibles sismos que pueden generarse en las diferentes fuentes sísmicas consideradas.

4.2.2.1 Escenario 1

Este escenario corresponde al modelo con los datos obligatorios únicamente. Se refiere entonces a una aproximación bastante gruesa de la situación real de la cartera.

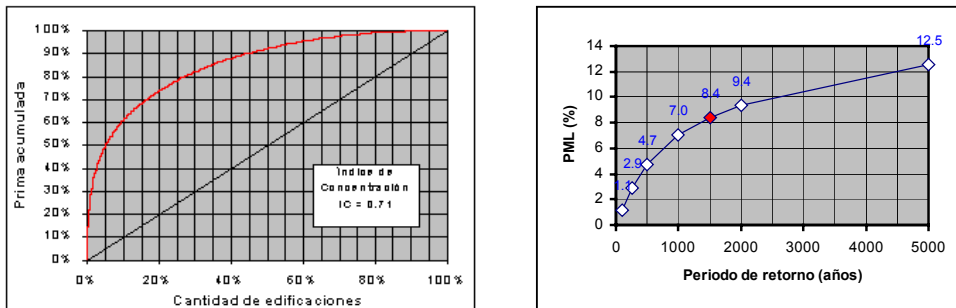


Fig. 13. Índice de concentración y PML análisis 1

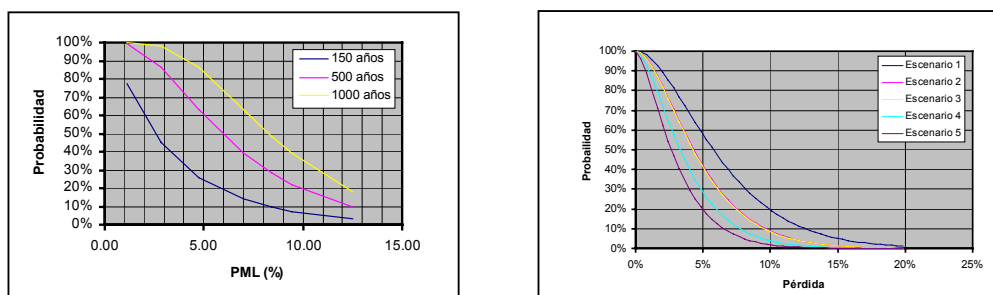


Fig. 14. Probabilidad de excedencia escenario 1

Como se observa en la figura 13, el índice de concentración es de 0.75 y el PML para 1.500 años es del orden de 8.4%. Debido a que los datos sobre la configuración estructural de las edificaciones no se incluyeron en este primer escenario, el programa asume unos valores por default que “castigan” al modelo entero. Si comparamos este valor con el 15% de PML que obliga el ente regulador en Colombia para la compra de catastróficos, en este primer escenario el PML baja más de seis (6) puntos.

La figura 14 define, respectivamente, la probabilidad de excedencia del PML para diferentes tiempos de exposición y la probabilidad de excedencia del valor esperado de la pérdida de toda la cartera para diferentes eventos sísmicos. Estos eventos sísmicos corresponden a los cinco eventos críticos que pueden generarse en las diferentes fuentes sísmicas consideradas para la ciudad.

El asegurador debe, sin embargo, tener cuidado con este primer dato en virtud de que no se cuenta con información detallada de los riesgos. Es posible que existan riesgos con características estructurales poco favorables y de alto valor asegurado que afectarían el índice de concentración y el PML considerablemente.

4.2.2.2 Escenario 2

Este escenario corresponde al modelo con los datos obligatorios y el número de pisos, sistema estructural y año de construcción como datos complementarios inferidos. Como se observa en la figura 15, el índice de concentración es de 0.81 y el PML para 1.500 años es del orden de 7.6%. Este modelo es más aproximado a la situación real de la cartera. Si bien pueden existir diferencias puntuales en algunos de las suposiciones del modelo estadístico, el margen de error es aceptable. Sin embargo es necesario entrar al escenario 3 por la misma razón que se esgrimió en el numeral anterior. Como se observa en el índice de concentración, menos del 5% de los riesgos representan mas del 50% de las primas acumuladas. Es por ello que se realizó una visita de inspección a los riesgos más importantes de las compañías para encontrar la información complementaria real.

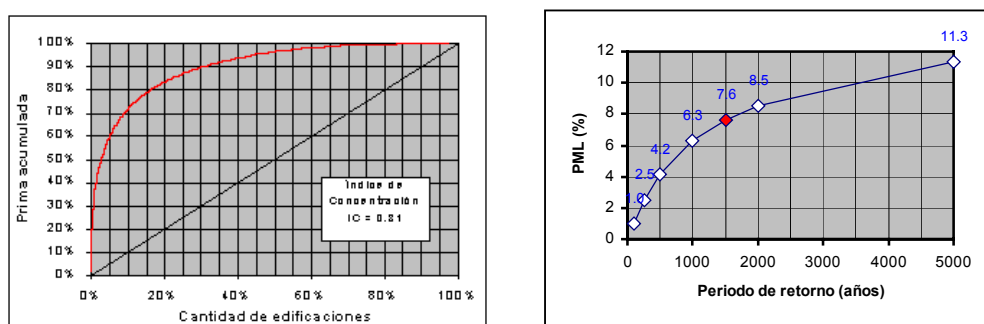


Fig. 15. Índice de concentración y PML escenario 2

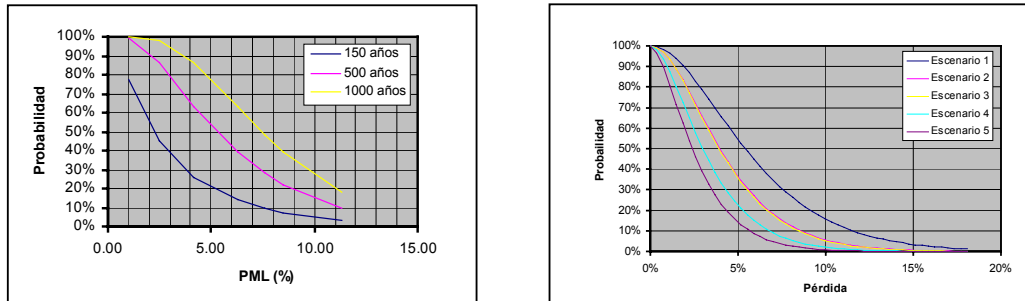


Fig. 16. Probabilidades de excedencia escenario 2

De la misma manera que se trabajó para el escenario 1, se presentan las curvas de probabilidad de excedencia del PML para diferentes períodos de exposición y la probabilidad de excedencia del valor esperado de la pérdida de toda la cartera para los cinco eventos sísmicos críticos que pueden generarse en las diferentes fuentes sísmicas consideradas para la ciudad.

4.2.2.3 Escenario 3

Este escenario corresponde a la corrida del modelo con los datos obligatorios, los datos complementarios encontrados en las visitas a los inmuebles y el número de pisos, sistema estructural y año de construcción como datos complementarios inferidos para el resto de la cartera. Como se observa en la figura 17, el índice de concentración es de 0.87 y el PML para 1.500 años es del orden de 8.1%. Los riesgos de más peso dentro de la cartera fueron analizados teniendo en cuenta la totalidad de la información estructural requerida por el sistema. La variación con el caso anterior no es significativa lo que valida el modelo estadístico que infiere los datos para el resto de la cartera.

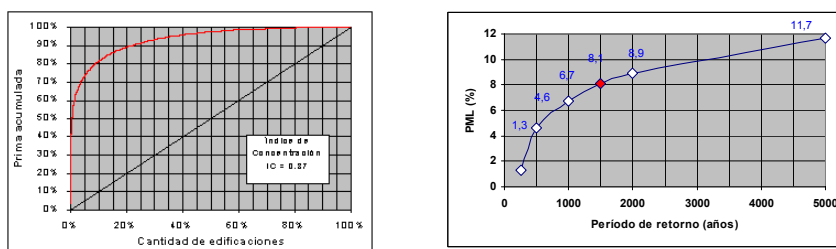


Fig. 17. Índice de concentración y PML escenario 3

Las curvas de probabilidad de excedencia del PML para diferentes períodos de exposición y la probabilidad de excedencia del valor esperado de la pérdida de la cartera para los cinco eventos sísmicos críticos que pueden generarse en las diferentes fuentes sísmicas consideradas para la ciudad, presentan un comportamiento adecuado al nivel de riesgo esperado.

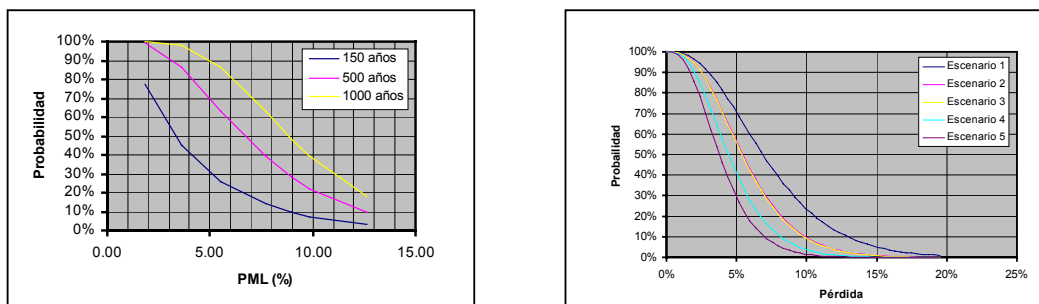


Fig.18. Probabilidades de excedencia escenario 3

Debido a que para éste escenario se tienen en cuenta la vulnerabilidad sísmica real de los riesgos que pesan más en la cartera, el resultado presenta un balance muy aproximado al que se tendría si se contara con la totalidad de los datos complementarios de la cartera.

4.3 RESUMEN DE RESULTADOS

Las tablas 1,2 y 3 muestran el resumen de los datos suministrados al sistema y los resultados obtenidos para los tres escenarios.

Número de Registros	Total Cartera	Total Cedido	Total Retenido
	Valores en millones de pesos		
251.412	49.435.667	27.793.665	21.672.011

Tabla 1. Valores generales de la cartera

Número Pisos	Zonas Sísmicas	Tipo Estructural	Valores Asegurados	Valores Retenidos
Promedio	Más Asignada	Más Asignado	Promedio en millones	Promedio en millones
4	3 (aa=0.5, para T entre 0.5 y 2 seg.)	2	180-200	70 – 100

Tabla 2. Tipos estructurales y valores asegurados mas asignados

Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
IC	PML ₁₅₀₀	IC	PML ₁₅₀₀	IC	PML ₁₅₀₀
0.71	8.4%	0.81	7.6%	0.87	8.1%

Tabla 3. PML para los tres escenarios

Nota: IC = Índice de Concentración

PML₁₅₀₀ = Pérdida Máxima Probable para un período de retorno de análisis de 1500 años.

Por otro lado en la tabla 4 se presenta un resumen de las primas puras estimadas globales y a retención para los tres escenarios.

Porcentaje de retención	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Global	Retención	Global	Retención	Global	Retención
40%	1.65	1.70	1.40	1.48	1.84	1.75

Tabla 4. Primas puras

Adicional a lo anterior, en la tabla 5 se presentan los montos correspondientes a los diferentes niveles de PML calculado, con base en los valores retenidos totales de cada una de las carteras analizadas. Se incluye el valor de 15% de las reservas que se exigen actualmente para efectos comparativos.

Retenido Total	Porcentaje de participación	PML 15%	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
			PML 8.4%	PML 7.6%	PML 8.1%
21.672.011	100%	3.250.801	\$1.820.448	\$ 1.647.072	\$ 1.755.432

Tabla 5. Valores de PML

5. ANALISIS RETROSPECTIVO DEL IMPACTO DE LOS SEPS EN EL SECTOR ASEGURADOR COLOMBIANO

En este capítulo se evalúa, de forma retrospectiva, el impacto sobre el costo de reaseguro para las compañías de seguros de Colombia, por la utilización de los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo, con base en la información histórica que se tiene.

Es así como, utilizando el perfil real de los contratos XL de una compañía de seguros del país, normalizados con los Rate On Line promedio de la industria para los años respectivos, se puede evaluar cuanto hubiera sido el sobrecosto en la compra de estas coberturas, teniendo en cuenta que el PML utilizado para tal fin fue de 15% y el que arroja la simulación sísmica de la cartera hipotética para el sector es de 8.1%.

De igual manera, se realizará una hipótesis sobre el comportamiento que pudo haber tenido el sector asegurador colombiano, de haber implementado este tipo de sistemas cuando el mercado mexicano lo implementó, igualmente en términos del monto de dinero como sobre costo por la compra de un PML de 15%.

En ambas hipótesis se sostiene que el 8.1% de Pérdida Máxima Probable permanece constante. Según lo que se ha anotado en los capítulos previos esto no es exacto debido a que la composición de la cartera de terremoto de una compañía varía por la entrada y salida de negocios. En ese mismo sentido puede presentarse una variación en el PML.

Esta variación en el cálculo de la pérdida dependerá del valor retenido de los riesgos, su ubicación y su vulnerabilidad sísmica. Sin embargo, debido a que el estudio se hizo para el mercado en general, es poco probable que la existan variaciones grandes en el PML y, debido a que se basa en el estudio anterior, se mantiene el valor de PML encontrado para realizar el análisis.

5.1 SOBRE-COMPRA DE REASEGURO CATASTROFICO

Uno de los objetivos del presente trabajo es determinar el monto de dinero que se gastó demás en la compra del reaseguro catastrófico en el país, asumiendo que las carteras de terremoto tienen un PML de 8.1%, tal y como lo señala el estudio que se hizo sobre ellas.

Para calcular el monto de lo que se gastó demás en la compra de reaseguro XL, se utilizó el siguiente procedimiento:

- a. Conseguir el Rate on Line (R.O.L) promedio de la industria aseguradora en los últimos 8 años.
- b. Conseguir la información sobre el costo del reaseguro de exceso de pérdida XL y su distribución por capas para cada uno de los años.
- c. Parametrizar la información en términos de ROL y porcentaje de PML.
- d. Calcular el monto de dinero, por año, que se gastó demás en la compra de un catastrófico de 15%, suponiendo que se mantiene durante todos los años del análisis un PML de 8.1%.
- e. Calcular el total en pesos constantes del 2001.

5.1.1 R.O.L Promedio del sector Asegurador Colombiano en los Ultimos Años

Para dar inicio al análisis se obtuvieron los datos de Rate on Line (R.O.L) promedio de la industria aseguradora colombiana de los últimos años. [AON 2001].

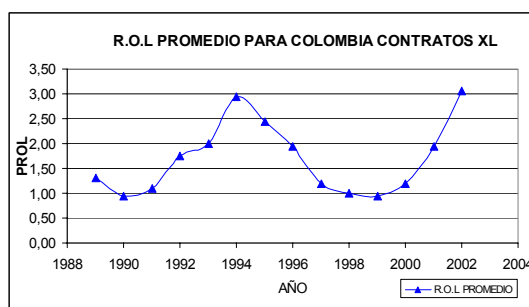


Fig. 19. R.O.L. promedio para Colombia. Fuente AON Re

De esta gráfica se deduce el comportamiento de ciclos blandos y duros de la industria reaseguradora mundial. Es claro que el período comprendido entre los años de 1990 a 1995, el reaseguro entró en un franco ciclo de precios altos, para iniciar su descenso en el año de 1996 y manteniendo esta tendencia hasta el año de 1999, donde inicia de nuevo un ciclo completo de endurecimiento para alcanzar rápidamente los mismos niveles de hace siete años.

5.1.2 Información Histórica del Costo del Reaseguro XL de una Compañía de Seguros del País

Con el propósito de poder determinar el monto de dinero que se gastó demás en la compra de reaseguro catastrófico XL, bajo la hipótesis de que las carteras de terremoto de las compañías de seguros del país han tenido un PML constante de 8.1% y no de 15% como se usa actualmente, se necesita la información sobre el costo de este reaseguro durante el tiempo que se ha estimado para dicho análisis (1993-2001). En este sentido se ha obtenido la información de una importante compañía de seguros del país.

Esta información se ha parametrizado en términos de R.O.L Versus porcentaje de PML así:

CAPA	CAPACIDAD	XS	TASA	MINDEP	PRIMA ESPERADA MINDEP/90%	R.O.L (%) P.E/CAPACIDAD	CAPACIDAD PARAMETRIZADA	ABCISA	ORDENADA	
1	2.100.000	900.000	2,6000%	83.000	92.222	4,39	0,286	0,123	0,266	4,39
2	17.000.000	3.000.000	9,0000%	287.000	318.889	1,88	2,318	0,409	1,568	1,88
3	30.000.000	20.000.000	9,0000%	287.000	318.889	1,06	4,091	2,727	4,773	1,06
4	60.000.000	50.000.000	11,7000%	373.000	414.444	0,69	8,182	6,818	10,909	0,69
TOTAL	109.100.000			1.030.000	1.144.444	1,05	14,877			

Tabla 6. Valores de ROL por capas normalizado

1. Se cuenta con la información del número de capas, la capacidad y el exceso (XS) de cada una, la tasa y el MINDEP.
2. La prima esperada se calculó como el 90% del MINDEP. Este valor puede ser mayor o menor en un 5%. Sin embargo para fines de este estudio se mantiene el 90%.
3. El R.O.L se calcula como la Prima esperada sobre la capacidad.
4. Se sabe que el total de la capacidad equivale al 15% del cúmulo de la cartera, por lo tanto se puede graficar R.O.L versus % de PML determinando la abcisa como porcentaje de PML de 0% a 15% que es el máximo.
5. En las columnas abcisa y ordenada se tiene, el porcentaje de PML en el punto medio de la capacidad de la capa correspondiente, a manera porcentual como se explicó anteriormente y el R.O.L por cien.

Este procedimiento se repite para todos los años del análisis. Como ejemplo se ha graficado la curva resultante para el año 1992, así como también los datos para los años que se tomarán para el análisis que va desde 1993 a 2001.

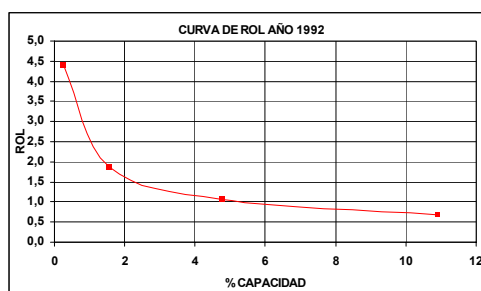


Fig. 20. Distribución del costo de reaseguro año 1992

AÑO	CAPACIDAD PARAMETRIZADA		ABCISA	ORDENADA
1993	0,136	0,273	0,341	5,00
	2,318	0,409	1,568	2,75
	4,091	2,727	4,773	1,56
	8,182	6,818	10,909	0,93
	14,727	-		
1994	1,333	0,333	1,000	8,78
	3,333	1,667	3,333	4,25
	3,333	5,000	6,667	2,79
	6,667	8,333	11,667	2,03
	14,667	-		
1995	1,565	0,391	1,174	6,60
	2,609	1,957	3,261	3,53
	3,913	4,565	6,522	2,58
	6,522	8,478	11,739	1,99
	14,609	-		
1996	0,340	0,340	0,509	7,96
	1,019	0,679	1,189	4,88
	1,698	1,698	2,547	3,04
	2,830	3,396	4,811	2,13
	8,774	6,226	10,613	1,45
	14,660	-		
1997	0,676	0,338	0,676	4,94
	2,703	1,014	2,365	2,64
	4,054	3,716	5,743	1,59
	7,230	7,770	11,385	1,09
	14,662	-		

AÑO	CAPACIDAD PARAMETRIZADA		ABCISA	ORDENADA
1998	0,930	0,310	0,775	3,63
	3,099	1,240	2,789	1,78
	4,339	4,339	6,508	1,10
	6,322	8,678	11,839	0,78
	14,690	-		
1999	0,090	0,084	0,129	7,30
	0,522	0,174	0,435	4,30
	2,089	0,696	1,741	1,85
	2,785	2,785	4,178	1,20
	9,429	5,571	10,285	0,65
	14,916	-		
2000	0,184	0,092	0,184	9,66
	0,644	0,276	0,598	5,34
	2,485	0,920	2,163	2,06
	3,313	3,405	5,061	1,43
	8,282	6,718	10,859	0,86
	14,908	-		
2001	0,226	0,056	0,169	16,56
	0,564	0,282	0,564	7,27
	2,256	0,846	1,974	2,92
	3,665	3,102	4,934	1,50
	6,823	6,767	10,179	1,22
	14,944	-		

Tabla 7. Valores de R.O.L por capas y por año.

Como se ha mencionado, la compra del catastrófico se hace por capas mediante contrato de exceso de pérdida o contratos de reaseguro XL. La figura 21 muestra una forma alternativa de graficar esta distribución. Es por ello que al determinar la disminución del costo de reaseguro no se puede utilizar una proporcionalidad semejante a la disminución del PML, es decir, existe una disminución del 46% entre el PML de 15% y el PML de 8.1%. Debido a como se distribuye el costo de reaseguro por capas, el costo no puede disminuirse en el mismo 46%.

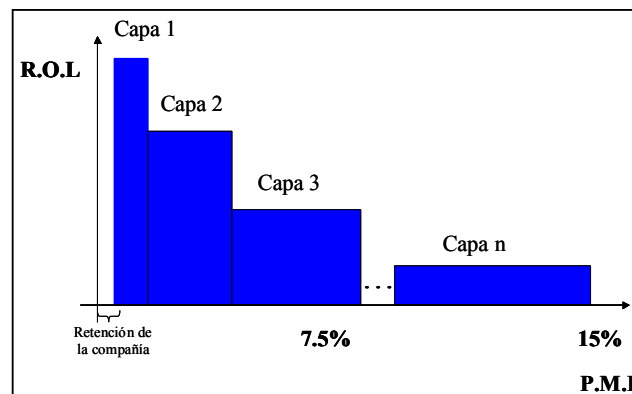


Fig. 21. Esquema general de la estructuración de la compra catastrófica XL

5.1.3 Cálculo del Sobre-Costo en la Compra del Reaseguro Catastrófico por Cambio en el PML

El sobre costo de cambiar la Pérdida Máxima Probable del 15% al 8.1%, puede calcularse de manera aproximada utilizando la distribución que se mencionó en el numeral anterior, variando el valor de PML y calculando dicho sobre costo en la compra del catastrófico.

Este procedimiento no es del todo exacto. Como lo que en realidad esta variando es la cantidad de reaseguro a comprar, en términos de dinero, realizar la hipótesis de variación de PML implicaría que la distribución del catastrófico varía también. Sin embargo, se exponen las siguientes razones para estructurar este esquema:

1. En términos generales las primeras capas del catastrófico no varían ni en capacidad ni en costo.
2. En general, para las compañías colombianas, la distribución del catastrófico se realiza entre cuatro y cinco capas como máximo. Esto no significa que no existan distribuciones de mas capas.
3. El impacto en el costo de reaseguro es evidente en las capas superiores, donde la probabilidad es muy baja y el costo se reduce considerablemente.

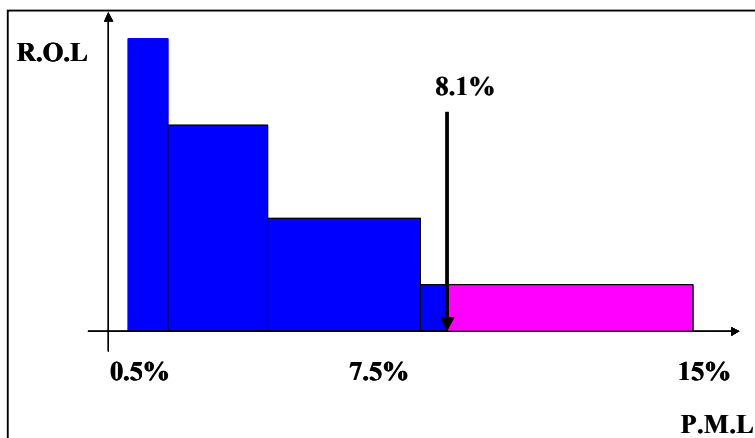


Fig. 22. Esquema del cálculo del sobre-costo en valor del XL

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para cada año, a precios constantes de 2001.

TABLA DE AHORRO EN MILLONES	
AÑO	PML 8.1%
1993	31.648
1994	90.437
1995	134.213
1996	126.432
1997	137.919
1998	134.318
1999	134.021
2000	202.006
2001	288.118

NOTA: Sin indexar

TABLA DE AHORRO EN MILLONES	
AÑO	PML 8.1%
1993	99.015
1994	230.803
1995	286.727
1996	222.070
1997	205.852
1998	171.759
1999	156.897
2000	217.459
2001	288.118
TOTAL	1.878.701

NOTA: Precios constantes de 2

Tabla 8. Montos del ahorro por capas superiores

La tabla de inflación con que se calcularon los costos a precios constantes del 2001 va se relaciona en el [anexo 2](#).

Según este procedimiento y las suposiciones realizadas a lo largo del presente trabajo, el sobre costo por la variación del PML del 15% al 8.1% es del orden de \$1.878.701 millones de pesos, es decir cerca de \$1.8 billones de pesos, para el sector asegurador colombiano durante los últimos nueve años.

5.2 ANALISIS RETROSPECTIVO CON BASE EN EL MERCADO MEXICANO.

En Latinoamérica el único país que a nivel de ente de regulación y control, ha implementado los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo ha sido México. Esta implementación se realizó en un 100% desde el año de 1995. En épocas anteriores la compra del reaseguro catastrófico se realizaba de manera similar a como se hace en la mayor parte de países, es decir, con un PML fijo.

En el caso de México el PML estaba dispuesto en un 12% por mandato de la Ley. Este porcentaje, después de una serie de estudios llevados a cabo por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México, UNAM, demostró unos niveles de pérdida máxima menores, del orden del 7%. Con la utilización formal de estos sistemas, reglamentados por el ente regularor, bajó aún más hasta alcanzar los niveles que se utilizan hoy en día que está entre el 4% y el 6%, dependiendo de la composición de la cartera de la compañía.

Lo anterior constituyó, sin lugar a dudas, una ventaja técnica para las compañías mexicanas que generó una reducción paulatina del costo del reaseguro de sus carteras. Lo anterior puede inferirse claramente de la gráfica del R.O.L para el mercado mexicano.

Al observar la gráfica de los R.O.L, se observa que ha existido una proporcionalidad entre los precios de ambos mercados –el colombiano y el mexicano- durante los años previos a la implementación de los sistemas de evaluación de pérdidas, que empieza a perderse desde el año 1995.

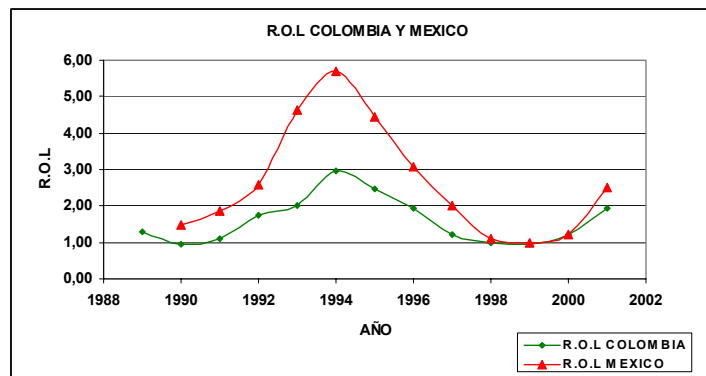


Figura 23. R.O.L México y Colombia

La suposición de que este comportamiento se debe a la utilización de los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo, se basa en que, aún cuando los mercados cambian en el tiempo, los riesgos, desde el punto de vista del reaseguro, mantienen en mismo nivel de exposición. La reducción del costo en el mercado mexicano no se debió a que se haya disminuido el riesgo de terremoto o el riesgo de huracán; esta reducción, como se infiere, se debe al impacto de la utilización de los SEPS.

En este orden de ideas, con base en la información disponible en ambos mercados, es posible inferir el comportamiento del mercado colombiano, haciendo uso de un análisis probabilístico.

Este tipo de análisis se puede realizar con métodos de regresión que permiten encontrar la relación entre dos variables aleatorias (o al menos una de ellas aleatoria), para inferir el comportamiento de una respecto de la otra, con base en las observaciones realizadas de las mismas.

Existen varios métodos de regresión. Para este análisis se tomaron en cuenta la totalidad de los métodos más utilizados en probabilidad:

- Método lineal.
- Método cuadrático.

- Método cúbico.
- Método exponencial.
- Método logarítmico.
- Modelo S.

Las siguientes ecuaciones describen a cada uno de los métodos de regresión utilizados:

METODO	ECUACION
Lineal	$y = \beta_0 + \beta_1 x$
Cuadrático	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$
Cúbico	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3$
Potencial	$y = \beta_0 x^{\beta_1}$
Logarítmico	$y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$
Exponencial	$y = \beta_0 e^{(\beta_1 x)}$
Modelos S	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 / x)}$

Donde β_0 , β_1 , β_2 , β_3 son los coeficientes de regresión.

Para cada uno de los modelos se encontraron los valores de los coeficientes de regresión de cada una de las ecuaciones, el coeficiente de correlación múltiple R y el coeficiente de determinación R^2 .

El coeficiente de correlación múltiple es de especial consideración ya que entrega el porcentaje de datos que no se tuvieron en cuenta en el método de regresión utilizado, es decir, si el coeficiente de correlación múltiple es de 0.88, significa que el 12% de los datos ($1-R^2$), no se tuvieron en cuenta en el método de regresión que se usó.

RESULTADOS REPRESENTATIVOS DE LA REGRESION					
Modelo/resultados	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2
Lineal	0,3744	0,4315	N.A.	N.A.	0,913
Cuadrática	0,3194	0,4705	-0,0056	N.A.	0,914
Cúbica	-2,0257	2,8565	-0,7119	0,0637	0,947
Potencial	0,7104	0,7895	N.A.	N.A.	0,937
Logarítmica	0,3527	1,3465	N.A.	N.A.	0,909
Exponencial	0,734	0,2472	N.A.	N.A.	0,899
Modelo S	1,3389	2,1562	N.A.	N.A.	0,939

Tabla 9. Valores representativos de la regresión

De acuerdo con el valor de los coeficientes de correlación encontrados, el modelo de regresión más apropiado fue el cúbico, ya que tan solo el 5.3% de los datos no contaron en la regresión. Con estos valores se obtiene el comportamiento estimado del mercado colombiano con base en la información del mercado mexicano así:

$$y = -2.0257 + 2.8565x - 0.7119x^2 + 0.0637x^3 \quad (5)$$

Donde Y es la variable dependiente, que en nuestro caso es el R.O.L estimado para Colombia y X es la variable independiente que es el R.O.L mexicano.

Con esta ecuación los nuevos valores de R.O.L estimados para Colombia se muestran en la tabla No. Tal. Su representación gráfica se relaciona en la gráfica No. Tal.

Con estos nuevos valores de R.O.L para Colombia se calculó el ahorro en la compra del reaseguro catastrófico para los años 1995 a 2001 con base en la tabla resultante. Estos nuevos valores se relacionan en la tabla No. Tal.

Año	R. O. L. Observados		R.O.L INFERIDO
	México X	Colombia Y	Y cúbico
1990	1,5	0,95	0,87
1991	1,85	1,1	1,23
1992	2,6	1,75	1,71
1993	4,65	2	2,27
1994	5,7	2,95	2,92
1995	4,45	2,45	2,20
1996	3,09	1,95	1,88
1997	2	1,2	1,35
1998	1,1	1	0,34
1999	1	0,95	0,18
2000	1,2	1,2	0,49
2001	2,5	1,95	1,66
2002	3,05	3,05	1,87

Tabla 10. Nuevo R.O.L para Colombia

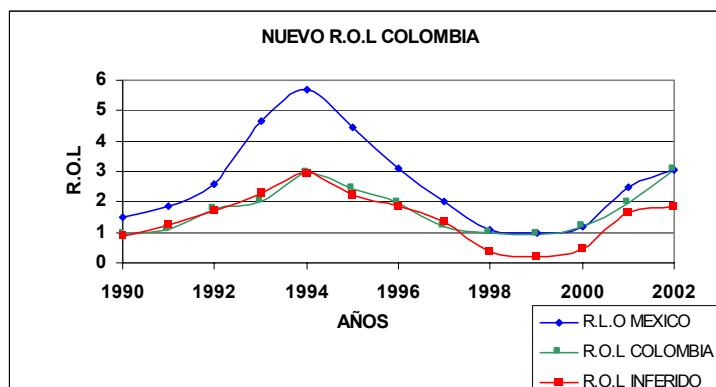


Figura 24. Nuevo R.O.L Colombia

AÑO	R.O.L COLOMBIA	NUEVO R.O.L COLOMBIA	15% DE PML	8,1% DE PML	COSTO 15% PML	COSTO 8,1% PML	AHORRO
1995	2,45	2,20	961.381	519.146	23.554	11.430	12.124
1996	1,95	1,88	1.265.409	683.321	24.675	12.867	11.809
1997	1,20	1,35	1.833.209	989.933	21.999	13.357	8.641
1998	1,00	0,34	2.401.009	1.296.545	24.010	4.406	19.604
1999	0,95	0,18	2.988.201	1.613.629	28.388	2.946	25.441
2000	1,20	0,49	3.414.768	1.843.974	40.977	8.981	31.996
2001	1,95	1,66	3.487.451	1.883.223	68.005	31.290	36.716
							146.332

Tabla 11. Ahorro por nuevo R.O.L sin indexar

El ahorro se calculó en 146.332 millones de pesos que traídos a valor presente, es decir, indexando los valores por año, se puede observar que:

AÑO	AHORRO	INDICE	AHORRO PRECIOS CONTANTES
1995	12.124	1,1946	30.942
1996	11.809	1,2163	25.228
1997	8.641	1,1768	15.178
1998	19.604	1,1672	29.260
1999	25.441	1,0923	32.533
2000	31.996	1,0875	37.458
2001	36.716	1,0765	39.525
			210.123

Tabla 12. Ahorro en el costo del catastrófico a precios constantes del 2001

El ahorro en el costo del reaseguro catastrófico, desde 1995 hasta el 2001, podría haber alcanzado, manteniendo la proporcionalidad que se venía trabajando con el mercado mexicano, los 210.000 millones de pesos.

6. PROPUESTA DE REGULACION DEL RAMO DE TERREMOTO, UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE EVALUACION DE PERDIDAS POR SISMO

Se ha demostrado la utilidad de los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo y se ha visto que el 15% de PML que la Ley colombiana obliga a comprar en catastrófico debe ser revisado.

Sin embargo, la implementación de los resultados que arroja este tipo de sistemas no puede realizarse sin el permiso del ente regulador. Es necesario recordar que, como sucede en casi todo el mundo, el sector asegurador esta vigilado por el estado.

Por esta razón, para complementar el trabajo que se ha relacionado a lo largo de este documento, se elaboró una propuesta hipotética dirigida al organismo de control, en este caso la Superintendencia Bancaria de Colombia, a manera de esquema general de regulación que contempla la utilización de los mencionados sistemas y de sus resultados.

El diseño de la propuesta inicia con la exposición de una serie de razones por la cuales el ente de vigilancia y control debería adoptar un esquema como el propuesto. Las razones son de dos tipos. Las primeras de orden técnico y las segundas de orden económico. Seguidamente se aborda la propuesta en sí, relacionando los conceptos técnicos básicos de sismicidad para determinar la pérdida y los esquemas de regulación que se proponen.

6.1 RAZONES DE ORDEN TÉCNICO PARA REESTRUCTURAR EL MANEJO DEL RAMO DE TERREMOTO EN COLOMBIA

- Los ramos de daños tienen una base técnica que hace viable su operación. La probabilidad de ocurrencia de un evento aplicado a un universo determinado de elementos expuestos, junto con la ley de los grandes números, hace posible la

operación del seguro. El ramo de Terremoto, a pesar de su naturaleza catastrófica, no es una excepción a esta premisa.

- Dicho ramo carece en Colombia de un estudio que permita establecer los parámetros básicos que rigen el manejo de cualquier otro ramo (estudio actuarial, por ejemplo).
- En el país, el sector asegurador trabaja el riesgo de Terremoto como una relación del valor retenido por cuenta de la compañía aseguradora *versus* el costo de una cobertura del 15% de Pérdida Máxima Probable (PML) sobre dicha retención, en la zona de mayor acumulación.
- No existe un estudio de orden técnico-científico que soporte el 15% de PML. Esto se debe a que, en su momento, no existía ni el conocimiento ni la información ni la tecnología para el manejo de dicha información, necesaria para estimar susodicha pérdida.
- Estudios sobre la sismicidad de las ciudades (microzonificaciones sísmicas), lo mismo que herramientas computacionales capaces de determinar el máximo daño probable se encuentran, hoy por hoy, a disposición de los aseguradores. Es una responsabilidad ética y técnica utilizar estas herramientas.
- El PML de una cartera de Terremoto no es un número fijo. Es función de los tipos de riesgos que conforman dicha cartera -su vulnerabilidad estructural- y de la sismicidad de la zona donde el riesgo se encuentra ubicado.
- Debido a que no existe un estudio técnico para el manejo del ramo, la determinación de las primas puras de riesgo es empírica. Por lo tanto, la determinación de las reservas de riesgos en curso y la catastrófica no tienen una base técnica para su constitución.

- Un estudio piloto de orden técnico realizado por FASECOLDA, utilizando el estado del arte en software para la determinación del PML de terremoto y la información de la sismicidad de Bogotá D.C., ha demostrado que, para las compañías que facilitaron el análisis de su cartera, el PML oscilaría alrededor del 8%.

6.2 RAZONES DE ORDEN ECONÓMICO PARA REESTRUCTURAR EL RAMO DE TERREMOTO EN COLOMBIA

- El costo de las coberturas catastróficas de reaseguro es una cantidad de dinero que sale del país. El estudio piloto realizado por FASECOLDA muestra, en primera instancia, que dichos costos podrían reducirse considerablemente, en caso de confirmarse las cifras del estudio piloto mencionado. Esto supone una disminución del recurso que sale al exterior.
- Dado que el mercado reasegurador ha entrado en un ciclo de claro endurecimiento de los costos para los ramos catastróficos, al momento de transcribir este documento, los aseguradores han debido incrementar, a su vez, las tarifas a los asegurados.
- Una disminución en el costo del reaseguro se vería reflejada en la disminución del costo para el asegurado. Es bien conocida la necesidad de que el mayor número de bienes inmuebles estén asegurados contra Terremoto en el país. Esto se traduciría en una disminución de la responsabilidad económica y social que genera un evento catastrófico para el Estado y permite que la recuperación de la zona afectada se agilice, tal como sucedió en el mencionado sismo del Eje Cafetero.

- Es necesario, por lo tanto, acercar el costo de este seguro a las capacidades del consumidor, sobretodo cuando en Colombia el seguro de Terremoto es obligatorio para el respaldo de las deudas hipotecarias y para las zonas comunes de propiedad horizontal.

6.3 PROPUESTA

Como se mencionó, la propuesta que se expone en este proyecto estaría dirigida al ente regulador de las compañías aseguradoras del país que en nuestro caso es la Superintendencia Bancaria. Es necesario anotar que la propuesta contempla exigencias adicionales a las que en este momento existen al sector asegurador.

La propuesta se basa en los siguientes puntos:

- a. Permitir a las compañías de seguros la utilización de los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS), para analizar sus carteras de terremoto mediante valoraciones periódicas que la Superintendencia señale.
- b. Permitir a las compañías de seguros utilizar los resultados de Pérdida Máxima Probable, provenientes del análisis de sus carteras de terremoto realizados mediante un SEPS, para la compra de los reaseguros catastróficos.
- c. Utilizar los resultados de prima pura de riesgo, provenientes del análisis de sus carteras de terremoto realizados mediante un SEPS, para constituir las reservas de riesgos en curso y las reservas de desviación de la siniestralidad (reservas catastróficas).
- d. Implementar un Margen de Solvencia específico para el ramo de Terremoto.

A continuación se presenta a manera de algoritmo el esquema general de la propuesta y una breve explicación de cada una de sus etapas. El resto

del documento aborda con mayor detalle cada uno de los pasos esquematizados.

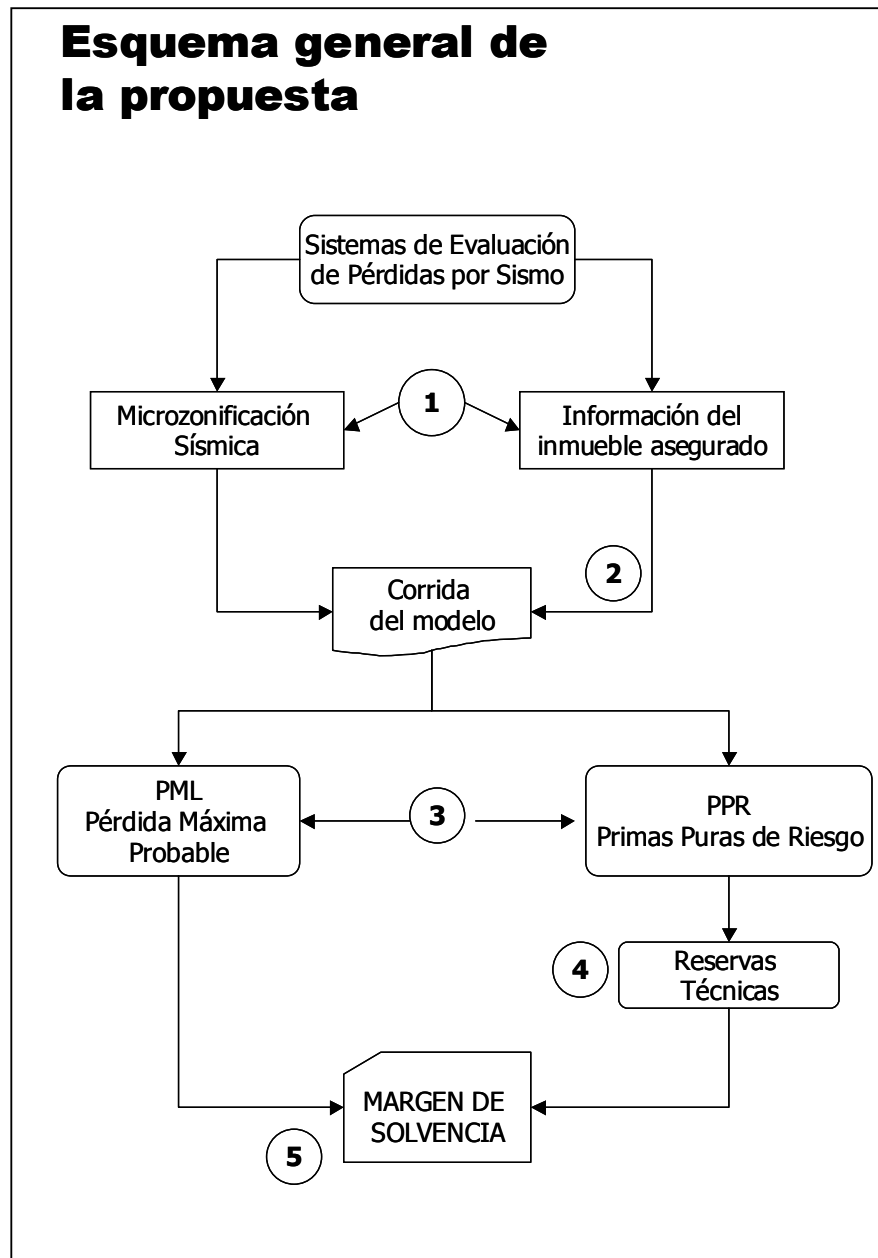


Fig. 25. Algoritmo de la propuesta

6.3.1 Esquema general de la propuesta

La propuesta se ha representado en un esquema general para su visualización. Este algoritmo pasa por cinco etapas claramente identificadas. Estas etapas son:

6.3.1.1 Etapa 1. Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS)

Esta es la etapa inicial del esquema propuesto para reestructurar el ramo de Terremoto y piedra angular de la propuesta. Como se ha expuesto, los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo son apropiados si cuentan con la información de la sismicidad del país, siendo la más representativa la que se refiere a la respuesta local del suelo (Microzonificación Sísmica) de las diferentes ciudades del territorio Nacional y si tienen en cuenta, además, la información de las características estructurales del bien asegurado. Técnicamente se reúnen los datos de Amenaza Sísmica y de Vulnerabilidad Estructural que, a la postre, son los elementos esenciales en la evaluación del peligro sísmico.

6.3.1.2 Etapa 2. Corrida del Modelo

Se ha hecho una caracterización de esta etapa para hacer hincapié en la necesidad de contar efectivamente con la información adecuada de los inmuebles que conforman la cartera de Terremoto de la compañía. Debido al volumen de datos que se pueden llegar a manejar, la compañía debe realizar un trabajo concienzudo en la conformación, mantenimiento y permanente actualización de dicha información, de manera que los resultados de la corrida del modelo sean confiables y representativos.

6.3.1.3 Etapa 3. PML y Prima Pura de Riesgo

La corrida del modelo arroja dos datos de suma importancia. La Pérdida Máxima Probable (PML) y la Prima Pura de Riesgo (PPR).

Respecto del PML, como se ha dicho, la propuesta gira en torno a permitir la compra del reaseguro catastrófico con base en estas estimaciones de pérdida. La Prima Pura de Riesgo, como su nombre lo indica, se refiere a la prima técnica de la póliza. Esta estimación se convierte en una herramienta técnica básica para la determinación de la prima comercial y para la constitución de las reservas.

6.3.1.4 Etapa 4. Constitución de Reservas Técnicas

La determinación de las Primas Puras de Riesgo para Terremoto es una información valiosa para la constitución de las reservas técnicas debido a que éstas se deben conformar con los valores de pérdida esperada (prima pura). Las reservas técnicas a que hace referencia la propuesta son las de riesgos en curso y la catastrófica.

6.3.1.5 Etapa 5. Margen de Solvencia

El margen de solvencia para el ramo de Terremoto es un mecanismo que se diseñó con el propósito de mejorar el manejo técnico del ramo utilizando las ventajas que ofrece la utilización adecuada de los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo. El modelo de Margen de Solvencia Propuesto se basa en el de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas de México.

6.4 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR SISMO (SEPS)

Los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS), como su nombre lo indica, se utilizan para realizar el análisis técnico de la cartera de terremoto de una compañía de seguros. Estos sistemas trabajan con la información técnica de la sismicidad de la zona donde la cartera está distribuida (País, región, ciudad), la información de las características estructurales del inmueble y/o contenido que conforman dicha cartera (altura, sistema estructural, material en que está construida, etc.) y la información de la póliza que cubre dicho inmueble y/o contenido (valor asegurable, valor asegurado, deducible, coaseguro, etc.)

Los objetivos principales de los SEPS propuestos son:

- a. El cálculo de las *pérdidas máximas probables* por sismo en carteras de edificaciones localizadas en la República de Colombia.
- b. El cálculo de *primas puras de riesgo* sísmico para carteras de edificaciones localizadas en la República de Colombia.

6.4.1 Conceptos que manejan los SEPS

Para el cálculo de las pérdidas máxima probable y las primas puras de riesgo de una cartera de terremoto, los SEPS trabajan con los siguientes conceptos y definiciones:

6.4.1.1 Prima Pura de Riesgo.

Se define como prima pura de riesgo (PPR) a la pérdida neta anual esperada en una cartera de edificaciones, como resultado de la ocurrencia de todos los sismos que

potencialmente afecten a dichas edificaciones. Esta cantidad se mide en unidades monetarias.

En la definición anterior, el concepto “esperada” se refiere a la esperanza matemática o valor medio de las pérdidas, haciendo intervenir todas las incertidumbres que afecten su cálculo. En los incisos siguientes se detallarán las incertidumbres que será necesario considerar.

En la definición de prima pura de riesgo, el concepto “neta” se refiere a las pérdidas a cargo de las Compañías de Seguros, es decir, las que resultan de descontar, a las pérdidas totales o brutas, los efectos de deducible, coaseguro, límite de responsabilidad y tipo de agrupación. Estos conceptos se definen a continuación:

6.4.1.2 Definición de pérdida máxima probable (PML)

Se define como pérdida máxima probable (PML) a un valor de pérdida económica neta que se excede, en promedio, una sola vez cada 1500 años. Para el cálculo de la PML también se harán intervenir todas las incertidumbres que este documento señala.

En la definición de PML, el concepto “neta” se refiere a las pérdidas a cargo de las compañías de seguros, es decir, las que resultan de descontar, a las pérdidas totales o brutas, los efectos de deducible, coaseguro, límite de responsabilidad y tipo de agrupación de las pólizas. Estos conceptos se definirán en los incisos siguientes.

6.4.1.3 Deducible, coaseguro y límite de responsabilidad.

El deducible, el coaseguro y el límite de responsabilidad, también conocido como límite de primer riesgo, son los mecanismos más comúnmente usados por las compañías para limitar sus pérdidas o lograr cierto grado de solidaridad del asegurado.

Se definen estos conceptos mediante la siguiente relación entre pérdidas brutas y pérdidas netas P_N :

$$P_N = \begin{cases} 0 & \text{si } P_B < D \\ (P_B - D)(1 - C) & \text{si } D \leq P_B < L \\ (L - D)(1 - C) & \text{si } P_B \geq L \end{cases} \quad (6)$$

donde

D = Deducible ($D < L$)

C = Coaseguro ($0 < C < 1$)

L = Límite de responsabilidad

P_N = Pérdida neta

P_B = Pérdida bruta

En general, P_N y P_B representarán pérdidas en una edificación o en una cartera de edificaciones dependiendo del tipo de póliza considerada, ya sea esta individual o que agrupe a un conjunto de bienes.

6.4.1.4 Tipos de pólizas que deben ser consideradas

En vista de los usos actuales del mercado asegurador, los SEPS deberán contemplar la posibilidad de evaluar pérdidas por sismo en, al menos, los tres tipos diferentes de pólizas que se denominarán individuales, agrupadas y semi-agrupadas. A continuación se especifica el funcionamiento de cada uno de estos tipos de póliza.

Pólizas individuales: En las pólizas individuales, cada póliza ampara exclusivamente a una edificación. Por este motivo, para calcular las pérdidas netas en una póliza individual se aplicarán los efectos de deducible, coaseguro y límite de responsabilidad

a esa sola edificación. En este sentido, los valores de D, C y L de la ecuación 9 se refieren a los correspondientes a la póliza que ampara a la edificación que se evalúa. En la Tabla 14 se presenta un ejemplo del cálculo de pérdidas netas a partir de pérdidas brutas en una cartera formada con pólizas individuales.

Cartera de pólizas individuales						
Pólizas	Valor del bien	Pérdida bruta en la edificación	Deducible (2%)	Coaseguro (20%)	Límite (80%)	Pérdida neta en la edificación
Póliza 1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00	\$ 100.00	0.2	\$ 4,000.00	\$ 3,120.00
Póliza 2	\$ 10,000.00	\$ 100.00	\$ 200.00	0.2	\$ 8,000.00	\$ -
Póliza 3	\$ 13,000.00	\$ 3,900.00	\$ 260.00	0.2	\$10,400.00	\$ 2,912.00
Póliza 4	\$ 65,000.00	\$ 6,500.00	\$ 1,300.00	0.2	\$52,000.00	\$ 4,160.00
Póliza 5	\$ 95,000.00	\$76,000.00	\$ 1,900.00	0.2	\$76,000.00	\$ 59,280.00
SUMAS	\$188,000.00	\$91,500.00				\$ 69,472.00
%	100.0%	48.7%				37.0%

Tabla 13. Ejemplo de cálculo de pérdidas netas en una cartera de pólizas individuales

Nótese cómo la pérdida neta en la cartera resulta simplemente de sumar las pérdidas netas en las cinco edificaciones. Estas pérdidas, a su vez, se calculan aplicando deducibles, coaseguros y límites a cada edificación por separado.

Pólizas agrupadas: En este caso, una póliza ampara a varias edificaciones y tanto deducible como coaseguro y límite individual se aplican sobre la suma de las pérdidas brutas de todas las edificaciones que compongan la cartera. En este sentido, los valores de P_N y P_B en la ecuación 9 se refieren a la suma de las pérdidas netas y brutas, respectivamente, de la póliza agrupada que ampara a varias ubicaciones. En

la Tabla 15 se presenta un ejemplo de cálculo de pérdidas netas en una póliza agrupada.

Póliza agrupada						
Póliza única	Valor del bien	Pérdida bruta en la edificación	Deducible (2%)	Coaseguro (20%)	Límite (80%)	Pérdida neta en la edificación
	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00	N/A	N/A	\$ 4,000.00	N/A
	\$ 10,000.00	\$ 100.00	N/A	N/A	\$ 8,000.00	N/A
	\$ 13,000.00	\$ 3,900.00	N/A	N/A	\$ 10,400.00	N/A
	\$ 65,000.00	\$ 6,500.00	N/A	N/A	\$ 52,000.00	N/A
	\$ 95,000.00	\$76,000.00	N/A	N/A	\$ 76,000.00	N/A
Total póliza	\$188,000.00	\$91,500.00	\$3,760.00	0.2	\$150,400.00	\$ 70,192.00
%	100.0%	48.7%				37.3%

Tabla 14. Ejemplo de cálculo de pérdidas netas en una póliza agrupada

Nótese cómo el efecto de deducible, coaseguro y límite se ha aplicado a la suma de pérdidas brutas. Las pérdidas netas para cada edificación no están definidas.

Pólizas semi-agrupadas: Como en el caso anterior, una póliza ampara a varias edificaciones, pero en este caso la pérdida se encuentra acotada por un límite de responsabilidad que se aplica sobre la suma de pérdidas individuales, netas de deducibles y coaseguros, que pueden ser variables de ubicación a ubicación.

Nótese que, primero, se han aplicado los efectos de deducible y coaseguro a cada ubicación y, luego, a la suma de estas pérdidas netas de deducible y coaseguro, se ha aplicado el efecto del límite de responsabilidad, que en el caso del ejemplo no se ha excedido.

Cartera semi-agrupada						
Póliza única	Valor del bien	Pérdida bruta en la edificación	Deducible (2%)	Coaseguro (20%)	Límite (80%)	Pérdida neta de deducible y coaseguro en la edificación
	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00	\$ 100.00	0.2	N/A	\$ 3,920.00
	\$ 10,000.00	\$ 100.00	\$ 200.00	0.2	N/A	\$ -
	\$ 13,000.00	\$ 3,900.00	\$ 260.00	0.2	N/A	\$ 2,912.00
	\$ 65,000.00	\$ 6,500.00	\$ 1,300.00	0.2	N/A	\$ 4,160.00
	\$ 95,000.00	\$76,000.00	\$ 1,900.00	0.2	N/A	\$ 59,280.00
Total Póliza	\$188,000.00	\$91,500.00			\$150,400.00	\$ 70,272.00
%	100.0%	48.7%				37.4%

Tabla 15. Ejemplo de cálculo de pérdidas netas en una póliza semi-agrupada

6.4.2 Cálculo de la prima pura de riesgo

Como se relacionó en capítulos anteriores, la P.P.R se calcula con la siguiente expresión, o cualquier otra que resulte analíticamente equivalente:

$$PPR = \sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NF} \int_{M_{oj}}^{M_{ij}} -\frac{d\lambda_j}{dM} E(P_i | M_j) dM \quad (7)$$

donde E(.) denota valor esperado y

- NC = número total de pólizas en la cartera. Como se explicó, éste numero no necesariamente es el número de edificaciones.
- $P_i|M_j$ = pérdida en la cartera i dado que ocurrió un sismo con magnitud M en la fuente j . Esta pérdida se calculará atendiendo al tipo de póliza, de acuerdo con las definiciones entregadas.
- NF = número total de fuentes sísmicas consideradas. El número y disposición de fuentes sísmicas será tal que éstas puedan considerarse fuentes puntuales.
- M_{oj} = magnitud mínima de análisis en la fuente j .
- M_{uj} = magnitud máxima que puede ocurrir en la fuente j .
- λ_j = tasa de excedencia de magnitudes en la fuente j .
- M = magnitud sísmica.

Para el cálculo de P_i se tendrá en cuenta que al ocurrir un sismo en la fuente j , las distancias focales a cada edificación son, en general, diferentes.

6.4.3. Cálculo de la pérdida máxima probable

De igual manera, para el cálculo de la PMP se toma en cuenta que la tasa de excedencia de valores de pérdida, $\nu(p)$, debe calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación, o cualquier otra que resulte analíticamente equivalente:

$$\nu(p) = \sum_{j=1}^{NF} \int_{M_{oj}}^{M_{uj}} -\frac{d\lambda_j}{dM} \Pr(P > p|M_j) dM \quad (8)$$

donde $\Pr()$ denota probabilidad, P se refiere a las pérdidas en toda la cartera, conformada generalmente por pólizas de los tres tipos y el resto de las variables tienen el mismo significado que en la ecuación 10.

Una vez determinada $\nu(p)$, la PMP será aquel valor de p cuyo periodo de retorno sea 1500 años, es decir, aquel valor de p para el que $\nu(p)=1/1500$.

6.4.4 Modelos de la ocurrencia de sismos

Fuentes sísmicas: El territorio sismogénico de Colombia y sus inmediaciones se dividirá en las fuentes sísmicas definidas en el estudio de zonificación sísmica de Colombia, que han sido obtenidas de acuerdo con consideraciones geo-tectónicas razonables y se ha dado a conocer mediante publicaciones de amplia aceptación en el medio.

Sismicidad: El territorio sismogénico de Colombia y sus inmediaciones se dividirá en fuentes sísmicas, de acuerdo con consideraciones geo-tectónicas razonables. Se recurrirá, preferentemente, a información publicada y de amplia aceptación en el medio. En caso de utilizar información diferente de la publicada, deberá hacerse una justificación por escrito ante la Comisión de Certificación que la Superintendencia Bancaria determine y de la que se habla más adelante en el presente documento y que hace parte del diseño de la propuesta.

Leyes de atenuación: Se asignarán a cada fuente sísmica parámetros de sismicidad que describan tanto la frecuencia de ocurrencia de sismos con magnitudes dadas como la distribución de probabilidad de sus magnitudes. Para ello se usarán modelos de sismicidad de amplia aceptación y parámetros publicados o determinados por métodos idóneos. En caso de utilizar información diferente de la publicada, deberá hacerse una justificación por escrito ante la Comisión de Certificación que la Superintendencia Bancaria determine.

6.4.5 Relaciones intensidad-daño

Se emplearán relaciones intensidad-daño racionales, basadas en principios ingenieriles claros y con sustento empírico adecuado. Se verificará, en particular, la aplicabilidad de las relaciones intensidad-daño usadas a las estructuras que comúnmente se encuentran en territorio colombiano.

Sólo se admitirán medidas de intensidad instrumentales, por lo que se excluyen explícitamente las relaciones intensidad-daño basadas en intensidades macrosísmicas.

Las relaciones intensidad-daño serán tratadas como inciertas, y las incertidumbres derivadas de su aplicación deberán incluirse formalmente en los cálculos de PPR y PML.

6.4.6 Correlación entre pérdidas

Como se aprecia en lo señalado en párrafos anteriores, existen diversas porciones del cálculo de PPR y PML en que es necesario determinar la distribución de probabilidad de la suma de pérdidas en muchas edificaciones; estas pérdidas, como se ha señalado, deben ser tratadas como variables aleatorias. En general, la varianza de la suma de variables aleatorias depende de la correlación entre ellas. En el desarrollo de un SEPS esta correlación deberá ser tomada en cuenta de manera razonable, justificando por escrito los criterios seguidos para tal efecto.

6.4.7 Proceso de certificación de los SEPS

Sólo los SEPS certificados por la Superintendencia Bancaria podrán ser utilizados por las compañías de seguros en las valoraciones oficiales de pérdidas ordenadas por ella.

Se propone que la Superintendencia Bancaria conforme una Comisión de Certificación, integrada por personal técnico idóneo, un representante de la Superintendencia bancaria y un representante del sector asegurador. Se recomienda que la Comisión de Certificación esté conformada por:

- Un representante de la Superintendencia Bancaria.
- Un representante de FASECOLDA.
- El director del Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano OSSO, de la Universidad del Valle.
- El director del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional.
- El presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.
- El presidente de la Sociedad Colombiana de Geotecnia.
- Un representante por institución o individuo que hayan desarrollado los SEPS vigentes.

Estos últimos con el propósito de hacer las observaciones que consideren pertinentes, dada su experiencia en el desarrollo de estos sistemas para el caso colombiano. En la decisión final, estos representantes no tendrán voto.

Los individuos o instituciones interesados en certificar un SEPS harán una solicitud por escrito a la Superintendencia Bancaria, acompañando la documentación técnica necesaria para que la Comisión de Certificación verifique el cumplimiento de los requisitos mínimos señalados en el presente documento. La documentación técnica deberá incluir explicaciones claras de los procedimientos y modelos empleados, así como todos los valores numéricos de los parámetros usados. Una vez conseguida la certificación, la documentación técnica anexa será considerada pública.

6.5 UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE Y PRIMA PURA DE RIESGO OBTENIDOS EN LOS SEPS.

A continuación se relaciona una metodología para la supervisión del ramo de terremoto, que utiliza los resultados de los cálculos de prima pura de riesgo y Pérdida Máxima Probable obtenidos por un SEPS. En algunos capítulos se adicionan unos comentarios del autor en letra cursiva con el propósito de hacer énfasis en el contenido y/o alcance de la propuesta.

6.5.1 Compra del reaseguro catastrófico

La compra del reaseguro de exceso de pérdida se propone como parte de la cobertura necesaria para cumplir con el requerimiento de solvencia que se especifica más adelante en este documento. *Observe que no queda explícito que debe ser el PML que arroja el SEPS, lo que puede llegar a reducir aún más el monto de reaseguro a comprar.*

6.5.2 Constitución de la reserva de riesgos en curso y la reserva catastrófica

La reserva de riesgos en curso se constituirá con el 100% de la prima pura de riesgo de la parte retenida de la cartera, calculada en un SEPS autorizado por la Superintendencia Bancaria. Esta reserva será liberada según el sistema de octavos vigente para el seguro de Terremoto.

La reserva de desviación de la siniestralidad se constituirá con el 100% de la prima pura devengada.

En este caso la constitución de reserva es particularmente exigente para el asegurador. Debido a que el 100% de la Prima Pura de Riesgo va directo a la reserva catastrófica, después de pasar por la reserva de riesgos en curso (un mero

formalismo), se convierte en un dinero que la aseguradora no puede tocar. Es necesario anotar que estas reservas están siendo vigiladas muy de cerca por la Superintendencia Bancaria y que existe una norma vigente respecto del régimen de inversiones de las mismas.

Si esta constitución de reservas va en deterioro del P&G de una compañía que explote el ramo de terremoto, puede diseñarse un mecanismo, similar al utilizado en el régimen de inversiones mencionado para las reservas catastróficas, en donde se iniciaría con un porcentaje del monto total de la Prima Pura de Riesgo, por ejemplo, un 60% y se incrementa anualmente en un porcentaje tal que en cinco años pueda ser el 100%.

Ahora bien, esta constitución de reserva catastrófica, basada en la Prima Pura de Riesgo desestimula la competencia desleal que pueda llegar a presentarse, debido a que si la suscripción tiene que hacerse con base en la mencionada Prima Pura, de suscribirse con una prima menor, la compañía tendrá sacar “de su bolsillo” el dinero necesario para garantizar la reserva. Esta situación, por ende, no es aconsejable desde ningún punto de vista.

Observe que la metodología que se propone en la regulación, no va en contra vía de la libertad de competencia para el sector asegurador, emanada de la Ley 45 de 1990, ya que no obliga a la compañía en ningún aspecto en sus políticas tarifarias. Lo que haría el ente regulador es vigilar que las reservas sean bien constituidas.

6.5.3 Margen de Solvencia para el Ramo de Terremoto

A continuación se explica la propuesta de crear un margen de solvencia para el ramo de Terremoto. Este esquema, similar al utilizado por la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas de México; explota de mejor manera las ventajas de utilizar los Sistemas de Evaluación de Pérdidas por Sismo (SEPS) y redundante en un manejo más técnico de

las reservas catastróficas y las coberturas de exceso de pérdida que las compañías de seguros están obligadas a comprar para proteger su cartera.

6.5.4 Requerimiento de Solvencia (RS)

La cantidad de dinero que una compañía de seguros debe acreditar ante la Superintendencia Bancaria para poder explotar el ramo de Terremoto se define como la pérdida máxima probable (PML) obtenida analizando su cartera en un SEPS debidamente autorizado.

Esta noción del margen de solvencia es una clara vía libre a los sistemas de evaluación de pérdidas por sismos. Si el PML es determinado con base en estudios técnicos que indican un máximo nivel de daño, es razonable suponer que el límite superior de un margen de solvencia para el ramo, venga determinado por este valor.

6.5.5 Acreditación del requerimiento de solvencia

La compañía de seguros debe acreditar el requerimiento de solvencia utilizando, la cobertura catastrófica afectada XL_a , las reservas catastróficas y el patrimonio de la compañía. La cobertura catastrófica afectada se define como el valor cubierto por el contrato de reaseguros de exceso de pérdida, en la porción retenida por la compañía y según el PML promedio de los últimos tres (3) años determinado en el SEPS, afectada por un factor que depende de la calificación otorgada al reasegurador, según la tabla 15. Si la cedente contrata con más de un reasegurador, la cobertura catastrófica afectada será igual a la sumatoria de las coberturas catastróficas individuales afectadas por el factor correspondiente a la calificación de la reaseguradora con que se realice el contrato.

$$XL_a = \sum_{i=1}^n XL_{c_i} \times F_i \quad (9)$$

F_i , es un factor que afecta el valor cubierto por el catastrófico y está en función de la calificación que se le asigne a la reaseguradora. Ver tabla del factor de ajuste.

$$\text{En ningún caso } XL_a > RS \quad (10)$$

Las reservas catastróficas que se utilizarán para acreditar el requerimiento de solvencia serán las constituidas por la aseguradora a la fecha de la evaluación.

Si la compañía demuestra que

$$RT1 \geq XL_a + RC_a + \text{Capital} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{empresa} \quad (11)$$

Se considera que cuenta con la suficiente solvencia para trabajar el ramo de Terremoto.

Calificación	Standard & Poors	A.M. Best	Duff & Phelps	Moody's	Fitch Ibca	Factor de ajuste
Superior	AAA	A++,A+	AAA	Aaa	AAA	0.95
Excelente	AA+,AA,AA-	A,A-	AA+,AA,AA-	Aa1,Aa2,Aa3	AA+,AA-	0.90
Muy bueno/bueno	A+,A, A-	B++,B		A1,A2,A3	A+, A, A-	0.85
Adecuado	BBB+,BBBBBB-		BBB+,BBBBB B-	Baa1,Baa2Ba a3	BBB+,BB BBBB-	0.80

Tabla 15 . factor de ajuste de las coberturas XL

Esta es la parte más importante de la propuesta que se ha diseñado. Observe que para acreditar el margen de solvencia (que es el PML), se deben sumar, la reserva catastrófica, la cobertura catastrófica que la compañía compre y de ser necesario, patrimonio de la compañía.

Desde el punto de vista del asegurador colombiano, este esquema es atractivo y bastante confiable. Observe que las reservas catastróficas dejan de ser un pasivo (en el Plan Unico de Cuentas, PUC, las reservas aparecen como un pasivo de la compañía, aunque con la anotación especial de ser recursos de los que la compañía puede hacer uso según si se cumplen las condiciones para ello) para convertirse en un elemento activo en el margen de solvencia propuesto.

Ahora bien, observe que la cobertura de reaseguro XL a comprar se reduce en la misma cantidad en que esté constituida la reserva catastrófica. Si se mantuviera hipotéticamente el PML que se determinó en el estudio piloto de FASECOLDA, la cantidad de cobertura XL a comprar sería aún menor al 8.1% determinado.

Otra particularidad que se advierte en esta propuesta es que el PML que se utiliza para establecer el monto de dinero que la compañía debe acreditar, es el promedio de los últimos tres años. Esto se entiende debido a que, por salidas y entradas de negocios grandes en las carteras de terremoto, el PML puede variar también. El promedio amortigua, si cabe el término, esta posible fluctuación. Como observación adicional a esta parte de la propuesta, es necesario anotar que un límite en esta fluctuación debería imponerse, si éste llegara a desviar considerablemente el promedio, tanto porque el último PML sea considerablemente grande o bastante pequeño.

La cobertura XL afectada estimula la utilización de reaseguradores calificados. Observe que a mejor calificación, el índice de afectación se acerca a la unidad, disminuyendo su efecto sobre el monto de la cobertura, en la operación matemática de la acreditación del margen de solvencia.

Si se analiza con cuidado el esquema propuesto, se observa que con el tiempo, si bien el monto de dinero del PML aumenta –por el crecimiento normal de la cartera- también lo hace la reserva catastrófica. Es razonable pensar que con el tiempo, estas reservas

van a ser suficientes como para poder disponer de ellas. Este aspecto en particular debe manejarse con cuidado. El ente regulador no querrá que las reservas catastróficas sean liberadas, debido a que existe siempre una probabilidad (muy baja) de que el PML calculado sea inferior al PML real en caso de un evento extremo. Es aquí donde los sistemas deben ser lo suficientemente confiables para demostrar que, efectivamente, esta probabilidad es tan pequeña que puede crearse un mecanismo de liberación de la reserva.

Observe también que, al crecer la reserva, el monto de reaseguro a comprar también disminuye con el tiempo.

6.5.6 Liberación de la reserva catastrófica

La reserva catastrófica se podrá liberar, previa autorización de la Superintendencia Bancaria, en las siguientes circunstancias:

- a. Para el pago de siniestros de terremoto.
- b. Para el pago de siniestros, en caso de incapacidad de pago por parte del reasegurador.
- c. Para cubrir el costo de reinstalación de las coberturas XL, en un evento catastrófico de terremoto.
- d. Cuando el valor de la reserva alcance el 90% del PML promedio de los últimos cinco años. Este PML se refiere a aquel encontrado en un análisis de la cartera de la compañía en un SEPS autorizado por la Superintendencia Bancaria.

La Reserva de Riesgos Catastróficos no podrá afectarse para compensar una pérdida técnica o neta, que se origine por el cobro de primas insuficientes en el ramo de Terremoto por parte de una institución de seguros.

Observe que la reserva catastrófica sigue teniendo un carácter especial en su mantenimiento. Es necesario aclarar que en caso de un siniestro, la reserva es lo último que se afecta ya que entra la cobertura XL. Esto puede no ser muy agradable al asegurador. No solo el monto a cubrir se ha reducido, sino que esta en una "primera capa" de ese esquema. A este raciocinio se puede alegar, una vez mas, que se evalúe la probabilidad de excedencia del sismo que puede producir esa pérdida. Muy seguramente esto redundará en beneficio del reasegurador.

6.5.7 Límite de Responsabilidad

El límite de responsabilidad por póliza con cobertura de Terremoto no debe exceder el 5% del Patrimonio Técnico de la compañía.

El límite de responsabilidad es una medida que evita la superconcentración del riesgo, tal y como lo establece el Régimen de Seguros.

7. CONCLUSIONES

El proyecto se dividió en cuatro etapas claramente definidas, que fueron:

- a. La determinación del riesgo sísmico y su importancia en los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo.
- b. Los resultados de una simulación de las carteras de terremoto de 19 compañías de seguros.
- c. El impacto sobre el costo del reaseguro, mediante un análisis retrospectivo, por la utilización de este tipo de sistemas.
- d. El diseño de una propuesta de regulación del ramo de terremoto, con base en los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo.

Las conclusiones dividieron, igualmente, en cuatro partes así:

Respecto del riesgo sísmico y su influencia en los SPES:

1. Es claro que el riesgo sísmico debe evaluarse teniendo en cuenta los dos aspectos que se explicaron ampliamente: La amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural. La amenaza sísmica tiene que ver con la sismicidad de la zona donde se encuentra el riesgo, la vulnerabilidad estructural tiene que ver con la capacidad que tiene una estructura para soportar los movimientos sísmicos.
2. Con base en lo anterior, una zona de alta sismicidad no conduce necesariamente a un mal riesgo. Si la estructura fue diseñada para soportar ese tipo de intensidad sísmica, el riesgo puede llegar a ser muy pequeño.
3. En una ciudad, debido al comportamiento de los suelos, se puede presentar un amplio abanico de sismicidad. Es decir, que para un sismo, las magnitudes de las aceleraciones de los suelos difieren en gran proporción de un lugar a otro. Esto explica porqué estructuras similares en diseño y construcción, y ubicadas

en diferentes sitios (aún separadas por decenas de metros), pueden presentar diferentes niveles de daño.

4. Para evaluar el riesgo sísmico de una cartera de terremoto de una compañía de seguros, es necesario abordar el riesgo sísmico utilizando estos dos criterios. La amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural.
5. Realizar este cálculo no es sencillo. Requiere de la información de la sismicidad y de un algoritmo que relacione este movimiento sísmico con la estructura y la deformación que esta puede presentar. Se debe anotar que la deformación de la estructura se traduce en daño y éste, a su vez, en costo para la aseguradora.
6. Como el cálculo debe hacerse riesgo por riesgo, se requiere de un sistema de software adecuado para hacer la labor. Estos son los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo.
7. Si los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo no cuentan con la información de la sismicidad de la zona de estudio o no tiene información representativa de la vulnerabilidad de las estructuras tipo de la misma zona, el resultado sobre la pérdida puede estar lejos de la realidad.

Respecto del estudio de simulación de las carteras de terremoto de las compañías de seguros:

1. Más de 258.000 datos fueron analizados y diecinueve compañías de seguros participaron en dicho estudio. Los datos corresponden a inmuebles localizados en Bogotá D.C., ciudad que representa el mayor cúmulo para gran parte de las compañías. Por lo anterior el estudio cuenta con una información representativa de la situación de las carteras de terremoto de las compañías nacionales.
2. Los riesgos analizados corresponden a edificaciones de 4 pisos en promedio, con una mayor ubicación relativa en la zona 3 de Bogotá (de acuerdo con el estudio de Microzonificación sísmica de la ciudad), el tipo estructural dominante es el de pórticos de concreto reforzado, los valores asegurados están en mayor

parte, ubicados en el rango entre \$10' y \$80' y los valores retenidos son, en general, inferiores a \$10'.

3. Las primas puras estimadas de las compañías varían en general, entre 1 y 4.74 al millar para valores asegurados, y entre 1.2 y 4.75 al millar para valores retenidos. Estas variaciones reflejan los distintos niveles de riesgo asociados a cada cartera. Las primas puras promedio de mercado resultaron ser de 1.5 y 1.7 al millar para riesgos totales y a retención, respectivamente en la cartera hipotética total. Para la muestra representativa los valores son de 1.27 al millar para riesgos totales y de 1.33 al millar para la porción retenida por las compañías.
4. En términos generales, los índices de concentración de las carteras son elevados pero no excesivos. Esto indica que los riesgos están relativamente bien distribuidos y que los siniestros futuros no estarán caracterizados por unas cuantas pérdidas bastante elevadas sino, probablemente, por numerosas pérdidas moderadas y bajas.
5. El PML para un período de retorno de 1500 años fue de 8.1%, inferior al 15% que se estipula en el Régimen de Seguros. En términos técnicos existe una sobre-compra en las coberturas catastróficas.
6. El PML que arrojó el estudio indica que la reglamentación sobre la compra del 15% de los valores retenidos por las compañías de seguros debe revisarse. La revisión debe tener en cuenta que existen sistemas de evaluación sísmica con información representativa de la sismicidad local, capaces de estimar de una mejor manera, tanto las primas puras de riesgo como la pérdida máxima probable.

Respecto del análisis retrospectivo del impacto de la utilización de los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo en el costo de las coberturas catastróficas:

1. Con base en la información histórica de los costos por capa de las compras del reaseguro catastrófico de una compañía de seguros del país, parametrizadas con la información del Rate on Line promedio para el sector en esos mismos años, se encontró que el sobre-costo en la compra de dicho reaseguro fue del orden de \$1.8 billones de pesos (constantes al 2001).
2. Este sobre-costo se hizo bajo la hipótesis de que el PML se mantuvo fijo en 8.1% durante los años de 1993 a 2001.
3. Un segundo análisis se hizo tomando en cuenta el efecto que tuvo la implementación de estos sistemas en el mercado mexicano, que inició un esquema de regulación del ramo en 1995. Para este análisis el sobre-costo se calculo del orden de \$210.000 millones de pesos (constantes a 2001). Este análisis se realizó entre los año de 1995 a 2001.
4. Se observa que, teniendo como base el modelo mexicano, la implementación de los sistemas no tuvo un efecto inmediato en el costo del reaseguro. Por el contrario, este efecto se prolongó durante los primeros cuatro años, según se infiere de los Rate on Line promedio del mercado mexicano, comparado con los de los demás países. Debe recordarse que, a menos que existan circunstancias particularmente especiales al interior de un país para determinada cobertura, el reaseguro, dado su carácter internacional, se comporta de manera similar en los diferentes mercados del mundo.
5. Estos análisis demuestran que el impacto de estos sistemas en el costo de reaseguro es evidente y bastante alto en el tiempo.

Respecto del diseño de propuesta para regular el ramo de terremoto:

1. Debido a que el mercado asegurador es vigilado por el estado, la utilización de los resultados de PML y Prima Pura de Riesgo (PPR) obtenidos por los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo, no es viable si no es establecido por parte del ente de supervisión y control que, en Colombia, es la Superintendencia Bancaria.
2. Con base en el modelo de supervisión y control de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas de México, CNSF, se diseñó una propuesta para utilizar los sistemas de evaluación de pérdidas por sismo en las compañías, permitiéndoles comprar sus coberturas catastróficas y establecer las reservas técnicas correspondientes al ramo, según el análisis de su cartera con los mencionados sistemas.
3. La propuesta implementa un margen de solvencia para el ramo, donde el requerimiento lo establece el monto de PML que la compañía tenga en el análisis de su cartera. Este requerimiento, por lo tanto, es variable con el tiempo, como lo son las carteras mismas.
4. Este requerimiento de solvencia es cubierto con las reservas catastróficas que se hayan constituido hasta ese momento y las coberturas catastróficas contratadas. Este esquema es muy atractivo para las compañías de seguros dado que reduce aún más la compra de catastrófico.
5. Las reservas de terremoto deben ser constituidas con base en la prima pura de riesgo, ya que, como su nombre lo indica, es la parte del riesgo que efectivamente va a sufrir daño.
6. En opinión del autor, la reserva catastrófica no debería liberarse sino hasta que un tope del 90% del PML, debido a que, aun cuando la probabilidad de una desviación de la siniestralidad es muy baja, la afectación de varios riesgos importantes en el índice de concentración de la cartera puede afectar de manera peligrosa a la compañía.

