

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

Alejandro Muñoz¹, Marcos Tinman¹

¹ Profesor del Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, PERÚ
Socio de PRISMA INGENIERIOS CONSULTORES, Lima, PERÚ

RESUMEN

En este artículo se describe el comportamiento de las edificaciones en la zona afectada por el terremoto de Arequipa del 2001. Se hacen algunas reflexiones acerca de la vulnerabilidad de las edificaciones peruanas, y lo que ha hecho al respecto la ingeniería nacional. Se presenta una experiencia exitosa en la protección de viviendas de tierra y se esbozan algunas ideas para la protección de edificaciones esenciales a costos moderados.

SUMMARY

This paper describes the observed behavior of buildings located in the areas affected by the Arequipa, Peru, earthquake of 2001. Some considerations are offered regarding the seismic vulnerability of Peruvian constructions and the corresponding response of the Peruvian engineering community. A successful experience in the seismic protection of earthen dwellings is reported, and some ideas are presented on the low cost protection of essential buildings.

INTRODUCCIÓN

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. La Oficina del Departamento del Interior de los Estados Unidos USGS, asignó al evento una magnitud $M_w = 8.4$ (Ref 1) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP), reportó la magnitud como $M_s = 7.9$ (Ref 2.)

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 evento tuvo una magnitud comparable con el terremoto de 1970 en el Norte del Perú ($M_s = 7.8$), pero con intensidades menores según los reportes del IGP (Ref 2).

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

DESEMPEÑO DE CENTROS EDUCATIVOS

La foto 1 muestra el centro escolar Casimiro Cuadros (Arequipa), cuyos pabellones fueron construidos en épocas diferentes, con normas y criterios distintos y con una marcada diferencia en la calidad de construcción. El sismo debió mover la cimentación de todos los bloques, de manera similar, sin embargo cada pabellón tuvo un comportamiento distinto. Los pabellones tradicionales 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 alguno.



Foto 1. Centro Educativo Casimiro Cuadros en Arequipa



Foto 2. Falla de columna corta en un pabellón del CE Casimiro Cuadros

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 y pabellones rígidos sin daños.

El colegio Angela Barrios fue el más afectado en la ciudad de Moquegua. En un pabellón de esquina, las columnas interiores tuvieron falla de columna corta y perdiendo 30 cm. de altura; luego el techo se inclinó y sobrevino la falla en las columnas exteriores (Fotos 3 y 4). 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 problema de cimentación y mala calidad constructiva hayan agudizado la vulnerabilidad natural del sistema estructural empleado.



Foto 3. Falla de columna corta con pérdida de altura, C.E. Angela Barrios, Moquegua.



Foto 4. Falla de cortante en columna C.E. Angela Barrios, Moquegua.

El nuevo local del Colegio “Santa Fortunata” en el Cerrillo, Moquegua es arquitectónica y estructuralmente algo diferente al colegio estatal tradicional en el Perú. El sistema estructural consiste de pórticos de concreto armado adecuadamente aislados de los tabiques y ventanas (Foto 5). 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 6).

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

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 muchos pabellones. En el pabellón de Ingeniería Electrónica se trató de evitar este problema 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 7). 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 del edificio no pudo ser controlado por el sistema aporricado. (Foto 8).



Foto 6. Los tabiques aislados y mal arriostrados quedaron inestables, CE Santa Fortunata El Cerrillo.



Foto 5. Vigas y columnas separadas de los elementos no-estructurales, Colegio Santa Fortunata, Moquegua.



Foto 7. Problema de columna corta por interacción con el marco de la ventana. Universidad San Agustín, Arequipa.



Foto 8. Colapso de escalera tipo alfombra al ser solicitada axialmente, Universidad San Agustín, Arequipa.

En toda la región afectada, los edificios educativos construidos según los criterios de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997 (Ref 3) 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 9).



Foto 9.
Centro educativo construido de acuerdo a la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997 sin daño, Arequipa.

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 Seguín” de Arequipa no tuvo daño estructural; pero, debido al daño extendido en la tabiquería se desalojaron todos los pisos salvo el primero (Fotos 10).



Foto 10.

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

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 11). Se desalojaron todos los pisos superiores del edificio más alto y se improvisaron instalaciones de emergencia.

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. Sin embargo, en ambas direcciones de estos edificios, existe una cantidad importante de tabiques adosados a la estructura de concreto, los cuales redujeron los desplazamientos laterales y al dañarse disiparon energía y protegieron el sistema de carga vertical (Foto 12).



Foto 11. Averías en las redes de agua del Hospital Hipólito Unanue, Tacna.



Foto 12. Los tabiques del Hospital Carlos Alberto Segúin controlaron los desplazamientos laterales y disiparon energía.

VIVIENDAS

Las viviendas más afectadas fueron las de tierra (Foto 13). 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.

En Arequipa las viviendas de Sillar también sufrieron daños importantes y algunas colapsaron (Foto 14). Muchas bóvedas se agrietaron por el movimiento de sus apoyos y algunos muros se movieron fuera de su plano.



Foto 13. Colapso de viviendas de adobe en Moquegua



Foto 14. Vivienda de sillar colapsada en Arequipa.

Algunas viviendas de concreto y albañilería colapsaron (Fotos 15 y 16) y otras sufrieron daño severo. En la zona afectada, la calidad estructural de las viviendas de material noble es muy variable; muchas viviendas se construyen sin dirección técnica y ya terminadas son altamente vulnerables. Las fotos 17 y 18 corresponden a dos viviendas en la misma calle, una frente a otra; luego del sismo la vivienda de foto 18 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.



Fotos 15 y 16. Viviendas colapsadas de tres pisos en albañilería y concreto, Tacna.



Foto 17. Falla por mecanismo de piso blando en una vivienda en Tacna.



Foto 18. Vivienda sin daños a pocos metros de otra con daño irreparable.

MONUMENTOS HISTÓRICOS

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 19 y 20). Importantes iglesias en Arequipa sufrieron daños en sus muros, contrafuertes y bóvedas (Foto 21).



Foto 19. La catedral de Arequipa instantes antes de la caída de una de sus torres.



Foto 20. La torre izquierda de la Catedral de Arequipa perforó el techo al caer.



Foto 21. Iglesia Santa Marta, Arequipa, con contrafuertes agrietados al controlar el movimiento del cuerpo central.



Foto 22. Daños en el muro perimetral en la Iglesia de Santa Teresa, Arequipa.

Algunos muros de cerco de sillar y barro colapsaron por sollicitaciones fuera de su plano (Foto 22). En Moquegua la Co-Catedral sufrió el colapso parcial de muros y el agrietamiento importante en bóvedas y cúpulas. El único muro en pie de la Catedral destruida en el terremoto de 1868, sufrió desprendimientos parciales.

OTROS EDIFICIOS

El edificio de Registros Públicos en la ciudad de Moquegua sufrió daño importante en la tabiquería (Foto 23) y pequeños daños estructurales en una zona de ampliación.

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 24). No se encontraron edificios que habiendo sido proyectados con la Norma Peruana Sismorresistente del 1997 experimentaran daño.



Foto 23. Daños en el Edificio de Registros Públicos de Moquegua.



Foto 24. Edificio de departamentos muy rígido y antiguo sin daños, Tacna.

REDUCCIÓN 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 os 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.

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 de estas viviendas sufrió daño, mientras que viviendas vecinas quedaron seriamente dañadas o colapsaron (Foto 25). 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 25.

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, 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 26 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 se cerró con un muro a todo lo largo. La foto 27 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 muros de relleno en algunos paños adosados directamente a la estructura en la dirección flexible.



Foto 26. Pabellón tradicional aptoricado sin daño gracias al muro de cierre longitudinal



Foto 27. Muro de cierre que controló el desplazamiento lateral y evitó el problema de columna corta en un pabellón aptoricado tradicional.

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 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 debe contemplar la factibilidad económica de todo proyecto.

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.
- 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, junto 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 el código peruano vigente, constituyen un aporte importante de la Ingeniería Peruana 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 Perú, 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.

REFERENCIAS

1. USGS Earthquake Hazards Program. *“Earthquake Near Cost of Perú. 23 June 2001”*
http://earthquake.usgs.gov/activity/latest/eq_01_06_23/index.html, 201
2. Instituto Geofísico del Perú, IGP *“El terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001”*
http://www.igp.gob.pe/reportes/2001/sis_are2306/inofr_ter_2306.html, 2001
3. Ministerio de Vivienda y Construcción del Perú. *“Norma Técnica de Edificaciones NTE-030, Diseño Sismorresistente”*, 1997.