

# RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS PERUANOS

Alejandro Muñoz, Marcos Tinman, Daniel Quiun

Pontificia Universidad Católica del Perú, [amunoz@pucp.edu.pe](mailto:amunoz@pucp.edu.pe), [dquiun@pucp.edu.pe](mailto:dquiun@pucp.edu.pe)

## RESUMEN

Palabras Claves : Riesgo, Vulnerabilidad, Resistencia, Ductilidad, Sismicidad Peruana.

Sólo desde la década de 1960, los edificios peruanos se construyen con criterios sismorresistentes. Pero ni estos edificios ni aquellos construidos en los últimos 100 años, han experimentado los efectos de terremotos severos. En este artículo se plantea la interrogante de cuán seguras son las edificaciones peruanas construidas bajo criterios sismorresistentes, frente a sismos destructivos. Se presenta un intento de cuantificar los objetivos del Diseño Sismorresistente de Edificios, se comenta sobre la ductilidad y resistencia de los edificios peruanos y sin pretender contestar la interrogante planteada, se discute el uso futuro de los sistemas de protección sísmica para los edificios en el Perú.

## ABSTRACT

Keywords: Risk, Vulnerability Resistance, Ductility, Peruvian Seismicity.

It is only since the 1960's that buildings in Peru are constructed with seismic resistance criteria. However, neither these buildings nor those built in the last hundred years have been subjected to strong earthquakes. In this paper, we question how safe the peruvian buildings are when they are subjected to severe earthquakes. An attempt to quantify the objectives of Seismic Resistance Design is presented, and comments on the ductility and resistance of peruvian buildings are given, although not pretending to answer the previous question, we discuss the future use of seismic protection devices in Perú.

## Introducción

Gran parte del ejercicio de la Ingeniería corresponde a reglas de buena práctica, y sentido físico de los problemas, hecho que los Ingenieros aprovechamos para decir que la Ingeniería es Arte. Con el tiempo, algunas de estas reglas se desechan y otras se confirman y se explican gracias a trabajos analíticos o experimentales.

En el caso de la Ingeniería Sismorresistente, son grandes las dificultades para desarrollar investigación experimental, tal es así que cuando sucede un terremoto, la Ingeniería reconoce como sus verdaderos laboratorios a las ciudades, y a las obras de ingeniería en general.

Las edificaciones peruanas construidas en el siglo XX no se han probado aún bajo condiciones sísmicas severas y aunque no tenemos la certidumbre de que se comportarán adecuadamente, esperamos confiados que será así. En este artículo se comentan algunos aspectos relacionados con la esperanza de buen comportamiento y se comenta sobre las posibilidades de emplear en un futuro cercano en el país los sistemas de protección sísmica basados en dispositivos de alto amortiguamiento y aislamiento.

## Terremotos Importantes en el Perú.

El 28 de octubre de 1746, se produjo un gran terremoto en la Costa Central del Perú. Según se ha estimado tuvo una magnitud de 8.1  $M_S$  y produjo intensidades de hasta XI en la escala de Mercalli Modificada [Refs. 1, 2]. En Lima la destrucción fue casi total, cayó la Catedral, monasterios, arcos, estatuas; de las 3000 casas existentes sólo quedaron en pie 25. Según se conoce, murieron aproximadamente 1100 personas.

En el Callao se destruyó casi totalmente la muralla circundante y la totalidad de edificaciones. Después de media hora del movimiento, un gran tsunami con altura de 15 a 20 m. arrasó el Callao. Algunos barcos anclados en la orilla fueron arrojados a tierra pasando sobre las murallas. De los 4000 habitantes sólo se salvaron 200.

Para imaginar la magnitud del evento baste recordar que el mar avanzó tierra adentro una legua; a causa de los derrumbes los caminos quedaron intransitables hasta 120 km. al Norte de Lima. El movimiento fue sentido en Guayaquil a 1100 km. al NO del Callao. En Lucanas, Ayacucho, ocurrieron deslizamientos y agrietamientos de tierra y los efectos importantes se sintieron hasta Tacna. En las 24 horas que siguieron al sismo, se produjeron aproximadamente doscientos temblores [Ref. 2]. La figura 1 recuerda el tsunami que arrasó el Callao [Ref. 3].

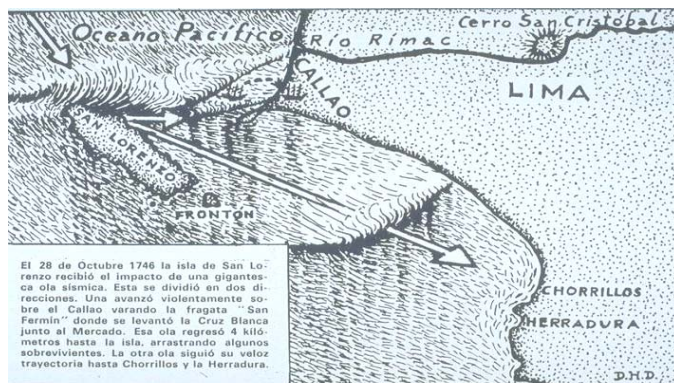


Figura 1.

El Tsunami que siguió al terremoto de 1746.

El sismo más grande registrado desde la conquista española, se produjo el 13 de agosto de 1868. con epicentro frente al puerto de Arica, tuvo una magnitud de 8.2  $M_S$  y se ha estimado una intensidad máxima de XI MM [Refs. 1 y 2]. En Arequipa cayó el Cabildo, casi todos los templos, y muchos edificios públicos y privados. La Catedral quedó en ruinas (Figura 2). Moquegua, Tacna y Arica quedaron también en ruinas.

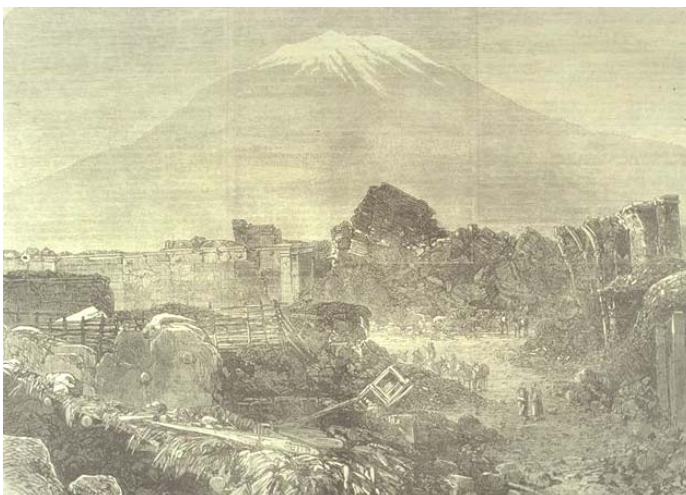


Figura 2.

Terremoto de 1868. Templo de San Antonio, Arequipa, en ruinas

Cerca de las 5:30 p.m. una gran ola de 12 m. de altura arrasó el puerto de Arica. Aproximadamente una hora después el mar regresó con olas de hasta 17 m. de alto. Luego de las 7 p.m. una ola más grande que las anteriores varó una corbeta de 1560 ton, el “Wateree” y el Pontón Fredonia fueron arrojados 300 metros tierra adentro.

El movimiento se sintió a 1400 km. al NO en el Perú (Samanco), hasta una distancia similar en Chile (Valdivia) y también en Bolivia, a más de 200 Km. El oleaje llegó hasta Hawai, California, Filipinas, Nueva Zelanda.

Durante el siglo XX, los terremotos más importantes en el Perú fueron los de 1940, 1966, 1970 y 1974. La tabla 1 muestra algunos datos para estos sismos y para los sismos más importantes de los siglos XVIII y XIX.

	<b>Lima 1746</b>	<b>Arica 1868</b>	<b>Lima 1940</b>	<b>Lima 1966</b>	<b>Ancash 1970</b>	<b>Lima 1974</b>
<b>Magnitud <math>M_s</math></b>	8.1	8.2	7.9	7.7	7.9	7.9
<b>Intensidad máxima (MM)</b>	X- XI	XI	VII-VIII	VIII	VIII-IX	VIII-IX
<b>Altura de Ola Tsunami</b>	15-20	20	3	2.5	-	1.6

**Tabla 1. Principales características de los sismos importantes en el Perú**

El terremoto de 1970, es recordado por los 50 mil muertos, los 20 mil desaparecidos, y la gran avalancha que sepultó Yungay (50 millones de metros cúbicos de lodo con una velocidad de 300 kph). Casi la totalidad del daño correspondió a construcciones de tierra levantadas sin dirección técnica, en cambio muchas construcciones de albañilería y concreto armado, en la zona epicentral, tuvieron buen comportamiento [Ref. 2].

Pese a la magnitud de la tragedia del terremoto de 1970, las ciudades con un significativo número de edificios de concreto o albañilería estuvieron distantes de la zona epicentral y los efectos del sismo fueron poco significativos para estas edificaciones.

Los terremotos del siglo XX fueron de menor tamaño que los más grandes ocurridos en los dos siglos precedentes, tanto en magnitud como en la severidad de la sacudida. Esto explicaría el porqué de los daños relativamente reducidos que experimentaron las edificaciones de concreto armado, albañilería o acero como consecuencias de los sismos en los últimos 100 años.

### **Objetivos del Diseño Sismorresistente de Edificios**

En los últimos años se ha tratado de cuantificar el comportamiento que deberían tener las edificaciones frente a distintos niveles de severidad en los movimientos sísmicos. Se ha convenido [Refs. 4, 5] en establecer cuatro niveles de severidad en las sollicitaciones sísmicas, cada uno de los cuales se define por un “sismo de diseño”. Dado que los terremotos son tratados como sucesos aleatorios propios de cada región, los sismos de diseño se definen en función de los periodos medios de retorno de estos eventos o en función de la probabilidad de excedencia durante un determinado tiempo de exposición que, por ejemplo para edificaciones comunes se ha establecido en 50 años.

Empleando la información con que se cuenta respecto a la sismicidad del país, es posible estimar las aceleraciones asociadas a los cuatro sismos de diseño para la costa del Perú [Ref. 6]. La tabla 2 muestra los periodos de retorno para estos sismos según el SEAOC [Ref. 5], junto a la aceleración esperados en la costa del país según los estudios de peligro sísmico desarrollados por ingenieros peruanos [Refs. 1, 7].

	<b>Sismos Frecuentes</b>	<b>Sismos Ocasionales</b>	<b>Sismos raros</b>	<b>Sismos muy raros</b>
<b>Periodo de Retorno</b>	45	75	≈500	≈1000
<b>Aceleración en la roca para la costa del Perú (g)</b>	0.2	0.25	0.40	0.5

**Tabla 2. Sismos de Diseño, periodos de retorno y aceleraciones en la roca para la costa del Perú.**

Finalmente, los objetivos del diseño sismorresistente se establecen precisando el nivel de daño que se acepta en una edificación luego de un sismo, de acuerdo a su importancia. Según el SEAOC se identifican tres tipos de edificaciones: edificios comunes, (viviendas, oficinas, etc.) edificios esenciales que deben funcionar en una emergencia (como por ejemplo, hospitales) y edificios de seguridad crítica (como plantas de procesamiento nuclear). En la tabla 3 se indica el comportamiento deseado para edificios comunes en cada sismo de diseño junto a la aceleración pico esperada en la costa del Perú.

<b>Sismo de Diseño</b>	<b>Aceleración (g)</b>	<b>Comportamiento Estructural</b>
<b>Sismos Frecuentes (45 años)</b>	0.2	Perfectamente elástico
<b>Sismos Ocasionales (75 años)</b>	0.25	Prácticamente elástico
<b>Sismos raros (500 años)</b>	0.40	Importantes incursiones inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. Estructura reparable.
<b>Sismos muy raros (1000 años)</b>	0.5	Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura.

**Tabla 3. Sismos de Diseño, aceleraciones máximas en la roca para la Costa del Perú y comportamiento estructural deseado de edificios comunes.**

#### **Demandas de resistencia y ductilidad de terremotos peruanos**

Los sismos severos producen deformaciones tan importantes en las estructuras que, para asegurar su comportamiento elástico en estos eventos, sería necesario dotarlas de una elevada resistencia lateral. Dada la baja probabilidad de que durante la vida útil de una edificación común (50 años) se presente un sismo severo (500 ó 1000 años de periodo de retorno), se acepta la posibilidad de comportamiento post elástico durante estos sismos y se permiten que la resistencia lateral sea una fracción de la requerida para garantizar un comportamiento elástico ideal [Refs. 8, 9, 10].

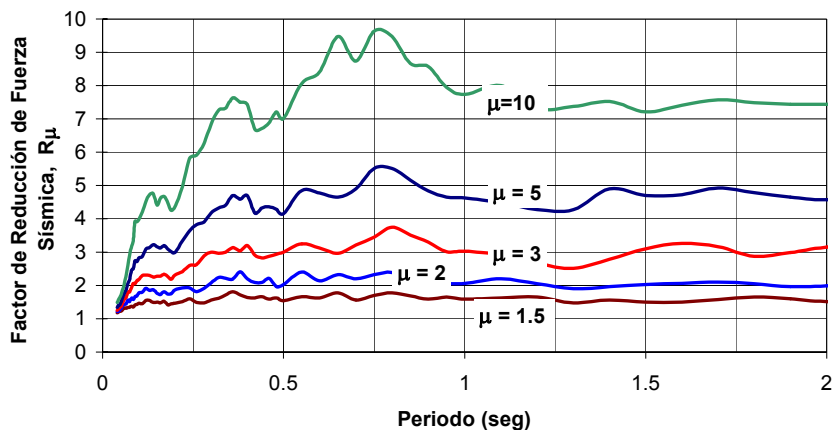
Como una medida sencilla de la severidad de estas incursiones inelásticas, se emplea el cociente entre el máximo desplazamiento inelástico producido por el evento y el desplazamiento que inicia el comportamiento post elástico; este cociente se denomina ductilidad demandada ( $\mu$ ).

Las normas de diseño sismorresistentes establecen la resistencia sísmica mínima, por medio de los factores de reducción, y son los reglamentos de diseño en concreto o acero los que permiten garantizar una resistencia mayor. Por ejemplo el diseño por resistencia última del código peruano [Ref. 11] amplifica las acciones sísmicas por 1.25 y el código americano [Ref. 12] lo hace por  $\approx 1.4$ . De otro lado, tanto el concreto como el acero tienen una resistencia mayor que la nominal, permitiendo así que cada uno de los elementos tenga una resistencia lateral mayor que la garantizada por el diseño para la formación de la primera rótula plástica. Finalmente, entre la formación de la primera rótula y la conversión en mecanismo de toda la estructura, la resistencia lateral también se incrementa.

Si tal como lo hacen los códigos, definimos el factor de reducción de fuerza sísmica ( $R$ ) como el cociente entre la **máxima fuerza** en la estructura ideal elástica y la **resistencia de diseño** para la estructura, podemos expresar  $R$  como el producto de dos factores: el primero representa la reducción que hacemos de acuerdo al nivel de desempeño dúctil que esperamos alcance la estructura ( $R_\mu$ ) y el segundo factor corresponde a la sobrerresistencia atribuible a los procedimientos de diseño, la sobrerresistencia de los materiales y el crecimiento de la resistencia global luego de la primera rótula ( $R_s$ ) [Ref. 13]. Es decir:

$$R = R_\mu \cdot R_s$$

Empleando los registros de los terremotos peruanos se desarrollaron estudios para estimar los factores de reducción  $R_\mu$  adecuados para que las demandas de ductilidad no superen ciertos valores preestablecidos [Refs.6, 14]. La figura 3 se muestra los resultados de estos estudios para el rango de periodos de los edificios de Lima.



**Figura 3 Factor de Reducción ( $R_\mu$ ) y ductilidad demandada ( $\mu$ ).**

Los resultados de estos estudios muestran que las estructuras con periodos mayores a  $\frac{1}{2}$  segundo, se deberían diseñar empleando factores de reducción numéricamente similares a los valores de la ductilidad demandada ( $R_\mu \approx \mu$ ), en cambio para las estructuras con periodos menores al  $\frac{1}{2}$  segundo se deberían emplear factores de reducción significativamente menores al valor de la ductilidad que la estructura pueda desarrollar. ( $R_\mu \ll \mu$ )

## Resistencia y Ductilidad de los edificios en el Perú

Desde comienzos del siglo XX se han construido en el país edificios de concreto armado. En los primeros años, el sistema estructural consistía casi exclusivamente de pórticos de concreto armado y en algunos casos se empleaban también las cajas de escaleras y ascensores con unidades de mampostería.

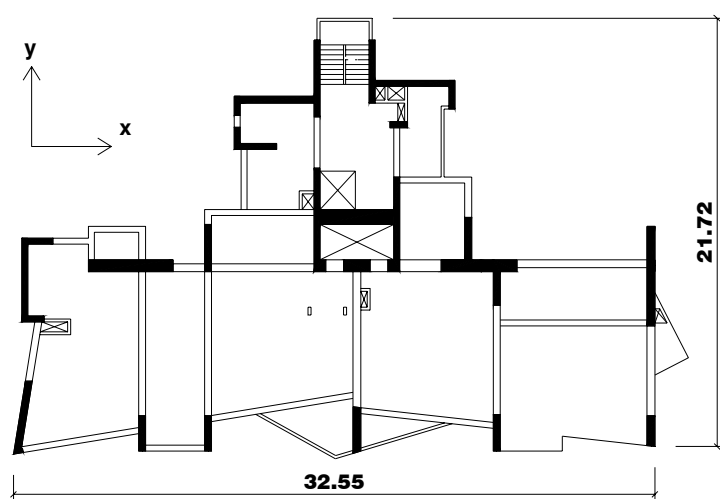
Con mucha frecuencia, los tabiques de los edificios aporticados, se construyeron con ladrillos sólidos de arcilla o concreto adosados directamente a las columnas y vigas del edificio. Gracias a la construcción de estos tabiques en paños completos, estas edificaciones han incrementado considerablemente su resistencia y rigidez lateral más allá de lo que debió haberse previsto en el proyecto original.

Los terremotos importantes han mostrado lo vulnerables que pueden ser los edificios de pórticos flexibles y también han aportado evidencias acerca del buen comportamiento sísmico de los edificios estructurados en base a muros de corte.

En los últimos años se ha reconocido con mayor claridad la relación directa que existe entre el daño y la deformación lateral que experimentan los edificios durante los sismos. Esto ha contribuido a que en las últimas décadas se incorporen los muros de concreto como elementos sismorresistentes, dando como resultado un sistema mixto mucho más rígido y resistente que los tradicionales edificios aporticados.

En el país, el diseño de los edificios de concreto armado se hace atendiendo las indicaciones que garantizan la ductilidad en secciones y elementos, pero no siempre se satisfacen plenamente los requerimientos para lograr un comportamiento dúctil del conjunto. Por ejemplo resulta complicado dotar a las columnas de una capacidad a flexo-compresión mayor que la de las vigas o es poco frecuente el diseño minucioso de los nudos. No podemos esperar que los edificios así diseñados desarrollen el nivel de ductilidad esperado para las estructuras que otros códigos califican como “*especialmente dúctiles*”. Es posible que nuestras estructuras califiquen más bien como estructuras de ductilidad restringida.

La figura 4 muestra la planta de un edificio típico de departamentos en la ciudad de Lima, con muros de corte en su estructura sismorresistente.



**Figura 4. Planta típica de un edificio de concreto armado de 22 pisos**

Resulta altamente complicado tratar de expresar el comportamiento dúctil de una estructura por el simple valor de la ductilidad de desplazamientos; sin embargo algunos investigadores han sugerido rangos de valores según el tipo de estructura [Refs. 15, 16]. Para los edificios peruanos no se han desarrollado estudios que permitan estimar la ductilidad global que pueden desarrollar; pero atendiendo los rangos de valores sugeridos y

las características propias de nuestros edificios, podríamos asumir para los edificios de pórticos, valores cercanos a 5 y para los edificios en base a muros de corte ductilidades próximas a 3.

Desde luego, esta suposición es altamente cuestionable y poco sustentable, pero no olvidemos que asumir valores y modelos de comportamiento es práctica frecuente en el ejercicio de la ingeniería misma.

De acuerdo a la aproximación  $R_{\mu} \approx \mu$  para edificios con periodos mayores a  $\frac{1}{2}$  segundo, el factor de reducción para edificios de pórticos debería ser  $R_{\mu}=5$  y para estructuras en base a muros de corte  $R_{\mu}=3.5$ . Estimemos la sobrerresistencia estructural atribuible al método de diseño a la rotura en  $1.25/0.9=1.4$  y la sobrerresistencia por el incremento de capacidad en los materiales y por el proceso de degradación continua en 1.3; por tanto el factor reducción total por sobrerresistencia será  $R_s = 1.4 * 1.3 = 1.8$ .

Finalmente, el factor de reducción que puede emplearse para establecer las sollicitaciones sísmicas reducidas podría estimarse para los edificios de pórticos en  $R=R_{\mu}*R_s=5*1.8=9$  y para los edificios de muros de corte en  $R = 3.5*1.8 = 6.5$ .

Sin embargo, para los edificios con periodos menores al  $\frac{1}{2}$  segundo, los factores de reducción deberían ser significativamente menores que los valores arriba indicados.

### **Comportamiento esperado para los edificios peruano**

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente vigente desde 1997, tiene como sismo máximo de diseño, un evento de 500 años de periodo de retorno. Esta norma establece como factor de reducción para edificios de pórticos  $R=10$  y para edificios estructurados en base a muros de corte  $R=7.5$ . Estos valores resultan similares a los obtenidos en el acápite anterior empleando señales peruanas y asumiendo ductilidades moderadas para edificios medianos y altos (periodos mayores a  $\frac{1}{2}$  segundo).

Como las fuerzas de diseño de la Norma Sismorresistente de 1977 son similares a las fuerzas indicadas en la Norma vigente, podemos esperar que los edificios altos y los de mediana altura que fueron diseñados con estas normas se comporten adecuadamente en los eventos de 500 años de periodo de retorno. Sin embargo no es posible hacer ninguna estimación del comportamiento que tendrían en terremotos con 1000 años de periodo de retorno, eventos que corresponden al "sismo extremo" en la moderna definición de objetivos del diseño sismorresistente.

Para los edificios bajos (con periodos de vibración menores a  $\frac{1}{2}$  segundo) y que fueron diseñados con las Normas de 1977 o 1997, resulta complicado tratar de anticipar el comportamiento que tendrían durante el sismo extremo del código actual (sismo con 500 años de periodo de retorno). La tarea es aún más difícil, sino imposible, para eventos de 1000 años de periodo de retorno.

La información presentada sugiere que para el diseño de edificios bajos debería emplearse un factor de reducción significativamente menor que el indicado en la Norma. Sin embargo, estos edificios son los que podrían presentar mayores niveles de sobrerresistencia debido a la mayor influencia que tienen los factores de mayoramiento de carga vertical en relación a los edificios altos, a la tabiquería de relleno, etc.

Históricamente han sido los edificios bajos los que han sufrido mayor daño en los terremotos de subducción de la costa del Pacífico. Sin embargo, el daño observado ha sido casi siempre menor que el daño que se ha podido anticipar con modelos teóricos.



Podríamos decir que, pese a que los resultados analíticos sugieren un considerable nivel de daño en las edificaciones bajas durante un sismo de 500 años, podemos esperar que el daño no sea tan alto atendiendo la información histórica de los sismos de subducción.

Respecto al comportamiento frente a sismos frecuentes (45 años de periodo de retorno), la resistencia lateral efectiva de nuestras edificaciones, resulta inapropiada si se tiene en cuenta que la aceleración pico de estos sismos para la costa del país es de 0.2 g., valor que es la mitad del esperado para sismos de 500 años. Recordemos el daño que sufrieron muchas construcciones de concreto armado en Lima durante los sismos de 1966 y 1974, en los cuales se registraron aceleraciones pico cercanas a 0.2 g.

### **Sistemas de Protección Sísmica**

Reconociendo que es altamente costoso y en muchos casos técnicamente imposible proteger completamente las edificaciones con sistemas estructurales tradicionales, en las últimas décadas se están desarrollando sistemas de protección sísmica basados en el aislamiento de la edificación en su base y en la incorporación de dispositivos de alto amortiguamiento.

El aislamiento de edificios se logra empleando una capa muy flexible lateralmente entre la estructura y la propia cimentación. El sistema más común consiste de cortos apoyos cilíndricos conformados por capas alternadas de acero y caucho. Estos apoyos laminados son muy rígidos bajo cargas verticales y muy flexibles bajo cargas laterales. Se emplean también como dispositivos de aislamiento rodillos y resbaladores. La figura 5 muestra el apoyo de una unión viga-columna sobre un aislador de caucho.



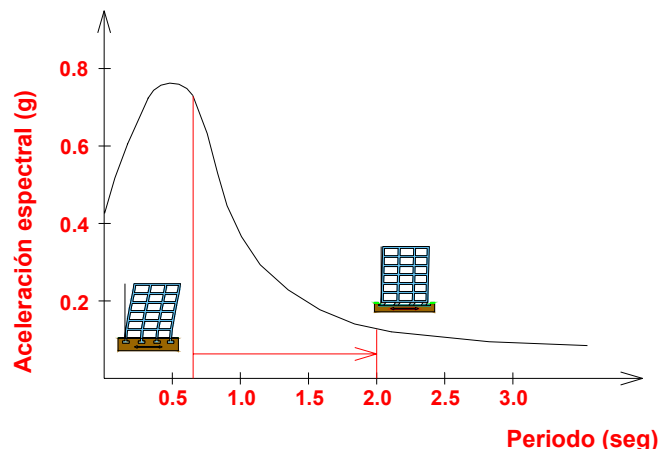
**Figura 5.**

**Columna y vigas metálicas sobre un aislador**

Con el empleo de este sistema, el periodo fundamental de la estructura aislada se hace mayor que el periodo que tendría si se uniera directamente al suelo. Para edificios con periodos de vibración similares o mayores a los del suelo, este incremento de periodo logra una disminución considerable en las fuerzas sísmicas (Fig. 6). Sin embargo el



desplazamiento del edificio respecto del suelo se incrementa considerablemente, concentrándose en la capa flexible.



**Figura 6** *Disminución de las fuerzas sísmicas debido al incremento de periodo logrado por el aislamiento.*

Los sistemas de aislamiento encarecen las construcciones y no pueden emplearse en todos los tipos de suelo y para todas las estructuras. En cambio se han desarrollado ya dispositivos que permiten reducir significativamente las demandas sísmicas sobre los edificios por medio de mecanismos de alto amortiguamiento. Los amortiguadores se instalan de manera tal que trabajen con las deformaciones de los entresijos del edificio o se colocan también entre la base del edificio y la cimentación misma, acompañando a los aisladores. Se han desarrollado amortiguadores de fluido viscoso y también dispositivos que disipan energía aprovechando la fluencia de los metales.

En general los sistemas de protección (por aislamiento o amortiguamiento) han mostrado ser muy efectivos reduciendo el daño estructural y mejorando las condiciones de operación de las construcciones durante y luego de los sismos.

Tal como se plantean hoy los objetivos del diseño sismorresistente de edificios, pareciera ser que estos sistemas de protección serán imprescindibles en un futuro cercano.

En el país se debería comenzar por preparar un plan de investigación a mediano plazo con la participación de la universidad y la industria. Dispositivos sencillos como los mostrados en la figura 7 podrían servir para iniciar el estudio.

## Conclusiones

- Los sismos de los últimos 100 años en el Perú han sido significativamente menos severos que los acontecidos en los siglos XVIII y XIX.
- Ninguno de los sismos ocurridos en el país en el siglo XX puede ser considerado como el sismo de diseño del código peruano y menos aún como el más severo de la moderna definición de objetivos.
- Las edificaciones peruanas construidas en el siglo XX no se han probado aún bajo condiciones sísmicas severas, sin embargo creemos que tendrán un desempeño aceptable.

- Los estudios teóricos indican que las edificaciones peruanas diseñadas con los códigos de 1977 y 1997 y con periodos superiores a ½ segundo, se comportarían adecuadamente en el sismo extremo del código actual (sismo de 500 años). Sin embargo resulta altamente complicado anticipar el comportamiento que tendrían ante un sismo de 1000 años de periodo de retorno.
- Para las edificaciones bajas, los estudios analíticos indican un gran nivel de daño para el terremoto de 500 años. Sin embargo, de acuerdo a la información histórica, es posible que el daño sea menor que el indicado por los resultados teóricos.
- Los sistemas modernos de protección sísmica de edificios, constituyen la mejor alternativa para reducir el daño y mejorar el funcionamiento sísmico de los edificios. Las universidades y las industrias ligadas a la construcción, deberían establecer un programa de trabajo conducente a incorporar a mediano plazo estos sistemas, tanto para la protección de los edificios nuevos como para el resguardo de los edificios existentes.

### **Referencias**

1. Alva Hurtado, Jorge y Castillo Aedo, Jorge Luis. *Peligro Sísmico en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1994
2. Giesecke A. y Silgado E. *Terremotos en el Perú*. Ediciones Rikchay, Perú, 1981
3. Kozak. *Kozak Collection*. National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, 1999
4. Bertero, Vitelmo V. The Need for Multi-level Seismic Design Criteria. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, 1996
5. Structural Engineers Association of California, Vision 2000 Committee, *A Framework for Performance Based Design*, California, 1995
6. Muñoz Peláez, Alejandro. *Ingeniería Sismorresistente*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 1999
7. PRISMA INGENIEROS C. A. Estudios de Riesgo Sísmico, Archivos, Lima, 1993, 1996, 1997
8. Reglamento Nacional de Construcciones, *Norma Técnica de Edificaciones E-030. Diseño Sismorresistente*. Ministerio de Transportes Comunicaciones Vivienda y Construcción, Lima, 1997
9. Reglamento Nacional de Construcciones. *Norma Básica de Diseño Sismorresistente*. Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima 1977
10. International Conference of Building Officials. *Uniform Building Code*, Estados Unidos de América 1997
11. Reglamento Nacional de Construcciones. *Norma Técnica de Edificaciones E-060 Diseño en Concreto Armado*, 1989
12. American Concrete Institute. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. 1999
13. Miranda E., Bertero V.V. *Evaluation of Strength Reduction Factors, Earthquake Spectra*, EERI, Vol. 10, N° 2, Mayo 1994
14. Muñoz A., Ledesma M. *Demandas de Energía Histerética de Terremotos Peruanos*. Pontificia Universidad Católica del Perú, 1996

15. Sarria A. *Ingeniería Sísmica*. Ediciones Uniandes, Colombia 1995
16. Grases J. *Concreto Armado en zonas sísmicas*, Caracas 1987
17. POPOV E., *Nippon Steel Project*, <http://www.ce.berkeley.edu/~epp/nippon.html>, 1999