

EL INGENIERO CIVIL

"Hora de la reconstrucción, actuando con responsabilidad,
profesionalismo y con calidad internacional"



- ◆ El Sismo de Arequipa del 2001 y la Vulnerabilidad de las Edificaciones Peruanas
- ◆ Características Geotécnicas del Suelo de Iquitos, Perú
- ◆ El Nuevo Estadio Alianza Lima





EL SISMO DE AREQUIPA DEL 2001 Y LA VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES PERUANAS

Alejandro Muñoz P. , Marcos Tinman B.

Profesores del Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Socios de Prisma Ingenieros Consultores

1. INTRODUCCION

En la tarde del sábado 23 de junio del 2001 se produjo un sismo en el Sur del Perú, con epicentro frente a las costas del departamento de Arequipa. El terremoto afectó la región sur de país, y ciudades en Chile y Bolivia; el tsunami que siguió al evento afectó severamente la zona costera de Camaná.

Pese a que las intensidades en la zona afectada no fueron muy elevadas, el terremoto causó un impacto social y económicamente importante. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil el número de damnificados asciende a 220,000 y los fallecidos reportados a 83.

Las viviendas de adobe fueron las más castigadas, un gran número de estas colapsó y muchas otras quedaron a punto de desplomarse. Los locales escolares tradicionales mostraron una vez más, su elevada vulnerabilidad y algunos hospitales interrumpieron sus servicios por el daño extendido que tuvieron. Los monumentos históricos sufrieron daños severos. En las carreteras se presentaron derrumbes en tramos en corte y fallas de algunas zonas de relleno.

Para la Ingeniería Civil, el sismo de Arequipa es sin duda uno de los más importantes de las últimas décadas. El evento nos ha recordado lo vulnerables que son las viviendas de tierra, los locales escolares tradicionales y nuestros hospitales.

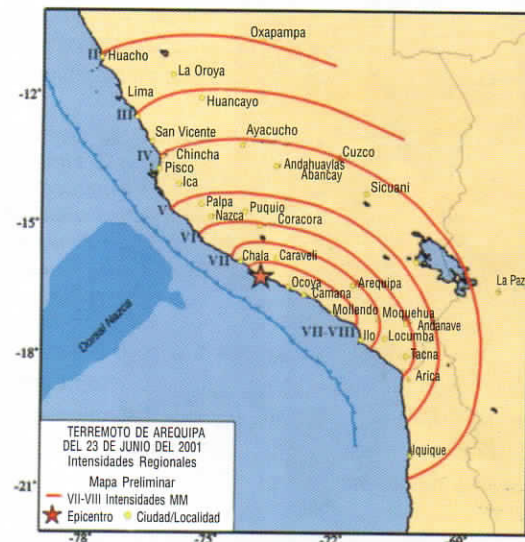
En este artículo se resumen los daños producidos por el terremoto, se presenta una experiencia exitosa en la protección de viviendas de tierra y se esbozan algunas ideas relacionadas al reforzamiento de las edificaciones esenciales.

2. SEVERIDAD DEL EVENTO

La Oficina del Departamento del Interior de los Estados Unidos USGS, asignó al evento una magnitud $M_w = 8.4$. El Instituto Geofísico del Perú (IGP), reportó la magnitud como $M_s = 7.9$.

En comparación a los terremotos de Lima-1746 y Arica-1868, el sismo de Arequipa resulta pequeño, tanto como evento geológico como por sus efectos destructivos.

El sismo de Arequipa fue de tamaño similar al de 1970 en Huaraz ($M_s = 7.8$), pero con intensidades menores según los reportes del IGP (Figura 1)



Desde el punto de vista de Ingeniería y en función de los daños observados y las intensidades reportadas, el sismo puede calificarse como moderado.

3. DESEMPEÑO DE CENTROS EDUCATIVOS

La foto 1 muestra el centro escolar Casimiro Cuadros en Arequipa, cuyos pabellones fueron construidos en épocas diferentes, empleando normas y criterios de diseño distintos y con una marcada diferencia en la calidad de construcción.



Foto 1. Centro Educativo Casimiro Cuadros en Arequipa.



En este centro educativo, el sismo debió mover la cimentación de todos los bloques, de manera muy parecida, ya que están sobre el mismo perfil de suelo y hasta algunos tienen la misma orientación. Sin embargo cada pabellón tuvo un comportamiento distinto. Los pabellones tradicionales con sistemas muy flexibles, tuvieron fallas de columna corta. En uno de estos pabellones la mala calidad de la construcción, agudizó el problema a tal extremo que probablemente la mejor alternativa sea su demolición (Foto 2). En cambio el pabellón rígido, construido con los criterios del código peruano vigente no presentó daño, ni en la propia estructura ni en los elementos no-estructurales.



Foto 2. Falla de columna corta en un pabellón del Centro Educativo Casimiro Cuadros, Arequipa.

Lo que se encontró en el Colegio "Casimiro Cuadros" es un buen ejemplo de lo observado en otros centros educativos de la zona afectada: pabellones muy flexibles con daños por problemas de columna corta (Foto 3) y pabellones rígidos sin daños.



Foto 3. Falla en todas las columnas del primer piso por el problema de columna-corta, Centro Educativo Mariscal Cáceres, Tacna.

El colegio Angela Barrios fue el más afectado en la ciudad de Moquegua (Foto 4). En el pabellón de la esquina, las columnas interiores fallaron por el problema de columna corta perdiendo más de 30 cm. de altura; luego el techo se inclinó y sobrevino la falla en las columnas exteriores (Fotos 5 y 6). El colegio se ubica en un terreno con pendiente, y el pabellón dañado se encuentra elevado entre 2 y 4 metros sobre el nivel del terreno natural. Es probable que un



Foto 4. Daño irreparable en el Centro Educativo Angela Barrios de Moquegua.



Foto 5. Falla de columna corta con pérdida de altura en todas las columnas interiores (a la derecha) del Centro Educativo Angela Barrios, Moquegua.



Foto 6. Falla de cortante en columna exterior del Centro Educativo Angela Barrios, Moquegua.

problema de cimentación y mala calidad constructiva hayan agudizado la vulnerabilidad natural del sistema estructural empleado.

El nuevo local del Colegio "Santa Fortunata" en el Cerrillo, Moquegua (Foto 7) es arquitectónica y estructuralmente algo diferente al colegio estatal tradicional. El sistema estructural consiste de pórticos de concreto armado adecuadamente aislados de los tabiques y ventanas (Foto 8). Según información proporcionada por el personal administrativo del colegio, se trataría de un proyecto desarrollado en México. La estructura del local no sufrió daño, pero los tabiques aislados de la estructura, quedaron inestables con una gruesa grieta de separación en su base (Foto 9).



Foto 7. Moderno local del Colegio Santa Fortunata, en El Cerrillo, Moquegua.



Foto 11. Daños menores en antiguo local del Colegio Salesiano de Arequipa



Foto 8. Vigas y columnas separadas de los elementos no-estructurales, Colegio Santa Fortunata en El Cerrillo, Moquegua.

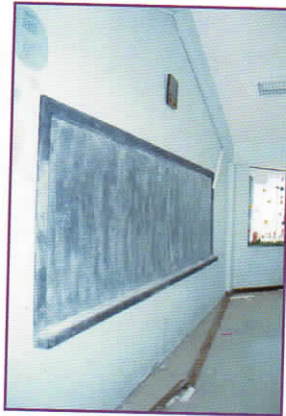


Foto 9. Los tabiques aislados y mal arriostrados quedaron inestables, Colegio Santa Fortunata en El Cerrillo, Moquegua.

Los locales escolares de mayor antigüedad presentaron daños muy variados. Mientras que los daños en el local antiguo del colegio Santa Fortunata fueron severos, (Foto 10), el Colegio Salesiano de Arequipa presentó daños menores(Foto 11).

muchos pabellones (Foto 12). En el pabellón de Ingeniería Electrónica se había tratado de evitar el problema de columna corta empleando ventanas entre la columna y los tabiques; sin embargo la poca rigidez del edificio y el marco de la ventana fueron suficientes para que se iniciara la falla (Foto 13). En el edificio de la Biblioteca, dos escaleras tipo alfombra unidas al suelo y al primer techo, fallaron al verse solicitadas axialmente debido a que el movimiento



Foto 12. Daño típico de columna corta en edificios de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

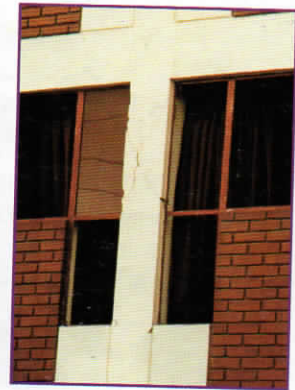


Foto 13. Problema de columna corta ocasionado por interacción con el marco de la ventana.

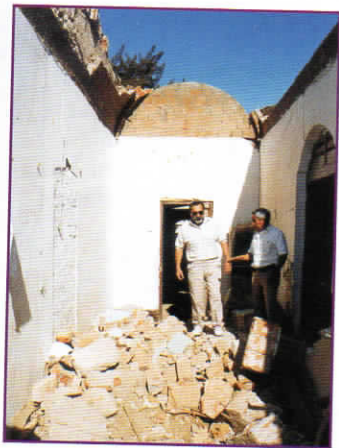


Foto 10. Caída de bóveda en el local antiguo del Colegio Santa Fortunata, Moquegua.

En la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa los daños también se debieron a la excesiva flexibilidad de los edificios, lo que ocasionó la falla de columna corta en



Foto 14. Colapso de una escalera tipo alfombra al verse solicitada axialmente, Universidad San Agustín de Arequipa.



En toda la región afectada, los edificios educativos construidos según los criterios de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997 no presentaron daño, ni en la estructura, ni en tabiques, puertas o ventanas. El sistema estructural de estos bloques consiste en muros de albañilería en una dirección y columnas de peralte importante en la dirección longitudinal (Foto 15).



Foto 15. Centro educativo construido de acuerdo a la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997 sin daño alguno, Arequipa.

4. DESEMPEÑO DE HOSPITALES

Durante el sismo, se produjeron daños muy pequeños en las estructuras de los hospitales de la zona afectada. Sin embargo, dos Hospitales importantes tuvieron que ser evacuados.

El pabellón más alto del hospital Nacional "Carlos Alberto Segúin" de Arequipa no tuvo daño estructural; pero, debido al daño extendido en la tabiquería se desalojaron todos los pisos salvo el primero (Fotos 16 y 17).



Foto 16. Hospital Nacional Carlos Alberto Segúin de Arequipa sin daño estructural pero desalojado por daños en la tabiquería.



Foto 17. Daños en la tabiquería del Hospital Carlos Alberto Segúin, Arequipa.

En el Hospital Hipólito Unanue en Tacna, además de los daños en la tabiquería se produjeron daños en las redes de agua y desagüe (Foto 18). Se desalojaron todos los pisos superiores del edificio más alto y se improvisaron instalaciones de emergencia (Foto 19).



Foto 18. Averías en las redes de agua del Hospital Hipólito Unanue, Tacna.



Foto 19. Desalojo en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna por daños no-estructurales.

Los Hospitales importantes de la zona afectada se construyeron hace varias décadas sin los criterios de seguridad ni los conocimientos de Ingeniería Sismorresistente que se manejan hoy en día. El sistema estructural de estos edificios consiste de pórticos de concreto armado que sólo se diseñaron para tomar cargas de gravedad, razón por la cual no tienen la resistencia y rigidez adecuada frente a sismos (Foto 20). Sin embargo en ambas direcciones de estos edificios, existe una cantidad importante de tabiques adosados a la estructura de con-

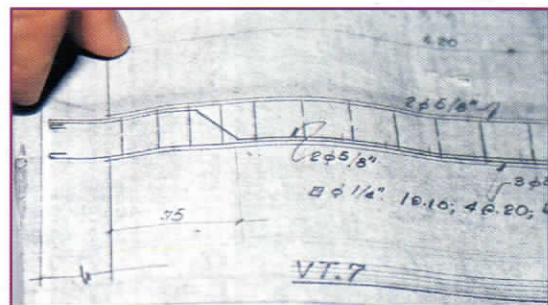


Foto 20. Detalle del Refuerzo en una viga del Hospital Carlos Alberto Segúin de Arequipa. Note los escasos estribos y el doblado del hierro.



creto, los cuales redujeron los desplazamientos laterales y al dañarse disiparon energía y protegieron el sistema de carga vertical (Foto 21).



Foto 21. Los tabiques del Hospital Carlos Alberto Seguín controlaron los desplazamientos laterales y disiparon energía durante el sismo.

5. VIVIENDAS

Las viviendas más afectadas fueron las de tierra (Foto 22). El daño más severo se produjo en las construcciones recientes de adobe levantadas sin dirección técnica por pobladores de escasos recursos económicos. En el sector de San Francisco en Moquegua se registraron los mayores daños y colapsos por esta causa.



Foto 22. Colapso de viviendas de adobe en Moquegua

En Arequipa las viviendas de Sillar también sufrieron daños importantes y algunas colapsaron (Foto 23). Muchas bóvedas se agrietaron por el movimiento de sus apoyos y algunos muros se movieron fuera de su plano.



Foto 23. Vivienda de sillar colapsada en Arequipa.

Algunas viviendas de concreto y albañilería colapsaron (Fotos 24 y 25) y otras sufrieron daño severo (Fotos 26 y 27). En la zona afectada, la calidad estructural de las



Fotos 24 y 25. Viviendas colapsadas de tres pisos en albañilería y concreto armado, Tacna.



Fotos 26 y 27. Viviendas de albañilería y concreto armado con daño irreparable, Tacna.

viviendas de material noble es muy variable; muchas viviendas se construyen sin dirección técnica y ya terminadas son altamente vulnerables. Las fotos 28 y 29 corresponden a dos viviendas en la misma calle, una frente a otra; luego del sismo la vivienda de foto 29 no tuvo daño. Alto Alianza y Ciudad Nueva en Tacna, son las zona con viviendas de material noble más afectadas; todo hace suponer que las condiciones de suelo propiciaron el incremento en las solicitaciones sísmicas y pusieron al descubierto las viviendas mal construidas.



Foto 28. Falla por mecanismo de piso blando en una vivienda en Tacna.



Foto 29. Vivienda sin daños a pocos metros de vivienda con daño irreparable.

6. MONUMENTOS HISTORICOS

Las ciudades de Arequipa y Moquegua albergan importantes construcciones coloniales y otros monumentos históricos, que fueron afectados.

Una de las torres de la catedral de Arequipa colapsó y cayó atravesando el techo abovedado (Fotos 30 y 31).

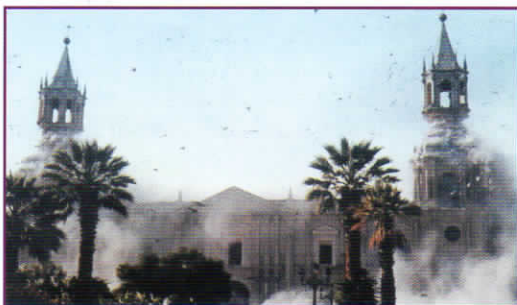


Foto 30. La catedral de Arequipa instantes antes de la caída de una de sus torres.



Foto 31. La torre izquierda de la Catedral de Arequipa perforó el techo en su caída.

Importantes iglesias en Arequipa sufrieron daños en sus muros, contrafuertes y bóvedas (Fotos 32 y 33).



Foto 32. Las torres de la Iglesia de Santa Marta de Arequipa, sufrieron daños al proteger el cuerpo central.



Foto 33. Grietas en los contrafuertes en la Iglesia Santa Marta de Arequipa, al controlar el movimiento del cuerpo central.

Algunos muros de cerco de sillar y barro colapsaron por sollicitaciones fuera de su plano (Foto 34)



Foto 34. Daños en el muro perimetral en la Iglesia de Santa Teresa, Arequipa.

En Moquegua la Co-Catedral sufrió el colapso parcial de muros y el agrietamiento importante en bóvedas y cúpulas (Foto 35). El único muro en pie de la Catedral destruida en el terremoto de 1746, sufrió desprendimientos parciales (Foto 36).



Foto 35. Daños importantes en la Co-Catedral de Moquegua.

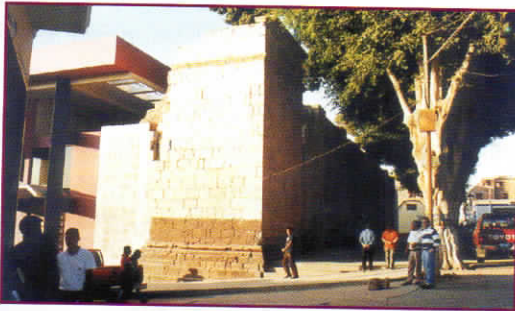


Foto 36. Desprendimiento de unidades de piedra en el único muro existente de la Catedral de Moquegua, destruida en el terremoto de 1746.

7. OTROS EDIFICIOS

El edificio de Registros Públicos en la ciudad de Moquegua sufrió daño importante en la tabiquería y pequeños daños estructurales en una zona de ampliación (Foto 37).



Foto 37. Daños en el Edificio de Registros Públicos de Moquegua.

La Villa Médica en la ciudad de Arequipa es un grupo de 6 edificios de 14 pisos estructurados con muros y pórticos de concreto armado. El proyecto data de 1997. Durante el sismo ningún edificio sufrió daño estructural y sólo algunos tabiques mal aislados presentaron daño al interactuar con la estructura.

Sin embargo, edificios rígidos muy antiguos de albañilería quedaron sin daño (Foto 38). No se encontraron edificios que habiendo sido proyectados con la Norma Peruana Sismorresistente del 1997 experimentaran daño.



Foto 38. Edificio de departamentos muy rígido y antiguo sin daños en Tacna.

8. REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD

En todos los terremotos de las últimas décadas hemos visto el colapso masivo de viviendas de tierra, gran daño en los locales escolares y hasta la interrupción de los servicios en las instalaciones de salud.

¿Qué ha hecho la Ingeniería Civil en estos últimos años para reducir la vulnerabilidad, de nuestras construcciones?. A continuación algunos comentarios al respecto.

Las viviendas de Tierra

Luego de algunos años de investigación se ve hoy con claridad que es prácticamente imposible evitar el daño severo o el colapso de las viviendas de tierra durante sismos importantes. Los estudios se han reorientado hoy a desarrollar sistemas constructivos y sistemas de reforzamiento con objetivos más modestos. Se persigue tan sólo que en sismos moderados el daño sea muy reducido y que en sismos severos el colapso se postergue tanto como sea posible, para permitir una rápida evacuación de los ocupantes.

Con objetivos similares, el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) con financiamiento de GTZ de Alemania desarrollaron entre 1994 y 1999 el proyecto "Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos". Los ensayos de simulación sísmica (Laboratorio de Estructuras de la PUCP) mostraron que los mejores resultados se obtenían con franjas de reforzamiento verticales y horizontales en las esquinas y la parte superior de las viviendas. Estas franjas se hacen en el interior y exterior de los muros con mallas electrosoldadas de alambre, clavadas e interconectadas entre si y luego cubiertas con tarrajeo de cemento:arena. (Foto 39).

Empleando esta técnica, en 1998 en Yacango y Estuquiña (Moquegua), Caplina (Tacna) y Arica (Chile) se reforzaron 6 viviendas existentes. Durante el sismo del 2001, ninguna



Foto 39. Reforzamiento de viviendas de adobe existentes empleando franjas de malla electrosoldada tarrajada, poblado de Yacango, Moquegua.

de estas viviendas sufrió daño, mientras que viviendas vecinas quedaron seriamente dañadas o colapsaron (Foto 40). El éxito de esta experiencia ha motivado el interés de muchas instituciones del estado y organismos no gubernamentales que consideran su empleo en la reconstrucción y reducción de la vulnerabilidad en construcciones de tierra.



Foto 40. Vivienda reforzada sin daño junto a otras muy dañadas, Yacango, Moquegua

LA NORMA PERUANA SISMORRESISTENTE

Los edificios construidos siguiendo los criterios indicados en el código de 1997 (Norma NTE-030) no sufrieron daño, en particular los locales escolares tuvieron un excelente comportamiento. Esta experiencia no constituye una garantía de buen desempeño para sismos severos; sin embargo, podemos esperar que estos edificios y aquellos que se construyan en el futuro, siguiendo esta Norma, tendrán un buen desempeño en los sismos moderados que con relativa frecuencia se presentan en nuestro territorio.

LOCALES ESCOLARES Y HOSPITALES

El comportamiento observado en el terremoto de Arequipa hace suponer que en futuros sismos moderados, los locales escolares construidos luego de 1997 no tendrán que ser reparados como se tuvo que hacer en los sismos anteriores (Nasca 1996, Lima 1974, Huaraz 1970, Lima 1966, etc.).

Sin embargo la mayor parte de los centros educativos se han construido antes de 1997 y por tanto la gran mayoría

de los edificios educativos son altamente vulnerables. Es de esperar que otro sismo moderado similar al de Arequipa, en cualquier parte del territorio, dañe seriamente los locales escolares y sea luego necesario invertir sumas importantes en la reparación.

Es necesario poner en marcha un plan de reforzamiento para estas edificaciones con el objetivo de reducir los daños que ocasionan los sismos moderados que nos sorprenden con cierta frecuencia. Pretender un reforzamiento que asegure el comportamiento óptimo en sismos severos llevaría a un sistema de reforzamiento muy caro y por tanto poco viable por razones económicas. Se debe buscar un sistema sencillo y económico que garantice al menos la reducción del daño en sismos moderados y que de hecho mejorará también el comportamiento en sismos severos.

La foto 41 muestra un edificio escolar tradicional en la zona afectada, que no tuvo daño. Este pabellón fue construido en el límite de propiedad del centro educativo y



Foto 41. Pabellón tradicional aporticado sin daños gracias al muro de cierre completo en la cara paralela a la fachada principal.



Foto 42. Muro longitudinal de cierre que controló el desplazamiento lateral y evitó el problema de columna corta en un pabellón aporticado tradicional.

por tanto se cerró con un muro a todo lo largo. La foto 42 muestra el interior con daños pequeñísimos sólo en el tarrajeo en la línea de contacto del muro y el pórtico. Esta experiencia sugiere una alternativa de reforzamiento económica y de fácil ejecución que consistiría en incluir nuevos muros de relleno en algunos paños adosados directamente a la estructura en la dirección flexible.



El problema del reforzamiento sísmico de los Hospitales es de naturaleza más compleja; por un lado está la antigüedad de estas edificaciones y por otro el nivel de seguridad que se debería dar a estas instalaciones.

Pretender hacer que un edificio diseñado y construido hace décadas tenga el desempeño de un edificio moderno es una tarea técnicamente complicada e imposible de resolver en muchos casos. Por otro lado, desde el punto de vista económico desarrollar un sistema de reforzamiento estructuralmente muy ambicioso puede conducir a un monto de obra tan elevado que el proyecto deja de ser viable y el edificio queda finalmente sin protección. Es claro que al decidir el nivel de reforzamiento apropiado, se deberá contemplar la factibilidad económica de todo proyecto.

9. CONCLUSIONES

- El sismo de Arequipa de junio del 2001 fue un evento moderado que aunque comparable al terremoto de Huaraz de 1970, resulta pequeño en relación a los sismos históricos de Lima-1746 y Arica-1868.
- Pese a que el sismo fue moderado produjo un impacto económico y social considerable y puso a prueba nuestro nivel de organización para manejar una emergencia.
- El evento nos mostró una vez más lo vulnerables que son las construcciones de tierra, los locales escolares y los hospitales.
- Desde el punto de vista de la Ingeniería Estructural, el evento nos confirma una vez más el mal desempeño que pueden tener las edificaciones flexibles de pórticos

de concreto, y la facilidad con que este sistema estructural permite la formación de columnas cortas. Junto a esto, el terremoto también confirmó el buen desempeño de las edificaciones rígidas de albañilería y concreto armado.

- El comportamiento exitoso que tuvieron durante el sismo las viviendas de tierra reforzadas y los edificios construidos con la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997, constituyen un aporte importante de la Ingeniería Nacional en las tareas de reducción de daños por desastres naturales.
- Dado que los edificios de hospitales y centros educativos son de características similares en todo el país, es de esperar que cualquier terremoto moderado como el último del sur, ocasione daños considerables en locales escolares tradicionales y en hospitales antiguos.
- Es necesario ejecutar un programa de reforzamiento de centros educativos y hospitales con metas acordes a las posibilidades económicas del país. Se deben plantear sistemas de reforzamiento que garanticen una reducción significativa del daño en sismos moderados, pero sin pretender lograr un comportamiento óptimo en sismos severos, ya que muchas veces esto es técnicamente imposible y con frecuencia poco viable en términos económicos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Colegio de Ingenieros del Perú y a la Pontificia Universidad Católica del Perú por su apoyo en los viajes a la zona afectada y la preparación de este artículo.



- Diseño de Estructuras
- Proyectos de Edificaciones
- Reforzamiento y Patología de Construcciones
- Riesgo Sísmico
- Evaluación de Daños

Prolongación Arenales 689, Lima 18 - Perú Telf./Fax: 440-5347 Fax: 421-2684 Telf.: 422-1166 / 422-8482
e-mail: prismaing@terra.com.pe