

## **Estimación de la Pérdida Máxima Probable PML en Lima y Callao:**

### **Aplicación a la Industria Aseguradora Peruana**

Olarte J.<sup>1</sup>, Aguilar Z.<sup>1</sup>, Zavala C.<sup>1</sup>, Román S.<sup>1</sup> y Escobar R.<sup>1</sup>

#### **Resumen**

Se presenta una metodología y procedimientos, que se realizan en el Perú por primera vez, para estimar la pérdida máxima probable (PML) para una cartera de edificaciones localizados en 42 distritos de Lima y Callao, que comprenden la amenaza sísmica regional, las condiciones locales de sitio, la estimación del daño de la edificaciones por tipología estructural y las tasas de excedencia de pérdidas. En base a estos resultados, una compañía puede determinar la constitución de la reserva catastrófica de manera confiable. Finalmente, se obtiene la pérdida máxima probable en función del periodo de retorno. En general, no existen un criterio estándar para medir el PML. Sin embargo, es recomendable tomar como referencia un periodo de retorno comprendido entre 500 y 2000 años.

**Palabras claves:** Pérdida máxima probable, PML, peligro sísmico, vulnerabilidad estructural, riesgo sísmico, Lima y Callao.

#### **1. Introducción**

Desde épocas remotas, las ciudades de Lima y Callao han sufrido a una serie de sismos de intensidad, durante los cuales en múltiples oportunidades han acaecido cuantiosos materiales y pérdidas de vidas humanas. La principal fuente generadora de eventos sísmicos afecta esta región es la zona de subducción, definida por la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Esta fuente puede generar eventos de gran magnitud, los históricos (Silgado, 1978), en la zona de la costa central pueden alcanzar los 8.2 grados en la escala de Richter. Los efectos de estos movimientos telúricos se ven incrementados por diferentes condiciones de sitio que se presentan en los distritos que conforman el área de estudio.

<sup>1</sup> Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, FIC-UNI. Av. Tupac Amaru 7-Sector T. Lima 25, Perú. Email: [jolarte@uni.edu.pe](mailto:jolarte@uni.edu.pe)

La pérdida máxima probable (PML) es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas sería razonable esperar en dicha cartera durante un tiempo de exposición dado. Depende de los riesgos individuales y de la distribución geográfica; el PML es grande si hay concentraciones importantes en lugares de alto riesgo sísmico, y es pequeño si la cartera está uniformemente distribuida en una gran área geográfica. Dado que el PML es la pérdida máxima que se puede esperar la aseguradora, si ésta no tuviera coberturas con reaseguradoras, las reservas de la aseguradora deberían de ser iguales a ese PML. En base a estos cálculos, una compañía puede determinar el nivel de exposición de manera confiable, y así establecer la planeación financiera y la constitución de la reserva catastrófica y de riesgos.

## 2. Objetivo

El objetivo de este estudio es calcular el nivel general de exposición de una cartera tomando como parámetro principal la estimación de la pérdida máxima probable (PML) en los distritos de la Lima y Callao utilizando la cartera de seguros contra terremoto de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG).

## 3. Amenaza sísmica

La amenaza sísmica, también conocida como peligro sísmico, se cuantifica en términos de periodos de retorno de intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras. La tasa de excedencia de una intensidad sísmica se define como el número medio de veces por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido. Es posible determinar el peligro sísmico contando las veces en que se han excedido valores dados de intensidad en una zona de interés. La primera parte que se investiga es la tectónica de la zona (figura N°1) y la sismicidad en una región determinada.

Empleando un modelo de distribución de sismicidad de Poisson la actividad de la  $i$ -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes,  $\lambda_i(M)$ , que se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan, en una fuente, temblores con magnitud superior a una dada. En estos casos, la sismicidad queda descrita por la siguiente ecuación:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}}$$

donde  $M_0$  es la mínima magnitud relevante.  $\lambda_0$ ,  $\beta$ , y  $M_u$  son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas.

La determinación de las fuentes sismogénicas se basa en el mapa de distribución de epicentros así como en las características tectónicas del área de influencia (Castillo, 1993). Esto nos permite agrupar a las fuentes en fuentes de subducción (interacción de placas) y fuentes continentales (actividad sísmica superficial).



**Figura N°1.** Distribución de la tectónica para la zona de estudio (Dorbath et al., 1990).

### 3.1. Análisis estadístico de recurrencia

La recurrencia de terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1958):

$$\text{Log } N = a - b M$$

donde:  $N$  = número de sismos de magnitud  $M$  ó mayor por unidad de tiempo.

$a, b$  = parámetros que dependen de la región.

La expresión anterior también se puede escribir como:

$$N = \Gamma_0 e^{-\beta M}$$

donde:  $\Gamma_0 = 10^a$  es el número de sismos por unidad de tiempo con  $M > 0$ .

$$\beta = b \times \ln 10.$$

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas calculado utilizando la magnitud  $M_s$ . Se calculó la siguiente relación entre las magnitud  $m_b$  y  $M_s$ :

$$m_b = 3.30 + 0.40 M_s$$

En el análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se utilizó el método de mínimos cuadrados, considerando los datos de 1963 a 1992.

### **3.2. Atenuación de las ondas sísmicas**

Para efectos del presente estudio, se utilizan dos leyes de atenuación dependiendo trayectorias que recorren las ondas en su camino de la fuente al sitio.

### **3.3. Atenuación de aceleraciones de subducción**

Es evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú. Los que se tienen son de Lima. La ley de atenuación de aceleraciones (Casaverde y Vargas, es:

$$a = 68.7 e^{0.8M_s} (R + 25)^{-1.0}$$

donde:  $a$  = aceleración en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ .

$M_s$  = magnitud de las ondas superficiales.

$R$  = distancia hipocentral en km.

### **3.4. Atenuación de aceleraciones continentales**

Para las fuentes continentales superficiales se han utilizado la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por R. McGuire (1974). Esta ley de atenuaciones fue deducida en el Oeste de los Estados Unidos, estando asociada a las fallas continentales y su expresión es:

$$a = 472 \times 10^{0.28M_s} (R+25)^{-1.3}$$

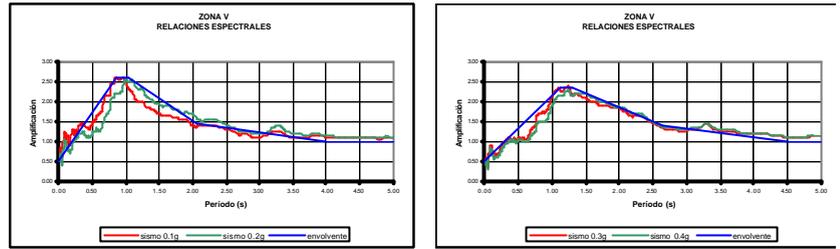
que expresada en forma logarítmica resulta:

$$\ln a = 6.156 + 0.64M_s - 1.30 \ln (R+25)$$

### **3.5. Efectos de la geología local**

Es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio es uno de los principales factores responsables de los daños sufridos por las edificaciones durante los sismos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales de sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones geológicas y topográficas.

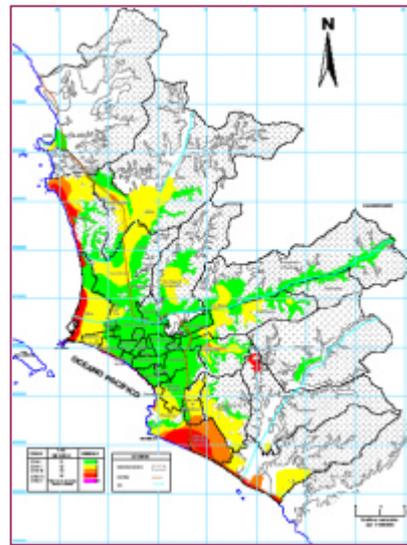
Para determinar las características dinámicas del terreno se han realizado microtrépidas y evaluaciones de amplificación sísmica (figura N°2) en los sectores más críticos. Esta información ha sido incorporada a un sistema de información geográfica y procesada para elaborar la microzonificación geotécnica sísmica de los 42 distritos analizados. La figura muestra la zonificación geotécnica-sísmica de Lima y Callao considerada en este estudio.



(a) Para sismos menores de 0.30g.

(b) Para sismos mayores a 0.30g.

**Figura N°2.** Relaciones espectrales para el distrito del Callao (CISMID, 2003).



**Figura N°3.** Zonificación geotécnica sísmica de 42 distritos de Lima y Callao (CISMID, 2003).

### 3.6. Cálculo de peligro sísmico

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes, los patrones de atenuación de las generadas en cada una de ellas, y los efectos de la geología local, puede calcularse el peligro sísmico considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmica distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. El peligro sísmico expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades es:

$$u(a | R_o, p) = \sum_{n=1}^{n=N} \int_{M_o}^{M_u} -\frac{\partial I}{\partial M} P_r(A > a | M, R_o) dM$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas  $N$  y  $P_i(A>a|M,R_i)$  probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo  $M$  y la distancia entre la  $i$ -ésima fuente y el sitio  $R_i$ . Las funciones  $\lambda_i(M)$  son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde  $M_0$  hasta  $M_u$ , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes (Ordaz et al, 1999).

En vista de que se supone que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad sigue una distribución lognormal, la probabilidad  $\Pr(A>a|M,R_i)$  se calcula de la siguiente manera:

$$\Pr(A > a | M, R_i) = \Phi\left(\frac{\ln\left(\frac{E(A|M,R_i)}{a}\right)}{\sigma_{Lna}}\right)$$

siendo  $\Phi(\cdot)$  la distribución normal estándar,  $E(A|M,R_i)$  el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y  $\sigma_{Lna}$  su correspondiente desviación estándar.

El peligro sísmico se expresa, entonces, en términos de la tasa de excedencia de valores de intensidad sísmica (figura N°4). Como se ha indicado, en este caso la intensidad sísmica se mide con las ordenadas del espectro de respuesta de pseudoaceleraciones para 5% de amortiguamiento crítico y el periodo natural de vibración de la edificación de interés  $T$ . El módulo para el cálculo del peligro sísmico se muestra en la figura N°5.

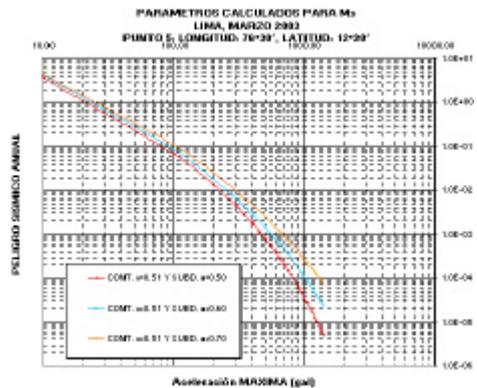


Figura N°4. Tasas de excedencia de aceleraciones máximas para Lima (CISMID, 2003).

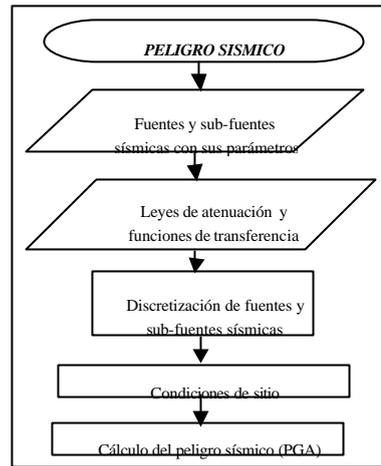


Figura N°5. Diagrama de flujo para el cálculo del peligro sísmico (CISMID, 2003).

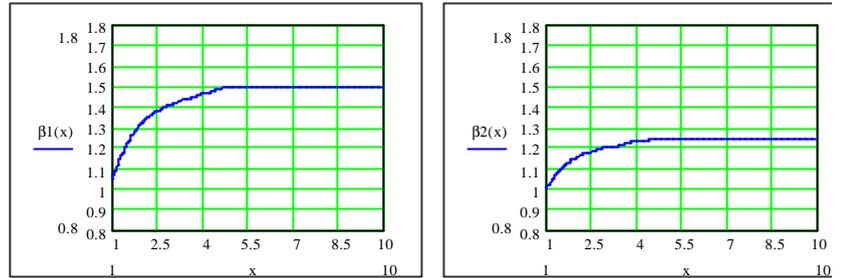
#### 4. Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural es la relación entre la intensidad sísmica y el nivel de daño. En enfoque la intensidad sísmica se mide con la aceleración espectral. El nivel de daño se estima tomando la distorsión de entrepiso, el cual se calcula como el desplazamiento entre dos niveles contiguos, dividido entre la altura del piso. Existe un número importante de estudios que concluyen que dicho parámetro de la respuesta estructural presenta una correlación con el daño estructural registrado (Bertero et al., 1991; 1992; Moehle, 1996; Miki, 1997; Priestley, 1997; Sozen, 1997). Contrario a la mayoría de sistemas que basan la estimación del daño en la intensidad de Mercalli Modificada, el método que se emplea está basado en un parámetro que presenta una excelente correlación con el daño producido por la acción de sismos intensos. A partir de la aceleración espectral, es posible determinar la máxima distorsión de entrepiso con la siguiente expresión:

$$g_1 = \frac{b_1 b_2 b_3 b_4 (hN^r)^2}{4p^2 N h} S_a(T)$$

donde:  $\beta_1$  = Es la relación entre el máximo desplazamiento lateral en el nivel superior de la estructura y el desplazamiento espectral, considerando un modelo de comportamiento elástico lineal. Este factor depende del tipo estructural y del número de pisos de la estructura.

$\beta_2$  = Describe la relación entre la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global estructura, que se define como el máximo desplazamiento lateral en la azotea dividido altura total.  $\beta_2$  depende del grado de participación de las deformaciones laterales de flexión, y del tipo estructural.



**Figura N°6.** Curvas de  $\beta_1$  y  $\beta_2$  vs. el número de pisos para edificaciones de albañilería (CIS 2003).

$\beta_3$  = Expresa la relación entre el máximo desplazamiento lateral del modelo de comportamiento inelástico, y el desplazamiento máximo del modelo elástico lineal. Este factor depende de la demanda de ductilidad al desplazamiento, el periodo fundamental de vibración de la estructura y el tipo de suelo que la soporta.

$\beta_4$  = Es la relación entre los factores  $\beta_2$  elástico e inelástico. Este factor tiene en cuenta la distribución de la carga lateral con la altura es diferente en el modelo elástico y en el inelástico. En el caso de comportamiento inelástico se produce una gran concentración de la fuerza.

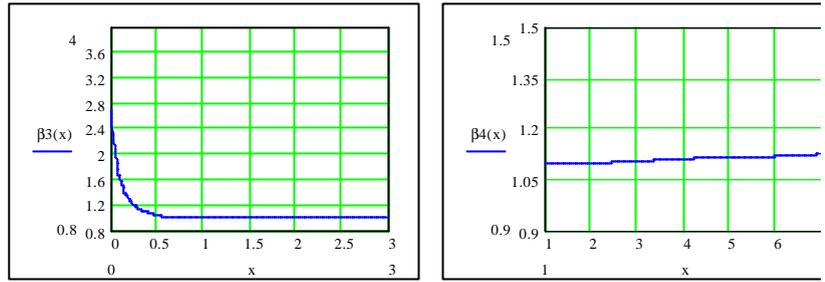
$$b_4 = 1 + \frac{m}{30} + \frac{N}{200}$$

donde: N = es el número de pisos.

$\mu$  = es la ductilidad de demanda de la estructura.

h = es la altura de cada piso de la estructura.

$S_a(T)$  = es la aceleración espectral, que depende del periodo fundamental de vibración y del amortiguamiento de la estructura y la amenaza sísmica en el sitio.



**Figura N°7:** Curvas  $\beta_3$  y  $\beta_4$  vs. número de pisos para edificaciones de albañilería (CISMID, 2008)

Estos factores dependen de la ubicación de la estructura, el tipo estructural, el tipo de suelo, el año de construcción. Tienen en cuenta el hecho de que la rigidez lateral de las estructuras localizadas en zonas de alta sismicidad es mayor que el de estructuras ubicadas en zonas de baja sismicidad. También consideran que las estructuras construidas sobre suelos blandos son más flexibles que las construidas en suelos firmes debido a la flexibilidad de la cimentación. Los parámetros han sido calibrados con modelos analíticos, medidas experimentales y diversas consideraciones siguiendo los requerimientos que se presentan en las normas.

Una vez que se determina la máxima distorsión de entrepiso de la estructura, su vulnerabilidad puede ser incrementada por varios factores tales como: irregularidades en planta o en elevación, golpeteo con edificaciones vecinas, daños previos no reparados, columnas cortas, etc.

El valor esperado del daño de la estructura, dado un valor de distorsión máxima de entrepiso, se calcula de la siguiente forma:

$$E(\beta | \gamma_i) = 1 - \exp \left[ \ln 0.5 \left( \frac{\gamma_i}{\gamma_o} \right)^\epsilon \right]$$

donde  $\beta$  es la pérdida bruta,  $\gamma_o$  y  $\epsilon$  son parámetros de vulnerabilidad estructural que dependen del sistema estructural y la fecha de construcción, y  $E(.)$  es el valor esperado. Nótese que, por definición,  $\beta$  es la proporción entre el costo de reparación y el costo total, y su valor está entre 0 y 1.

El módulo para el cálculo de la vulnerabilidad estructural se muestra en la figura N°8.

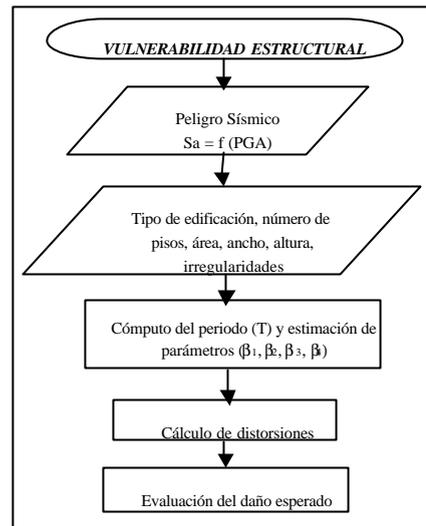


Figura N°8. Diagrama de flujo para el cálculo de la vulnerabilidad estructural (CISMID, 2003)

### 5. Cálculo de la pérdida máxima probable (PML)

La pérdida máxima probable (PML) de una cartera de edificaciones es un estimador del total de las pérdidas máximas que sería razonable esperar en dicha cartera durante un período de exposición sísmica. Se utiliza como dato fundamental para determinar el tamaño de las reservas que la compañía de seguros debería mantener. En este modelo se define como la pérdida estimada que ocurriría para un período de retorno determinado. Por lo tanto, es necesario calcular las tasas de excedencia de las pérdidas netas del portafolio,  $\beta(P_N)$ . Si en la  $j$ -ésima fuente genera un sismo, la pérdida neta para el portafolio será:

$$P_{Nj} = \sum_i V_i b_{Nji}$$

donde  $V_i$  es el valor de la  $i$ -ésima estructura,  $\beta_{Nij}$  es la pérdida neta en la estructura  $i$ , si un sismo con las características determinadas ocurre en la fuente  $j$ , y la sumatoria se hace para incluir las edificaciones de la cartera.

En este modelo se asume que la cantidad  $P_{Nj} / \sum_i V_i$  también se distribuye como una variable aleatoria Beta. Así el valor esperado de  $P_{Nj}$  se puede calcular fácilmente como sigue:

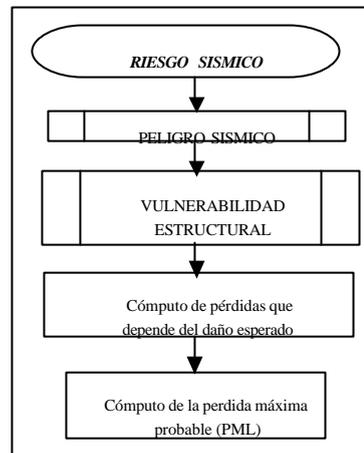
$$E(P_{Nj}) = \sum_i V_i E(b_{Nji} | g_{ij})$$

donde  $\gamma_{ij}$  es la máxima deriva de entrepiso experimentada por la estructura  $i$  si un sismo de magnitud conocida se genera en la fuente  $j$ . Sin embargo, para calcular la varianza de  $P_{Nj}$ , se debe tener en cuenta la correlación existente entre los diferentes tipos de pérdidas que se generan tanto en la estructura como en los contenidos de la misma. Una vez que se conoce el valor esperado y la varianza de  $P_{Nj}$ , las tasas de excedencia de  $P_N$  se pueden calcular de la siguiente manera (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999):

$$m(P_N) = \sum_j \int_{M_0}^{M_u} -\frac{d\lambda_j(M)}{dM} \Pr(P_{Nj} > P_N | M, \text{fuente}_i) dM$$

donde  $\lambda_j(M)$  es la tasa de excedencia de la magnitud  $M$  en la fuente  $j$ , y la sumatoria tiene en cuenta los efectos de todas las fuentes sísmicas. Una vez realizados estos cálculos se puede determinar el PML para cada caso.

La figura N°9 muestra el módulo para el cálculo del riesgo sísmico. Finalmente, la figura N°10 muestra la metodología integrada desarrollada por el CISMID para la estimación de la pérdida máxima probable PML.



**Figura N°9.** Diagrama de flujo para el cálculo del riesgo sísmico (CISMID, 2003).

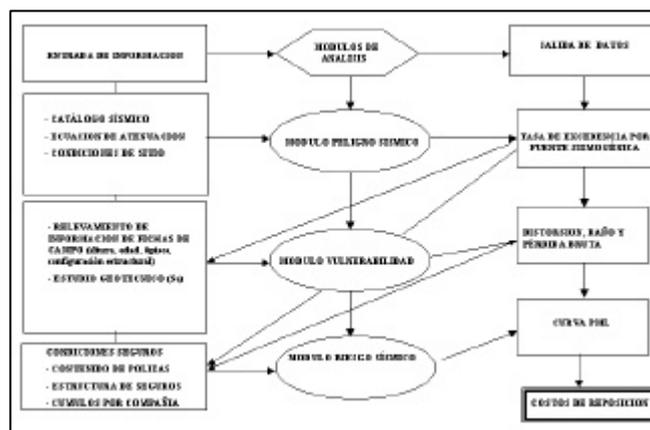


Figura N°10. Metodología integrada desarrollada para la estimación del PML (CISMID, 2003)

## 6. Base de datos de la cartera asegurada

Para este estudio se ha utilizado la cartera de seguros contra sismo proporcionada por la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). El número total de pólizas de asegurados asciende a 9778 de las cuales se han utilizado para la estimación del PML 5402. La cartera en estudio ha sido centralizada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de incorporar toda la información necesaria para la estimación de la pérdida máxima probable (PML). En forma de ejemplo demostrativo, se muestra la ubicación de bienes asegurados en el distrito de Chorrillos (Figura 15).

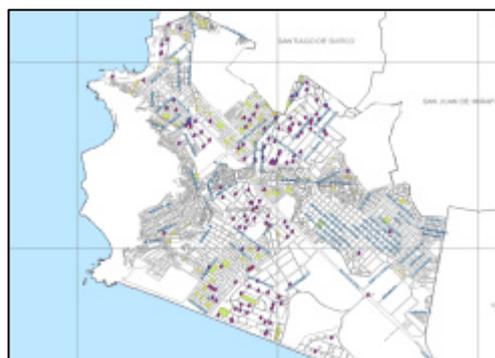


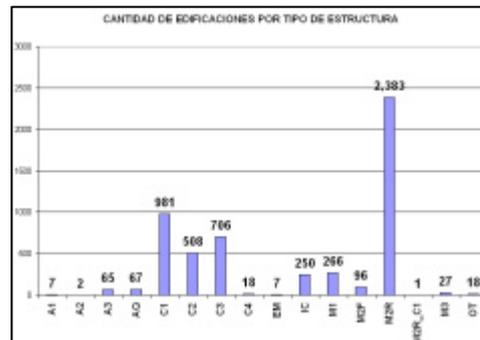
Figura 15. Ubicación de bienes asegurados en el distrito de Chorrillos (CISMID, 2004)

A continuación, la Tabla 1 muestra el número de pólizas ubicadas que resumen el tratamiento de la información:

**Tabla 1.** Número de Pólizas Ubicadas.

ETAPA	POLIZA	GIS	GIS/POLIZA	FICHAS	DIFASEG	NOUBI	FICHAS S/I	TOT_UBI
10Dist2002 - Fase I	4500	3206	71%	2967			59	2908
10Dist2002 - Fase II	1294	441	34%	382	61	64	57	322
32Dist2003 - Fase II	3984	2799	70%	2456	320	195	409	2172
	<b>9778</b>	<b>6446</b>	<b>66%</b>	<b>5805</b>	<b>381</b>	<b>259</b>	<b>525</b>	<b>5402</b>

En las figuras 16 a 19 se presentan el análisis de variables de las edificaciones aseguradas relevadas. En cuanto a la estructuración, el tipo M2R (albañilería reforzada) es el más utilizado entre los bienes asegurados en estudio, mientras que en segundo lugar se encuentra el tipo M2 (sistema aporticado). En relación al número de pisos, el mayor porcentaje de edificaciones se encuentra en dos pisos, siendo 34 el número máximo de pisos encontrados en la muestra. Se observa claramente que las estructuras de 1, 2 y 3 pisos constituyen más del 70% de la muestra. Respecto a la conservación general, un mayor número de edificaciones presenta un estado de conservación bueno. En cuanto al año de construcción, existen edificaciones construidas desde 1860, aunque el mayor número de edificaciones fueron construidas desde inicios de los años 2000 hasta fines de los años 2000. Hay que resaltar, que no se ha podido calcular adecuadamente el año de construcción de 1234 edificaciones.



**Figura 16.** Gráfico de las edificaciones evaluadas vs tipo de estructura, todos los distritos, bienes asegurados.



Figura 17. Gráfico de las edificaciones evaluadas vs número de pisos, todos los distritos, bienes asegurados

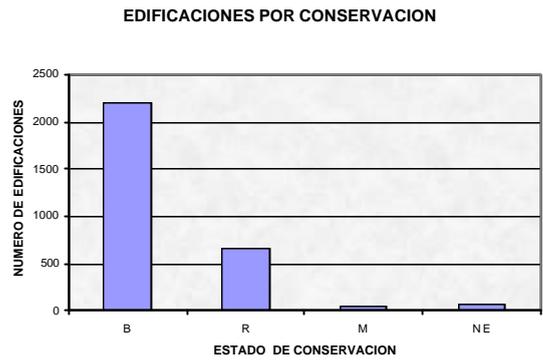


Figura 18. Gráfico de las edificaciones evaluadas vs. estado de conservación, todos los distritos bienes asegurados.

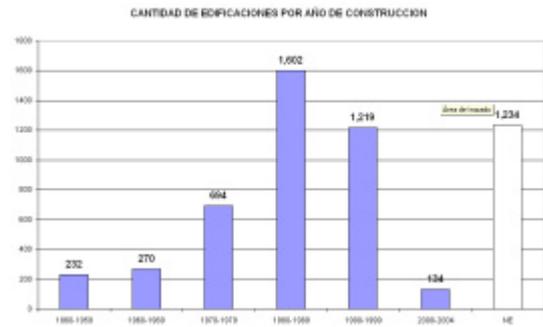


Figura 19. Gráfico de las edificaciones evaluadas vs. año de construcción, todos los distritos, asegurados

## 7. Resultados de cálculo de la pérdida máxima probable

Producto del desarrollo de una tecnología propia se ha establecido la curva de la pérdida máxima probable (PML) considerando los resultados de los módulos de peligro sísmico, vulnerabilidad estructural y riesgo sísmico obteniéndose en forma computarizada para los 42 distritos de la cartera estudiada.

Es de esperar, que las compañías de seguros reserven un monto igual al PML o en caso contrario deberán reasegurar dicho monto.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

Se puede formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se ha establecido las características geotécnicas del área y para cada distrito, considerando finalmente 5 zonas geotécnica-sísmica.
- Se ha considerado 5 tipologías de construcción que son las siguientes: Mampostería, concreto armado, adobe-quincha, acero e industriales-comerciales.
- Para la diagnosis se ha establecido una metodología que ha permitido determinar para cada tipo de estructura los valores de  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  y  $b_4$  que son los factores de distribución considerando las diferentes implicaciones de altura, máxima distorsión entre deformaciones por demanda de ductilidad.
- La realización del trabajo de campo ha sido imprescindible para la determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones, con la finalidad de conocer área, altura, antigüedad, estado actual, restricciones, densidad de muros y comprobar la veracidad y vigencia de la información catastral.
- El número de pólizas recibidas para los 42 distritos fue de 9,778, se ubicaron en la oficina 6,446 pólizas (66%) y posteriormente fueron relevadas en campo 5,402 pólizas (55%).
- Se ha desarrollado un programa de cómputo para evaluar el riesgo sísmico con el cual se ha establecido la curva del PML considerando los módulos de peligro sísmico, vulnerabilidad estructural y riesgo sísmico. El procedimiento seguido en la configuración del PML es el producto de una metodología propia, con criterio comparativo a nivel internacional.
- Se ha obtenido una curva de PML con diferentes periodos de retorno. En general, no existe un criterio estándar para medir el PML. Sin embargo, es recomendable tomar como referencia un periodo de retorno comprendido entre 500 y 2000 años.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y todo el personal técnico y administrativo del Proyecto APESEG/CISMID-EVR-LYC, así como a la Asociación Peruana de Empresas Seguros (APESEG) y a la Superintendencia de Banca y Seguros (SBS) del Perú por la realización de este estudio.

## **Referencias**

1. Bertero, V.V., Anderson, J.C., Krawinkler, H., and Miranda, E. (1991). "*Design Guide for Ductility and Drift Limits: Review of the State-of-the-Practice and State-of-the-Art*", Report UCB/EERC-91/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley, California.
2. Casaverde L. y Vargas J. (1980). "*Zonificación Sísmica del Perú*", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmo-Resistente, Organización de Estados Americanos, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
3. Castillo J. (1993). "*Peligro Sísmico en el Perú*", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
4. CISMID (2003). "*Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Gran Lima y Cercanías*". Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG), Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), Lima, Perú.
5. CISMID (2004). "*Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Lima y Cercanías*". Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG), Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), Lima, Perú.
6. Dorbath L., Cisternas, A y Dorbath, C. (1990). "*Assessment of the size of large and historical earthquakes in Peru*", Bulletin of the Seismological Society of America.
7. McGuire R. (1974). "*Seismic Structural Response Risk Analysis Incorporating Response Regressions on Earthquake Magnitude and Distance*", MIT Report R-74-1, Cambridge, Mass.

8. Miranda, E. (1997). "*Estimation of Maximum Interstory Drift Demands in Displacement Based Design*". Seismic design Methodologies for the Next Generation of Code Krawinkler and P. Fajfar editor, Balkema.
9. Moehle, J.P. (1996). "*Displacement-Based Seismic Design Criteria*". Proceedings Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico.
10. Olarte J., Zavala C., Aguilar Z., Vásquez G., Escobar R. y Romaní S. (2003). "*Estimación de la pérdida máxima probable PML en 10 distritos de la Gran Lima y Callao: Aplicación a la industria aseguradora peruana*". XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iq Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Departamental de Loreto-Capítulo de Ingenieros Civiles.
11. Ordaz, M., Miranda, E., Reinoso, E., Pérez-Rocha, Luis E. (1998). "*Seismic Loss Estimation Model For México City*".
12. Ordaz, M. (1999). "*Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico enfocada en la gerencia de Seguros por Terremoto*".
13. Priestley, M. (1997). "*Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings*". Journal of Earthquake Engineering, Vol. 1 No. 1, pp. 157-192.
14. Richter C. F. (1958). "*Elementary Seismology*". W.H. Freeman Co., San Francisco.
15. Silgado E. (1978). "*Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1978)*". Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
16. Sozen, M.A. (1997). "*Drift-Driven Design for Earthquake Resistance of Reinforced Concrete*". Proc. EERC-CUREe Symposium in Honor of Vitelmo V. Bertero, Berkeley, California.