



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

**FUERZAS SÍSMICAS DE DISEÑO
PARA EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA**

*Alejandro Muñoz
Angel San Bartolomé
Carlos Rodríguez*

RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS PERUANOS

*Alejandro Muñoz
Marcos Tinman
Daniel Quiun*

*DI-SIC-2001-01 DI-SIC-2001-02
Lima, enero 2001*



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

**FUERZAS SÍSMICAS DE DISEÑO
PARA EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA**

*Alejandro Muñoz
Angel San Bartolomé
Carlos Rodríguez*

RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS PERUANOS

*Alejandro Muñoz
Marcos Tinman
Daniel Quiun*

*DI-SIC-2001-01 DI-SIC-2001-02
Lima, enero 2001*

PRESENTACION

Desde el año 1975 cuando el Departamento de Ingeniería organizó el Primer Congreso Andino de Ingeniería Sísmica, nuestros profesores han venido contribuyendo al desarrollo de la Ingeniería Sismorresistente en el país por medio de diversos trabajos de investigación.

La Sección Ingeniería Civil, presenta en esta oportunidad los trabajos titulados "Fuerzas Sísmicas de Diseño para Edificaciones de Albañilería" y "Riesgo Sísmico de Edificios Peruanos".

El primer artículo resume el trabajo de investigación desarrollado por los ingenieros Alejandro Muñoz, Angel San Bartolomé y Carlos Rodríguez, en relación con la resistencia sísmica necesaria de las edificaciones de Albañilería. El segundo trabajo desarrollado por los ingenieros Alejandro Muñoz, Daniel Quiun y Marcos Tinman, plantea la interrogante de cuán seguras son nuestras edificaciones frente a los eventuales sismos que podrían ocurrir en el país.

Esperamos que esta publicación sea de utilidad para los profesionales, profesores y estudiantes en el área de la Ingeniería Estructural.

Juan Carlos Dextre Q.

Coordinador de la Sección Ingeniería Civil
Departamento de Ingeniería



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

RIESGO SISMICO DE EDIFICIOS PERUANOS

Alejandro Muñoz
Marcos Tinman
Daniel Quiun

DI-SIC-2001-02
Lima, enero 2001

RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS PERUANOS

Alejandro MUÑOZ (*), Marcos TINMAN (*), Daniel QUIUN (*)

RESUMEN

Sólo desde la década de 1960, los edificios se proyectan y construyen en el país con criterios sismorresistentes; pero ni estos edificios ni en general aquellos construidos en los últimos 100 años, han experimentado los efectos de terremotos severos. Los sismos del siglo XX, han producido en las ciudades importantes del Perú intensidades a lo más de VIII o IX en la escala de Mercalli Modificada; en cambio se han estimado intensidades de hasta XI MM para los terremotos de Lima en 1746 y el de Arica en 1868.

En este artículo se plantea la interrogante de cuán seguras son nuestras edificaciones construidas bajo criterios y normas sismorresistentes, frente a sismos tan destructivos como los ocurridos en los siglos XVIII y XIX en el país o como los recientes de 1,999 en Turquía y Taiwan. Se presenta brevemente un intento de cuantificar los objetivos del Diseño Sismorresistente de Edificios, se comenta sobre la ductilidad y resistencia de nuestras estructuras y sin pretender contestar la interrogante planteada, se discute el uso futuro de los sistemas de protección sísmica para los edificios en el país.

1 Introducción

A lo largo de la historia, muchas obras de ingeniería se han desarrollado sin conocer los principios físicos tras los fenómenos. Basta con recordar los sistemas de regadío de nuestros antepasados, muchas catedrales europeas o la ciudadela de Macchu Pichu.

Gran parte del ejercicio profesional en 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.

(*) Profesor del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú,
Socio de PRISMA INGENIEROS

Son los grandes terremotos los que permiten evaluar el comportamiento de las edificaciones de cada lugar bajo condiciones severas, y permiten así ajustar los procedimientos de diseño y construcción.

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.

2 Terremotos Importantes en el Perú.

El 28 de octubre de 1746 a las 8:30 p.m., se produjo un gran terremoto en la Costa Central del país. 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 3,000 casas existentes sólo quedaron en pie 25. Según se conoce, murieron aproximadamente 1,100 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 1,100 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].

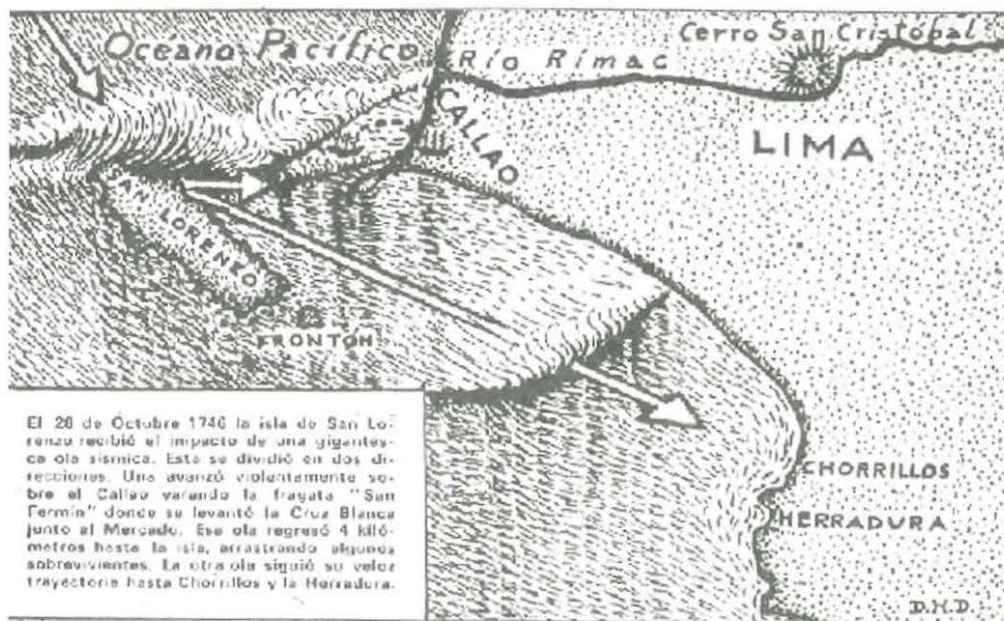


Figura 1. El Tsunami que siguió al terremoto de 1746.

El sismo más grande registrado desde la conquista española, se produjo el 13 de agosto de 1868 a las 4.45 p.m. 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. Moquegua, Tacna y Arica quedaron también en ruinas. La figura 2 muestra el templo de San Antonio de 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.



Figura 2. Terremoto de 1868. Templo de San Antonio, Arequipa, en ruinas

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.

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1940	Lima 1966	Ancash 1970	Lima 1974
Magnitud M_s	8.1	8.2	7.9	7.7	7.9	7.9
Intensidad máxima MM	X- XI	XI	VII-VIII	VIII	VIII-IX	VIII-IX
Altura de Ola Tsunami	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.

No siempre es posible relacionar el tamaño de un tsunami con el tamaño del terremoto que lo produce; sin embargo resulta interesante observar la notable diferencia en la altura de ola; mientras que los tsunamis de 1746 y 1868 alcanzaron 20 m. de ola, los del siglo XX tuvieron alturas 7 veces menores.

3 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].

	Sismos Frecuentes	Sismos Ocasionales	Sismos raros	Sismos muy raros
Periodo de Retorno	45	75	≈500	≈1000
Aceleración en la roca para la costa del país (g)	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.

Sismo de Diseño	Aceleración (g)	Comportamiento Estructural
Sismos Frecuentes (45 años)	0.2	Perfectamente elástico
Sismos Ocasionales (75 años)	0.25	Prácticamente elástico
Sismos raros (500 años)	0.40	Importantes incursiones inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. La estructura puede repararse.
Sismos muy raros (1000 años)	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.

4 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 para la mayoría de las edificaciones, la posibilidad de comportamiento post elástico durante estos sismos.

Los códigos de diseño sismorresistente [Refs. 8, 9, 10] reconocen este hecho y permiten que la resistencia de una estructura sea sólo una fracción de la resistencia requerida para garantizar un comportamiento elástico ideal. A menor resistencia de una estructura, serán más tempranas y severas las incursiones inelásticas durante los sismos severos.

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 (μ).

Parte de la estrategia sismorresistente frente a sismos severos, consiste en proveer a las estructuras de ductilidad y también de una resistencia mínima para evitar exponerlas a demandas sísmicas de energía y ductilidad mayores a las que pueden dar.

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 ≈ 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_μ) 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 han desarrollado estudios para estimar los factores de reducción R_μ adecuados para que las demandas de ductilidad no superen ciertos valores preestablecidos [Refs.6, 14]. En la figura 4 se muestran los resultados de estos estudios para el rango de periodos de los edificios de Lima y para un juego de ductilidades predefinido.

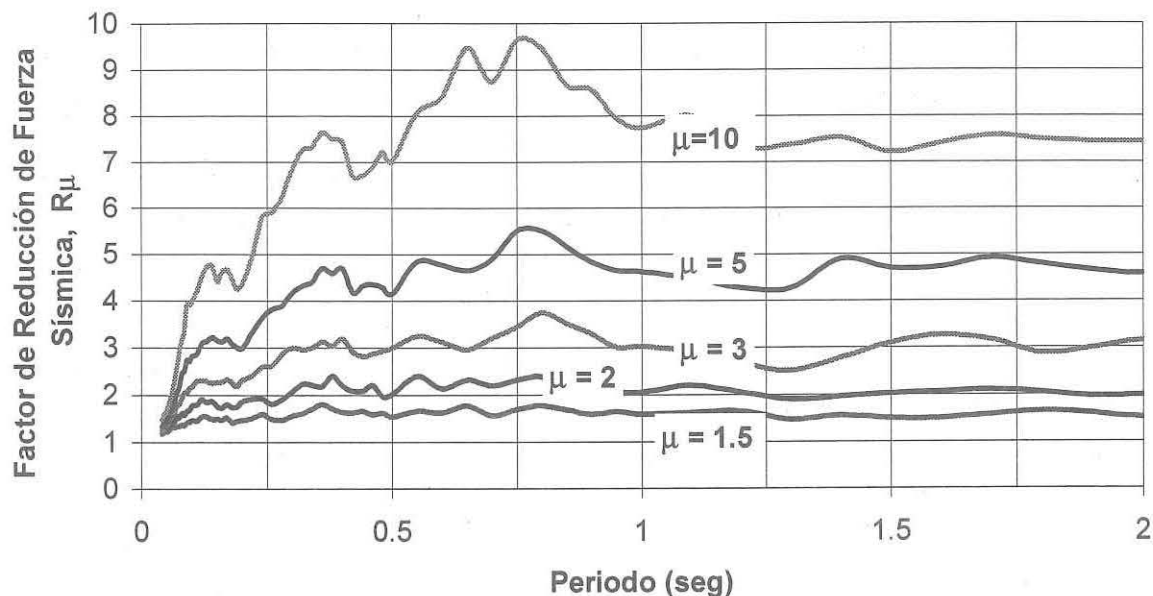


Figura 3 Factor de Reducción de Fuerza Sísmica (R_μ) y ductilidad demandada por terremotos peruanos (μ).

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. ($R_\mu \ll \mu$)

5 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 aporricados.

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.

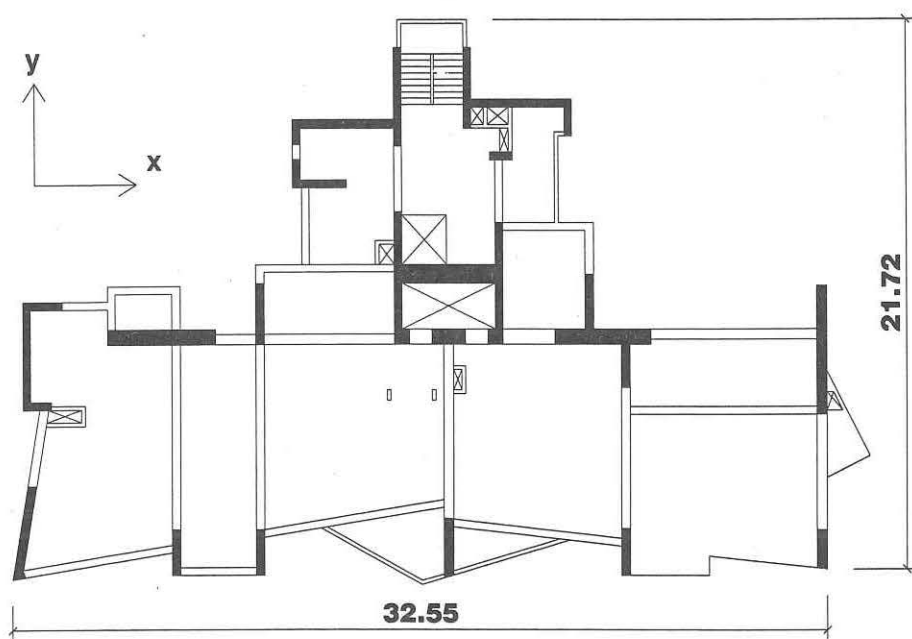


Figura 4. Planta típica de un edificio de concreto armado de 22 pisos

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 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 solicitaciones 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.

6 Comportamiento esperado para los edificios peruanos

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 el actual código. Sin embargo, estos edificios son los que podrían presentar mayores niveles de sobrerresistencia debido entre otras cosas 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.

7 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.

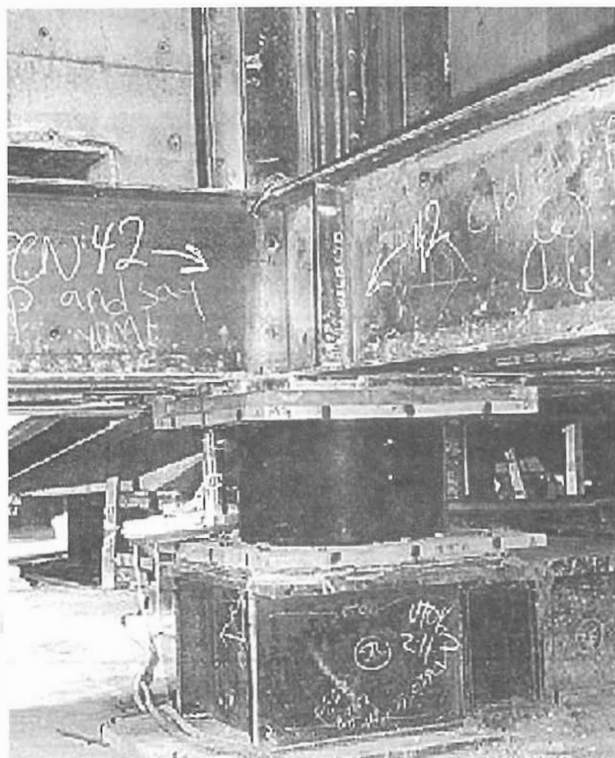


Figura 5.

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.

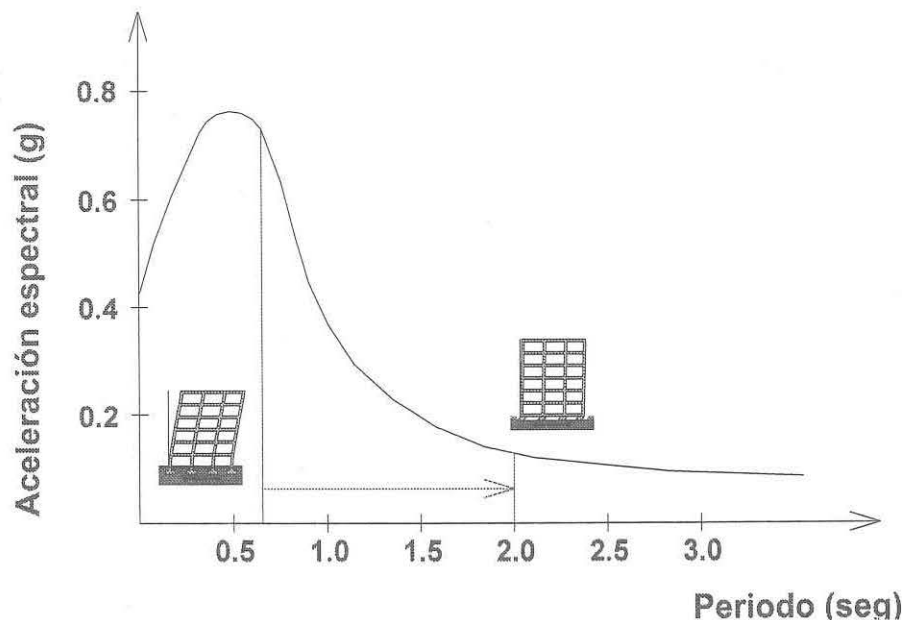


Figura 6 Disminución de las fuerzas sísmicas debido al incremento de periodo logrado por el aislamiento.

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 entrepisos 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.

La figura 7 muestra un dispositivo de alto amortiguamiento ensayado en junio de 1999 por el profesor Egor Popov para la NIPPON STEEL CORPORATION en la Universidad de Berkeley [Ref. 17]. El dispositivo consiste de un núcleo de acero cubierto por concreto dentro de una cubierta metálica. El núcleo de acero puede fluir tanto en tracción como en compresión gracias al confinamiento que recibe del concreto, el que a su vez está protegido por la cubierta metálica.

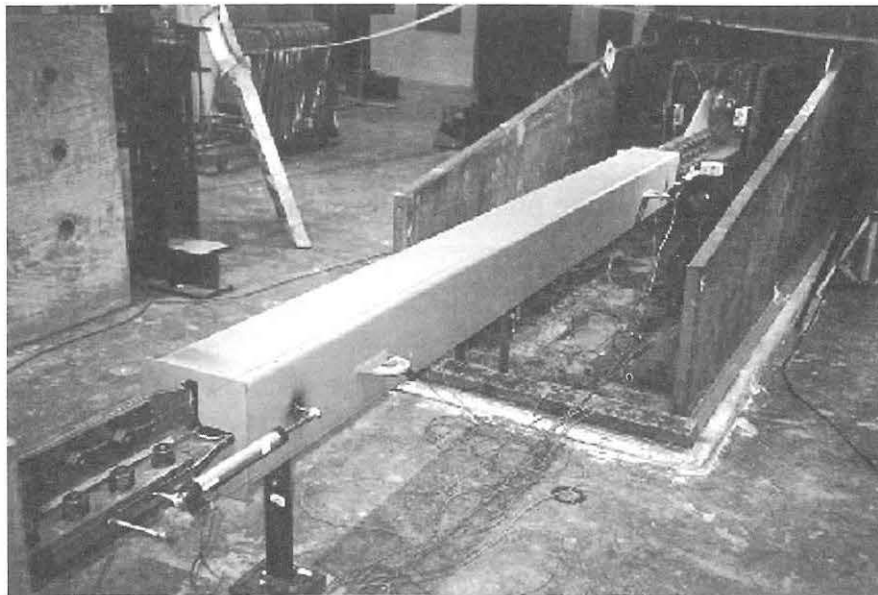


Figura 7. *Dispositivo de amortiguador por fluencia del núcleo de acero en tracción y compresión.*

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.

8 Conclusiones

1. Los sismos de los últimos 100 años en el Perú han sido significativamente menos severos que los acontecidos en los siglos XVIII y XIX.
2. Según la moderna definición de objetivos del diseño sismorresistente de edificios, debería considerarse un evento de 1000 años de periodo de retorno como representación de las condiciones más severas. En cambio, la Norma Peruana considera un sismo de 500 años como evento extremo.
3. 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.

4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Los sistemas modernos de protección sísmica de edificios, constituyen probablemente la mejor alternativa para reducir el daño y mejorar el funcionamiento de los edificios durante y luego de los sismos.
8. Pareciera ser que los sistemas de protección constituirán la mejor alternativa, y tal vez la única, para alcanzar los objetivos recientemente planteados para el diseño sismorresistente de edificios.
9. Las universidades y las industrias ligadas a la construcción en el país, 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.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú por su apoyo permanente y al Dr. Leonidas Ocola del Instituto Geofísico el Perú por la información proporcionada.

Referencias

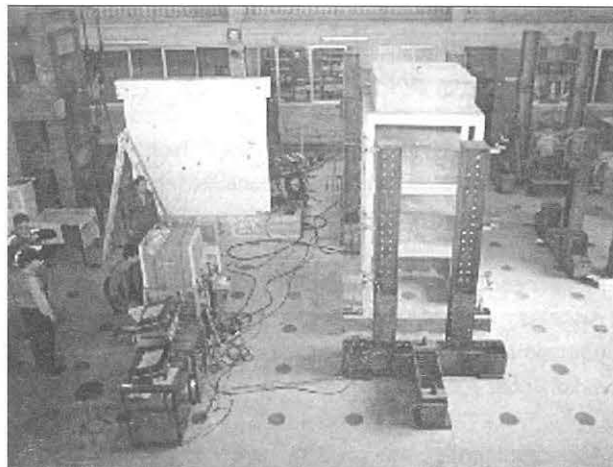
1. Alva Hurtado, Jorge y Castillo Aedo, Jorge Luis. *Peligro Sísmico en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1994
2. Giesecke A. y Silgado E. *Terremotos en el Perú*. Ediciones Rikchay, Perú, 1981
3. Kozak. *Kozak Collection*. National Information Service for Earthquake Engineering, University 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

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

El Laboratorio de Estructuras Antisísmicas del Departamento de Ingeniería, con más de 20 años de experiencia, cuenta con equipo e instalaciones que permiten la ejecución de ensayos estáticos y dinámicos en especímenes a escala natural o reducida. Se dispone de equipo para construcción y traslado de especímenes, montaje de dispositivos, aplicación de carga, medición, adquisición y procesamiento de datos. En el Laboratorio se desarrollan tres tipos de actividades:

- Apoyo a los cursos de Pre-Grado y Maestría
- Investigación en materiales locales para mejorar su comportamiento sísmico
- Servicio Técnico a la Industria de la Construcción



Los ensayos que habitualmente se realizan son:

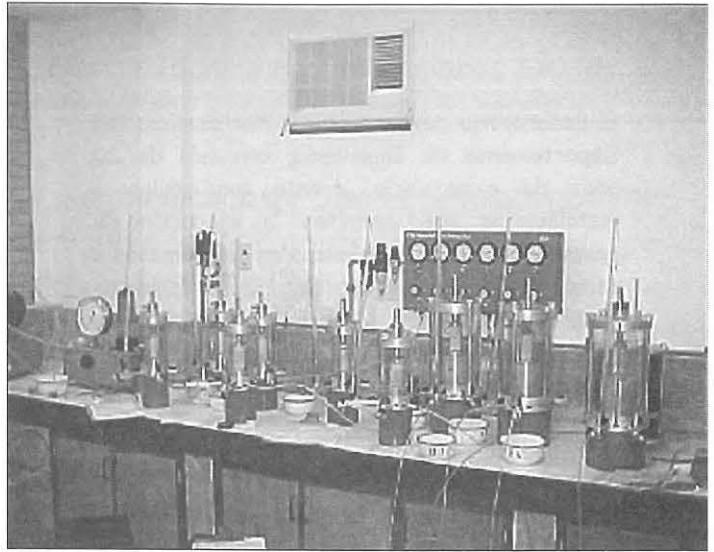
- I.- Ensayos mecánicos: compresión, tracción, flexión, compresión diagonal, corte, impacto, etc. en distintos materiales y elementos estructurales.
- II.- Carga horizontal monotónica y cíclica en sistemas y componentes estructurales.
- III.- Simulación sísmica en modelos a escala natural y reducida.
- IV.- Verificación de equipo de aplicación de carga. Se cuenta con celda de carga patrón calibrada en el National Standards Testing Laboratory, U.S.A.
- V.- Compresión en probetas estándar de concreto. Servicio de recojo de probetas de obra.
- VI.- Determinación de la calidad del concreto fresco in-situ.
- VII.- Determinación de la calidad y uniformidad del concreto endurecido in-situ mediante probetas diamantinas y esclerometría.
- VIII.- Evaluación de la capacidad de estructuras mediante pruebas de carga.
- IX.- Consultoría en temas de estructuras y de patología estructural en general.

Cualquier información adicional al 460-2870 anexo 259, Directo/fax 261-8889, e-mail ledi@pucp.edu.pe

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Es el Laboratorio de Ingeniería más antiguo de la Universidad, ya que fue inaugurado en 1967. El área del Laboratorio de Mecánica de Suelos, incluyendo oficinas es de 720 m².

Se cuenta con el equipo exigido por los estándares internacionales: balanzas mecánicas y electrónicas, hornos, mallas y tamices, picnómetros, cucharas de Casagrande, permeámetros, consolidómetros, martillos y moldes de compactación, densímetro nuclear, prensa C.B.R. electrónica, equipo para compresión no confinada, cono de arena, equipo de corte, muestreadores, máquina de abrasión de Los Angeles, equivalente de arena, prensa Marshall, equipos para realizar diversos ensayos en mezclas asfálticas.



Adicionalmente se cuenta con un equipo que permite efectuar ensayos de compresión triaxial en especímenes de hasta 100 mm de diámetro.

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos se realizan los siguientes ensayos en suelos, agregados para concreto y asfalto y mezclas asfálticas:

I.- ENSAYOS DE CLASIFICACION: Contenido de humedad, peso específico de sólidos, densidad natural, análisis granulométrico (tamizado y sedimentación), límites de consistencia.

II.- ENSAYOS DE CONTROL: Proctor estándar y modificado y controles de densidad en el campo.

III.- ENSAYOS PARA DISEÑO: C.B.R., compresión simple, corte directo.

IV.- ENSAYOS TRIAXIALES: UU, CU y CD en muestras de 35, 50, 70 y 100 mm de diámetro.

V.- ENSAYOS ESPECIALES EN SUELOS: consolidación, expansión, permeabilidad, compactación tipo Harvard, Pinhole Test

VI.- DETERMINACION DE PROPIEDADES DE SUELOS EN EL CAMPO: toma de muestras, descripción visual - manual, SPT, auscultación con cono tipo Peck, pruebas de carga

VI.- AGREGADOS PARA CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO: granulometrías, peso específico y absorción, peso unitario volumétrico, impurezas orgánicas, contenido de arcilla, partículas ligeras, porcentaje menor que la malla #200, inalterabilidad en sulfato de sodio, abrasión de Los Ángeles, equivalente de arena, partículas chatas y alargadas y caras fracturadas; diseño y rotura Marshall, lavado asfáltico y viga Benkelman.

Estos ensayos permiten obtener los parámetros necesarios para el diseño de edificios, puentes, plantas industriales, proyectos mineros, obras portuarias, presas, carreteras, aeropuertos, canales, terraplenes, taludes, etc. Asimismo, nuestra unidad está en condiciones de efectuar estudios de Mecánica de Suelos completos, para los diferentes proyectos de Ingeniería Civil.

Cualquier información adicional al Tel/Fax 460-4510, o a nuestra dirección electrónica : suelos@pucc.edu.pe

Publicaciones Recientes de la Sección Ingeniería Civil

Publicación DI-97-01

El Terremoto de Nasca del 12 de Noviembre de 1996

Daniel Quiun, Daniel Torrealva, Angel San Bartolomé, Luis Zegarra
Enero, 1997

Publicación DI-97-02

Daños en estructuras de concreto armado ocasionados por el sismo de Nasca en noviembre de 1996

Alejandro Muñoz P., Antonio Montalbetti S., Marcos Tinman B.
Febrero, 1997

Publicación DI-98-01

Fuerzas de Diseño y Control de Desplazamientos en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente

Alejandro Muñoz P.
Febrero, 1998

Publicación DI-98-02

Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E-050, Suelos y Cimentaciones

Manuel Olcese F., Jorge Zegarra P.
Febrero, 1998

Publicación DI-SIC-99-01

Estudio Experimental de una Técnica de reforzamiento para Edificaciones Existentes con problemas de columna corta.

Proyecto de Investigación SENCICO - PUCP

Angel San Bartolomé, Alejandro Muñoz P.,
Daniel Quiun, Maricella Durán, César Rivera.

Junio, 1999

Correspondencia:

Pontificia Universidad Católica del Perú
Departamento de Ingeniería - Sección Ing. Civil
Apartado 1761 - Lima - PERÚ.

Teléfono: 51-1-460-2870 (ext. 190)

Fax: 51-1-463-6181

e-mail: civil@pucp.edu.pe

<http://www.pucp.edu.pe/unid/facul/cing/civil>