



EN LA CARÁTULA

Bay South Garden of Gardens by the Bay
Domos de vegetación y energía

Los Angeles Museum of the Holocaust:
La memoria integrada al espacio público

Hotel Park Royal on Pickering en Singapur:
Terrazas jardín en un edificio

URBANISMO

Concurso Arquitectónico en Maynas:
Identidad iquiteña

Casos de renovación urbana:
Reintegrando zonas a la ciudad

Concurso de Ideas Tratamiento Peatonal de la Plaza de Armas Centro Histórico de Arequipa:
Equilibrando la escala monumental y la dimensión humana

ENTREVISTAS

Gerente general de la Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios (ADI Perú), Enrique Zevallos:

«Trámites para un proyecto de vivienda está tomando más de 170 días»



Director del Área Industrial de Colliers International Perú Jorge Marcenaro:
«¿Cómo podría formar un parque industrial de solo 40 hectáreas?»



Técnicas Avanzadas para la Protección Sísmica del Patrimonio Histórico

Modelos computacionales predictivos



Las experiencias recientes del terremoto de Chile del 2010 y el de Bam en Irán del 2003 nos muestran la fragilidad de nuestro patrimonio histórico. Su destrucción y desaparición implica la pérdida efectiva de nuestra memoria y de referencias que muchas veces constituyen una esencia importante de nuestra sociedad y sentido de pertenencia. Perú y Chile están ubicados en el Cinturón de Fuego del Pacífico por lo que están permanentemente expuestos a severos eventos sísmicos lo que ha generado en forma importante la desaparición de nuestro pasado. Autores: Rafael Aguilar V. PhD¹, Karim Sovero², Carol Martel², Cesar Chácaraz², Carolina Briceño², Rubén Boroschek K. PhD³.

Existe la creencia "popular" de que esto es inevitable, que las construcciones antiguas basadas en estructuras con poca resistencia sísmica están condenadas a desaparecer. Eso es cierto siempre y cuando no intervengamos o intentemos mitigar la vulnerabilidad. Basta con mirar a nuestro alrededor para encontrar un número importante de ejemplos concretos de protección sísmica efectiva de edificaciones históricas, solo es necesario comenzar en esta línea. Perú posee un gran avance en estos aspectos de los cuales Chile puede beneficiarse.

Las amenazas comunes a las cuales están expuestas las estructuras históricas son su uso, efectos ambientales (humedad, insectos, entre muchos otros) y eventos extremos (incendios, sismos, derrumbes, lluvias, etc.). Como se puede suponer, este es un campo muy amplio y por tanto para que la protección sea efectiva es necesario un gran número de actores interactuando intensamente y con un objetivo común (propietarios, arqueólogos, arquitectos, ingenieros y muchas otras especialidades).

En el caso específico de sismo, existen cuatro etapas en el proceso de toma de acción para la protección del patrimonio: La identificación y cuantificación de la amenaza; la evaluación de estado y vulnerabilidad de la estructura o sistema; la cuantificación del riesgo a la cual está efectivamente expuesto el sistema; y la toma de acción. A continuación describimos brevemente cada una de ellas.

LA AMENAZA

En países como Perú y Chile la amenaza sísmica está originada por el proceso de subducción de



EMPRESAS



Representante de Arenart S.R.L., Silvia Takano:
"El acero es un material versátil"



Gerente general de Helvex Perú, Arnoldo Barrantes:
"Los productos Helvex ofrecen durabilidad y desempeño sin fallas"



Secretario general de Fe y Alegría del Perú, padre Antonio Bachs:
"El aporte de Philips es importante para la educación de los niños"



Jefe regional de Nuevos Negocios de Precor, Maria Elena Márquez:
"El sistema modular ofrece practicidad, confort y versatilidad"



hectáreas?
Están en la
calle»



Profesor Principal FIC-UNI,
doctor
Jorge Elías Alva Hurtado:

«Hay que
hacer
supervisión»



ARQUITECTURA

Casa Sáenz Peña en Barranco:

Recuperando un inmueble
histórico

Polideportivo Guillermo Dansey:

Complejo vertical de carácter
social

Polideportivo de la UNI:

Unión de cuerpos estructurales

INGENIERÍA

Técnicas Avanzadas para la Protección Sísmica del Patrimonio Histórico:

Modelos computacionales
predictivos

Skatepark Tacna:

Conjunción de losas y curvas

Protección para defensas ribereñas zona La

Pastora, Madre de Dios:
Uso de espigones para detener
socavación del río

TECNOLOGÍA

Diseño paramétrico

Materializando lo no
convencional

Abaratando costos:

Software peruano para la
electrificación rural

Para preservar las Lomas:

Parque Atrapanieblas

INTERNACIONALES

Canòpia Urbana:

Ecoarquitectura en Barcelona

Viaducto de Archidona en España:

Uso de dintel mixto en una vía
de 3 km

Conversión del Palacio Rasumofsky en Viena:

Restaurando un edificio de más
de 200 años

la placa de Nazca y la Sudamericana. Este proceso genera sismos de gran magnitud en la zona de interacción costera y al interior de ambas placas. A través de estudios llamados de amenaza sísmica es posible identificar las distintas fuentes sísmicas que pueden afectar nuestras edificaciones. Esta identificación implica conocer la ubicación y geometría de cada una de estas fuentes sísmicas. Para esto se utilizan estudios de sismicidad histórica y reciente complementados por estudios geológicos. Luego de la identificación de cada fuente es necesario establecer su capacidad sísmica, en particular cual es el nivel de su actividad (por ejemplo, cuantos sismos de cierta magnitud se producen por año y cuál es el sismo máximo posible dada sus características). Una vez caracterizada la fuente es necesario llevar su efecto vibratorio al sitio donde se emplaza la estructura a evaluar. Esto usualmente se realiza utilizando curvas de atenuación y proceso estandarizados de ponderación de los efectos de las distintas fuentes.

LA VULNERABILIDAD

El estudio de la vulnerabilidad también se compone de varias etapas: El levantamiento del estado de la estructura, recolección de antecedentes de geometría, materiales y sus características, condiciones de deterioro, efectos del ambiente, efectos de eventos extremos en su historia, intervenciones y modificaciones, uso anterior y actual, características que definen su particularidad, etc. Con esta información es posible realizar una caracterización del sistema en su estado actual y poder finalmente calcular las consecuencias de distintos niveles de intensidad sísmica en la estructura, Figura 1.

La Pontificia Universidad Católica del Perú se encuentra realizando estudios de protección patrimonial, particularmente en el tema del desarrollo de modelos computacionales predictivos apropiados. En esta investigación se encuentra colaborando activamente con la Universidad de Chile. Como parte de este estudio presentemos dos ejemplos relevantes: el muro Pre-inca de Chokepukio [Mc Ewan et al. 2005; Andrushko et al. 2006] y el campanario del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas (la Capilla Sixtina de América) ubicados ambos en las afueras de la ciudad del Cusco, sureste del Perú.

El muro pre inca de Chokepukio se encuentra ubicado en el valle de Lucre, en las afueras de la ciudad de Cusco. Corresponde a un vestigio de la cultura Lucre, surgida a finales de la Cultura Wari y principios del Imperio Inca. Se estima que estas estructuras conformaron el centro principal de la zona durante el periodo Intermedio Tardío y fueron construidas entre los años 900 a 1,300 D.C. principalmente con fines religiosos, ya que en el área se encuentran nichos destinados a rituales y festividades, [McEwan et al. 2005].

La primera etapa del estudio consistió en un levantamiento topográfico y fotográfico detallado. El levantamiento topográfico permite establecer la geometría actual del muro. Los muros están contruidos en mampostería de piedra irregular con un mortero a base de tierra y paja. La altura de los muros remanentes es de 10 a 12 m. Estos muros además fueron estucados con barro, el cual aún está presente en algunos sectores, lo que representa un hecho de gran importancia patrimonial. Al estar constituido con unidades de piedra irregular y mortero de espesor entre 2.5 cm y 10 cm, es necesario realizar una caracterización del sistema de mampostería mediante ensayos de laboratorio y en sitio para entender su comportamiento estático y dinámico, así como para determinar sus propiedades mecánicas. Por otro lado, los ensayos en sitio corresponden a la evaluación de la continuidad e integridad interna mediante ensayos no destructivos sónicos que se complementan con el estudio de las propiedades dinámicas reales (períodos, amortiguamientos y formas modales) mediante ensayos de vibración ambiental y forzada. Todo esto culmina con la generación de modelos computacionales calibrados que son útiles para predecir la vulnerabilidad del sistema, Figura 2.

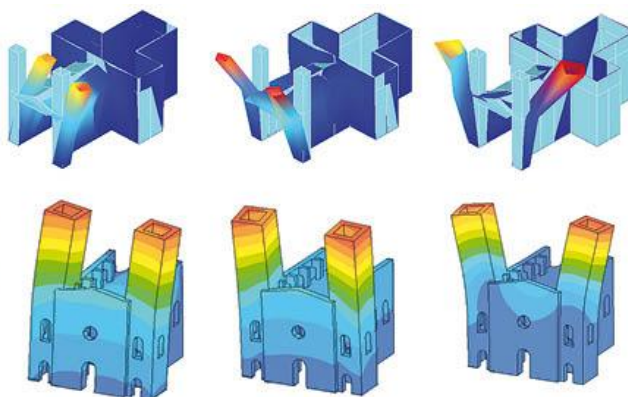


Figura 1: Estudio estructural y calibración de modelo computacional en la Iglesia de San Torcato, Portugal [Ramos et al., 2012].

GENERACIÓN DE MODELOS COMPUTACIONALES PREDICTIVOS

Los modelos computacionales preliminares se han desarrollado utilizando un programa de elementos finitos en los cuales el muro se ha representando a través de elementos sólidos tridimensionales con propiedades homogéneas. Figura 2.

El modelo numérico ha sido en su etapa preliminar capaz de reflejar correctamente lo observado en terreno. Los resultados indican que se requiere solo una ligera afinación final lo cual va a permitir realizar una posterior evaluación precisa de la vulnerabilidad del muro. En este caso se evaluarán dos escenarios con mayor atención dado los antecedentes experimentales



Gerente
comercial de
Cerámica
San Lorenzo,
Javier
Martínelli:
Lo mejor de la
madera llevado
a los cerámicos



Profesor
de la
Pontificia
Universidad
Católica del
Perú (PUCP),
Sebastián
Cillóniz
Mediateca
Pumacahua,
una idea de
acero



Especialistas
de
Prospección
Corporativa
de PMP
Holding,
Angélica
Cueva y
Wendy
Ramírez:
"Que el cliente
identifique y
valore nuestro
valor agregado
y eficiencia
operacional en
el proyecto"



Jefe nacional
de Ventas de
Cerámica
San Lorenzo,
Carlos
Vásquez
Elespuru:
«Realismo y
diseño: Las
claves en la
decoración
para Cerámica
San Lorenzo»



Ingeniero
Miguel
Zamora:
"El gimnasio
del Club
Regatas cuenta
con un sistema
LED de alta
eficiencia
lumínica y bajo
consumo"



Arquitectos
Hugo Fiorini
y Marcia
Mariño del
estudio
Fiorini &
Mariño
Arquitectos:
"Las planchas
especiales de
Aceros
Arequipa
otorgan un
toque moderno
al diseño"



Especialista
de productos
para el
concreto de
la empresa Z
Aditivos, Luis
Portuguez:
"Nuestros
aditivos además
de alcanzar
altas
resistencias,
logran acabados
homogéneos"



Jefe de
Ventas y
Exportaciones
de Eternit,
Manuel
Marzullo:
"Las planchas
onduladas de
fibrocemento
de Eternit son
resistentes,
seguras y
estéticas"

observados: El colapso de la parte alta o el colapso total del sistema.

LA CAPILLA SIXTINA DE AMÉRICA

Otro estudio de preservación de monumentos históricos en la cual se han utilizado metodologías modernas para la cuantificación de la vulnerabilidad real es la realizada por el mismo grupo de investigadores en el Templo de San Pedro Apóstol, ubicado en el pueblo de Andahuaylillas. Esta iglesia es de una gran belleza artística por las pinturas en sus muros y cielos rasos, lo cual le ha valido ser considerada como la Capilla Sixtina de América. Figura 3.

El pueblo de Andahuaylillas está ubicado en la cordillera de los Andes, a unos 40 km al sur oriente de la ciudad del Cusco. Este pueblo presenta el típico trazado de principios de la colonia con calles estrechas de piedra y casas de adobe, principalmente de un piso.

La iglesia inicia su construcción alrededor de 1610, a partir de una capilla de pequeñas dimensiones construida alrededor de 1580. La iglesia, además de ser patrimonio histórico y gran atracción turística, funciona activamente como centro religioso de la población de origen quechua de la zona. Por su fecha de edificación, se considera que la arquitectura del templo presenta características renacentistas con una influencia del estilo manierista, principalmente en la decoración mural de sus muros [Castillo et al, 2012]. Esta pinturas tenían una labor de evangelización muy importante y fueron inicialmente ordenadas por el presbítero Juan Pérez de Bocanegra, reconocido por su aporte en esta actividad y por su libro "Ritual formulario e institución de curas para administrar a los naturales de este reyno, los santos sacramentos del bautismo, confirmación, eucarística y viatico, penitencia, extremaunción, y matrimonio, con advertencias muy necesarias" [Castillo et al. 2012].

La iglesia tiene una nave principal de planta rectangular de 10 x 55 m y 13 m de altura, una torre donde se ubica el campanario de 5 x 5 m en planta y 18 m de altura, y una serie de capillas laterales. La nave principal de la Iglesia y la torre del campanario está constituida principalmente de muros de adobe de 2 m de espesor, asentados sobre cimientos de piedra que fueron parte de un complejo inca que existía en esa zona y cuyo material fue reutilizado en esta obra, mientras que las capillas laterales tienen muros de piedra de espesor variable de entre 1 y 2 m. La cobertura de toda la iglesia es de madera, con armadura estilo par y nudillo, debajo de la cual se ubica el cielo raso decorado.

El objetivo del trabajo realizado fue determinar el grado de conexión existente entre la nave principal y la torre del campanario. Para ello se realizó una campaña de medición de vibraciones ambientales instrumentando la torre de la Iglesia con acelerómetros. Los resultados del proceso de identificación modal muestran que existe una razonable conexión entre las paredes laterales y que la distribución de rigidez del sistema es apropiada. Esta información, conjuntamente con las frecuencias predominantes serán utilizadas posteriormente para ajustar un modelo numérico predictivo de la respuesta del campanario, cuya versión preliminar se muestra en la Figura 3.



Figura 2: Medición de vibraciones en el muro de Chokepukio, Cusco, Perú. Figura 3: Fachada principal del Templo de San Pedro Apóstol Andahuaylillas.



CONCLUSIONES

Los ensayos dinámicos de identificación modal que se llevan a cabo en campo son una herramienta poderosa para el estudio del patrimonio arquitectónico y arqueológico existente. Estas mediciones son apropiadas para el estudio de monumentos históricos porque no involucran una intervención, deterioro o riesgo alguno para la estructura. Es importante recalcar que el uso de estas técnicas no se limita solo al estudio de la estructura sino también al de otros parámetros que pueden afectarla, tales como las vibraciones producidas por factores externos como tráfico vehicular, excavaciones y perforaciones aledañas. En el caso de la iglesia, también se midió el efecto de los buses turísticos que llegan a la zona circulando por el empedrado. Estos buses producen vibraciones que se transmiten mecánicamente a través del pavimento pero, también, vibración producto de la presión acústica que generan sus motores, las cuales pueden inducir vibraciones no deseadas, particularmente para estructuras estucadas de adobe y con pinturas muy frágiles.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación del Ing. Julio Rojas y la de los Alumnos Roosevelt Mamani Quispe y Rony Nina Huisade de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por su colaboración en las mediciones realizadas.

REFERENCIAS

- Andrushko, V., Torres Pino, E., Bellifemine, V. (2006), The Burials at Sacsahuaman and Choepukio: A Bioarchaeological Case Study of Imperialism from the Capital of the Inca Empire, *Ñawpa Pacha* 28:63–92
- Castillo, M., Kuon E. y Aguirre C. (2012), San Pedro Apóstol de Andahuaylillas: Guía de Visita, Asociación Jesús Obrero.
- McEwan, G., Gibajab A., Chatfield, M. (2005), Arquitectura Monumental en Cuzco del Período Intermedio Tardío: Evidencias de Continuidades en la Reciprocidad Ritual y el Manejo Administrativo entre lo Horizontes Medio y Tardío, *Boletín de Arqueología PUCP* N.º 9, pp. 257–280
- Ramos, L.F., Aguilar, R., Lourenço, P.B., Moreira, S. (2012), Dynamic structural health monitoring of Saint Torcato Church, *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.09.007>.

1 Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP.

2 Alumno de la Maestría en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP.

3 Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile; Rubén Boroschek & Asociados S.A.C.

2

Publicado en la edición 26. Marzo - Abril 2014.

Av. Horacio Urteaga 1474 Of. 303 - Jesús María - Lima - Perú / Teléfono: 331-2101 Nextel: 94-646*7881 / Email: construccionyvivienda@gmail.com / construccionyvivienda@yahoo.es

Página Web Optimizada para [Google Chrome](#)  Resolución Optima 1280 x 800px