

# Connections

---

La Serie de Relatos del Instituto de  
Investigación en Ingeniería Sísmica  
(EERI)

**Vitelmo V.  
Bertero**

Robert Reitherman, Entrevistador

Traducción al español por Claudia Llopiz



EERI - Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica



UNCuyo - Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Editor: Gail Hynes Shea, Berkeley, California, [www.gailshea.com](http://www.gailshea.com)

Diseño de libro y tapa: Laura H. Moger, Moorpark, California,  
[www.lauramoger.com](http://www.lauramoger.com)

Derechos de autor 2009 del EERI (Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, por sus siglas en inglés).

La publicación de este libro recibió apoyo de FEMA, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias del Ministerio de Seguridad Nacional de EE. UU., por medio del subsidio #EMW-2008-CA-0625.

Todos los derechos reservados. El EERI se reserva todos los derechos literarios en el manuscrito, incluyendo los derechos de publicación. Está prohibido copiar, citar o transmitir en cualquier forma cualquier parte de este texto sin autorización por escrito del Director Ejecutivo del EERI. La solicitud de autorización para citar este texto en una publicación debe identificar los pasajes específicos a citar, el uso pretendido de dichos pasajes y al usuario.

Las opiniones y los puntos de vista que expresan los entrevistados en esta publicación no reflejan, necesariamente, las opiniones y las políticas del EERI.

Publicado por el Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica.

499 14<sup>th</sup> Street, Suite 320

Oakland, California 94612-1934

Tel: (510) 451-0905 Fax: (510) 451-5411

Correo Electrónico: [eeri@eeri.org](mailto:eeri@eeri.org)

Sitio Web: <http://www.eeri.org>

Número de Publicación del EERI: OHS-16

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Bertero, Vitelmo V. (Vitelmo Victorio)

Vitelmo V. Bertero/Robert Reitherman, entrevistador.

p. cm. – (Connections: la serie de relatos orales del EERI).

“Patrocinado por el Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica con apoyo de la FEMA/Ministerio de Seguridad Nacional de EE. UU.”.

ISBN 978-1-932884-42-5 (alk. paper)

1. Bertero, Vitelmo, V. (Vitelmo Victorio) 2. Ingenieros Civiles – Estados Unidos – Entrevistas. 3. Ingeniería Sísmica. I. Reitherman, Robert 1950-II. Título.

TAI140.B425 A3 2009

624.092 – dc22

2009014148

Impreso en Estados Unidos de América

1 2 3 4 5 6 7 8 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 09



# Contenido

La Serie de Relatos del EERI .....	5
Prólogo.....	9
Presentación Personal.....	10
Prólogo a la versión en español .....	13
Capítulo I Creciendo en la Argentina.....	20
Capítulo II La Universidad.....	25
Capítulo III El Ejército, durante la Segunda Guerra Mundial....	29
Capítulo IV El Regreso a la Universidad para graduarme como Ingeniero Civil.....	32
Capítulo V El Doctorado en el MIT.....	37
Capítulo VI Ingeniería Sísmica y Otras Disciplinas .....	52
Capítulo VII La Universidad de California en Berkeley.....	62
Capítulo VIII El trabajo con los ingenieros en su práctica profesional.....	90
Capítulo IX Ingeniería Sísmica en América Latina .....	106
Capítulo X Los Principales Problemas por Resolver en la Ingeniería Sísmica.....	121
Capítulo XI La Familia y los Amigos.....	137
Capítulo XII Diálogo con Ex Alumnos.....	141
Fotos.....	165

# La Serie de Relatos del EERI

Este es el decimosexto volumen de *Connections: La Serie de Relatos del Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica* (el EERI, por sus siglas en inglés). El EERI creó la serie *Connections* para preservar la memoria de algunos pioneros de la ingeniería sísmica — disciplina que ha atravesado cambios significativos, y hasta revolucionarios, desde que se empezó a pensar en términos modernos y científicos para proteger a la sociedad y las construcciones de los sismos. *Connections* ayuda a documentar esos avances históricos.

La serie *Connections* es un vehículo que transmite el fascinante relato de quienes presenciaron el inicio de avances importantes en el campo de la ingeniería sísmica. Documenta hechos históricos — algunos poco conocidos — y registra impresiones, opiniones y experiencias personales. Estas memorias son cruciales para comprender el camino transitado hasta el estado actual del conocimiento y cómo se ha avanzado en el objetivo último de reducir las pérdidas ocasionadas por los terremotos. El Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, una organización sin fines de lucro fundada en 1948 para dar base institucional al entonces incipiente campo de la ingeniería sísmica, se enorgullece de contar la historia del desarrollo de esta disciplina a través de los volúmenes de *Connections*. De un puñado de personas que casi no contaban con fondos para investigar, el EERI se ha transformado en una organización con casi 2.500 miembros y sigue persiguiendo su objetivo original: investigar los efectos de terremotos destructivos y publicar los resultados en sus informes de reconocimiento. Además, el EERI reúne a investigadores y profesionales que intercambian información en sus asambleas anuales y su amplio calendario de conferencias y talleres. El EERI ofrece un foro donde personas y entidades provenientes de distintas disciplinas pueden trabajar juntos para mejorar la seguridad ante los sismos.

El programa de relatos del EERI nació en 1984 con Stanley Scott (1921-2002). Los primeros nueve volúmenes de la serie *Connections* se publicaron en vida de Scott. Actualmente, los manuscritos y las transcripciones de entrevistas que legó al EERI están dando lugar a nuevas publicaciones por las que seguimos profesándole un profundo reconocimiento. Asimismo, el Comité de Historia Oral ha expandido el alcance del programa para incluir entrevistas a personas que: 1) han realizado aportes notables a la ingeniería sísmica a lo largo de su carrera; 2) ofrecen testimonios valiosos, en primera persona, de la historia de esta disciplina; y 3) provienen de entornos que abarcan las distintas disciplinas incluidas en el campo de la ingeniería sísmica.

El trabajo de Scott, que comenzó en 1984, sintetiza cientos de horas de entrevistas grabadas y miles de páginas con notas. De no ser por él, muchos hechos y recuerdos valiosos se habrían perdido.

Scott era politólogo e investigador del Instituto de Estudios Gubernamentales de la Universidad de California, en Berkeley. Dedicó varios años al desarrollo de políticas de seguridad sísmica. Entre 1975 y 1993 integró la Comisión de Seguridad Sísmica de California. Fue, en parte, por este trabajo que, en 1990, la Earthquake Safety Foundation le otorgó el Premio Alfred E. Alquist.<sup>NT1</sup>

Al formular este proyecto de relatos orales, Scott recibió ayuda de Willa Baum, entonces Director de la Oficina Regional de Historia Oral de la Universidad de California en Berkeley, una sección de la Biblioteca Bancroft. Se aprobó un proyecto para ingeniería y seguridad sísmica, aunque sin apoyo financiero, y se alentó a Scott a seguir adelante. Tras jubilarse de la universidad, en 1989, Scott continuó con sus entrevistas. Durante un tiempo, algunos gastos se financiaron con fondos de una pequeña donación de la NSF, pero Scott hizo la mayor parte del trabajo *pro bono*. Además del notable esfuerzo de preparar y realizar las entrevistas, su trabajo

---

<sup>NT1</sup> La medalla Alfred E. Alquist es un reconocimiento que se entrega a personas, empresas u organizaciones que han hecho un aporte significativo a la seguridad sísmica y la reducción del riesgo sísmico por medio de acciones que impactan directamente la seguridad de la población en general. El principal criterio de selección es el aporte al bien común. No es necesario ser miembro del EERI para recibir este premio.

implicaba tareas tan laboriosas como la revisión y la edición de los manuscritos para garantizar su fluidez de lectura y coherencia.

La serie *Connections* presenta los relatos orales de un grupo selecto de personas con una vasta trayectoria; personas que estuvieron presentes en los albores de la era moderna de esta disciplina. En este libro, la expresión “ingeniería sísmica” tiene el mismo significado que en el nombre de nuestro instituto, es decir, comprende el amplio conjunto de disciplinas que hacen a las ciencias de la tierra y las ciencias sociales, y que conforman el corpus de conocimiento e implican al conjunto de personas que giran en torno al tema de los terremotos. Los acontecimientos que describen estos relatos se relacionan con la investigación, el diseño, las políticas públicas, problemáticas sociales más amplias, la educación y aspectos personales interesantes de las vidas de sus protagonistas.

**Volúmenes publicados de *Connections: La Serie de Relatos Orales del EERI***

Henry J. Degenkolb	1994
John A. Blume	1994
Michael V. Pregnoff y John E. Rinne	1996
George W. Housner	1997
William W. Moore	1998
Robert E. Wallace	1999
Nicholas F. Forell	2000
Henry J. Brunnier y Charles De Maria	2001
Egor P. Popov	2001
Clarence R. Allen	2002
Joseph Penzien	2004
Robert Park y Thomas Paulay	2006
Clarkson W. Pinkham	2006
Joseph P. Nicoletti	2006
LeRoy Crandall	2008
Vitelmo V. Bertero	2009

**Comité de Relatos Orales del EERI**

Robert Reitherman, Presidente  
Thalia Anagnos  
William Anderson  
Roger Borchardt  
Gregg Brandow  
Ricardo Dobry  
Robert D. Hanson  
Loring A. Wyllie, hijo.

# Prólogo

Este volumen de relatos orales sintetiza las entrevistas que hice a Vitelmo Victorio Bertero en el 2006, el 2007 y el 2008. Dos miembros del Comité de Relatos Orales, Loring Wyllie y Robert D. Hanson, revisaron el manuscrito y lo mejoraron con correcciones, así como lo hizo la Directora del EERI, Thalia Anagnos. El autor de la Presentación Personal, Joseph Penzien, también revisó el manuscrito e identificó algunos detalles que requerían corrección y que el resto no habíamos identificado previamente.

Tal como lo hiciera en volúmenes anteriores de *Connections*, Gail Shea, consultora editorial del EERI, revisó cuidadosamente todo el texto y preparó el índice. Eloise Gilland, Gerente Editorial y de Publicaciones del EERI, colaboró durante todo el proceso hasta completar esta publicación.

Robert Reitherman  
Presidente del Comité de Relatos  
Orales del EERI  
Noviembre de 2008

# Presentación Personal

Redactar la Presentación Personal de Vitelmo V. Bertero para este decimosexto volumen de *Connections, la Serie de Relatos Orales del EERI*, es realmente un honor para mí. Durante las últimas cinco décadas, nuestras carreras han seguido caminos similares. Estas similitudes incluyen: 1) haber nacido y crecido en entornos rurales (él en una finca, en la Argentina, y yo en una granja, en Dakota del Sur); 2) compartir la pasión por la matemática y la ciencia desde el secundario; 3) haber hecho un doctorado en el Departamento de Ingeniería Civil del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), donde ambos recibimos el mismo título; 4) habernos incorporado al cuerpo docente de Ingeniería Civil de la Universidad de California, en Berkeley, en la década del cincuenta; 5) haber dictado clases principalmente de ingeniería estructural y centrado nuestras investigaciones en el desempeño de las estructuras sujetas a movimientos sísmicos; y 6) brindar servicios de consultoría a ingenieros en su práctica profesional, principalmente en relación con problemas y aspectos sísmicos.

Durante nuestros estudios de doctorado en el MIT, y bajo la guía del Profesor Robert Joseph Hansen, el Profesor Bertero y yo investigamos los efectos de las explosiones en las estructuras de hormigón armado. Dado que mi llegada al MIT (1947-1950) precedió la del Profesor Bertero, a mí me asignaron el estudio de las vigas de hormigón armado, mientras que, a él, que llegó un poco más tarde (1953-1957), le tocó una tarea más compleja: enfocarse en los tabiques estructurales de hormigón armado. Cuando inicié mi trabajo, el Profesor Hansen ya había diseñado un aparato que aplicaba cargas impulsivas a las vigas para emular los efectos de una explosión. Sin embargo, cuando el Profesor Bertero inició su trabajo, el aparato aún más complejo necesario para aplicar este tipo de cargas a tabiques estructurales aún no había sido desarrollado en su totalidad. Por lo tanto, su tarea resultó mucho más ardua y compleja que la mía. Aun así, Bertero completó el diseño del aparato, perfeccionó su funcionamiento y realizó una investigación magnífica que aportó una

gran cuantía de información valiosa para el diseño de refugios subterráneos resistentes a explosiones. Sé que estas experiencias en el MIT fueron invaluable para sus investigaciones posteriores en la Universidad de California, en Berkeley, donde estudió el comportamiento de las estructuras sujetas a excitación sísmica.

Para cuando el Profesor Bertero llegó a Berkeley, en 1958, el interés de investigar los efectos de las explosiones sobre las estructuras había disminuido notablemente en Estados Unidos, lo que lo llevó a desviar su centro de atención a los efectos de los movimientos sísmicos – tema que ya había captado su atención tras el terremoto de 1944 en San Juan, Argentina. En la década del cincuenta, fuimos varios los investigadores que hicimos un viraje similar. En la Universidad de California, en Berkeley, el Profesor Bertero se embarcó en una investigación ininterrumpida para comprender el comportamiento histerético inelástico de los sistemas y los elementos estructurales de acero y hormigón armado sometidos a ciclos de grandes deformaciones como las que se esperan de los terremotos más fuertes. Desarrolló un nivel tal de comprensión que se convirtió en un experto para definir los modelos analíticos a utilizar durante las evaluaciones de desempeño sísmico. Al haber desarrollado una comprensión cabal de la teoría y la aplicación de la dinámica estructural, podía abordar la totalidad del problema estructural en forma integral: el diseño, los modelos, el análisis y la evaluación del desempeño sísmico.

El Profesor Bertero ha disfrutado inmensamente de todas las esferas del rol del docente: ha transferido sus conocimientos a los estudiantes en el aula, los ha guiado en sus búsquedas personales, ha presentado trabajos de investigación en congresos, dictado seminarios y conferencias especiales a ingenieros profesionales, ha integrado comisiones técnicas y se ha desempeñado como consultor. En numerosas ocasiones, Bertero ha resaltado que para poder desarrollar un diseño sismorresistente sólido es importante abordar el sistema estructural en su conjunto, considerando también los aspectos relacionados con la arquitectura, la geotecnia y la construcción. Asimismo, y siguiendo esta línea de pensamiento, a pesar de que el Profesor Bertero está a favor de los programas de grado que buscan un mayor nivel de especialización en ingeniería civil, también está

convencido de que los alumnos deberían adquirir conocimientos de otras disciplinas relacionadas con la ingeniería civil y los alienta a perseguir este objetivo. El problema de este enfoque es el tiempo que les toma, a los estudiantes, completar los programas de grado. Para que los alumnos puedan especializarse y, a la vez, ampliar sus conocimientos en temas relacionados, tal vez deberíamos reconsiderar la necesidad de extender la carrera universitaria a cinco años y/o extender la maestría a dos años. Con el sistema actual, solo nos resta confiar en que los alumnos adquieran estos conocimientos adicionales una vez que comiencen a ejercer la profesión.

Para finalizar, quisiera expresar mi admiración por los logros de mi buen amigo Vic Bertero a lo largo de su vasta y prestigiosa carrera, logros por los que ha recibido numerosos honores y premios. Hoy, Vitelmo Bertero es reconocido por sus pares, a nivel mundial, como una leyenda de la ingeniería sísmica. Le deseo buena salud y que sus éxitos continúen.

Joseph Penzien  
Profesor Emérito de Ingeniería  
Estructural  
Universidad de California,  
Berkeley

# Prólogo a la versión en español

## Vic Bertero hace vibrar Mendoza

Conocí al Profesor Vitelmo V. Bertero en el año 1980, durante la conferencia magistral que dio en la UTN, Regional Mendoza. Para muchos de los presentes, esa conferencia marcó un punto bisagra en nuestra forma de pensar y hacer ingeniería sismorresistente. Nunca nadie nos había hablado así. Nos transmitió una catarata de experiencias y conceptos con una pasión probablemente única entre las personalidades del mundo de la ingeniería sísmica.

Como muchos otros, creí estar entendiendo *todo* lo que nos decía, pese a que nos hablaba en otro “idioma sísmico”. Habló sobre ductilidad, capacidad de absorción y disipación de energía, comportamiento plástico del hormigón armado, no linealidad del material, las curvas tensión-deformación y su relación con la respuesta local del elemento y global de la estructura, la dependencia de la demanda con el suministro y el confinamiento del hormigón. Era como si Bertero estuviese haciendo un repaso tras un curso de varias clases. Transmitía los conceptos con tanta claridad que creíamos conocerlos bien, aunque, claramente, no era así. Gran parte de lo dicho era totalmente nuevo para nosotros, pero es que, cuando Bertero explicaba, todos entendían.

Su exposición de casi tres horas fue tan rica y apasionada que algunos salimos del salón sintiendo que acabábamos de escalar un gran peldaño en nuestra búsqueda de conocimiento. Sin embargo, la mayoría de quienes estábamos ahí, aplaudiendo y vibrando, oyendo sus repetidos agradecimientos por haberlo invitado a Mendoza, empezamos a darnos cuenta de que sabíamos muy poco de la respuesta real de las construcciones ante terremotos fuertes. Entendimos que no estábamos en el camino correcto del diseño, ni del análisis, ni de la construcción. En materia de diseño, todavía nos basábamos en la norma de hormigón armado DIN1045; en análisis, no pensábamos más allá del comportamiento lineal y elástico y; en construcción, aún no comprendíamos la importancia del control de

documentación y la inspección de las obras. El gran Profesor "machacaba" y repetía sus lecciones, elevando la voz como si nos regañara: *"No estamos aprendiendo las lecciones que nos dan los países donde ocurren los terremotos. Excepto para esos países – que sí pagan un precio muy alto – para el resto, esas lecciones son gratis y no las estamos aprendiendo"*.

Creo que nadie en el mundo visitó más lugares azotados por grandes sismos. Bertero sabía que esa era una enorme fuente de conocimiento. Siempre estaba *en el lugar de los hechos*, presto a aprender, enseñar y dar la asistencia necesaria. También era un hombre muy sensible; le dolía caminar sobre las ruinas. Bertero fue y será siempre un Gran Maestro.

En lo personal, aplaudí su presentación al borde de las lágrimas creyendo estar frente al Mesías. Sentía que Bertero *me* había dicho que había elegido bien la carrera, pero que apenas si sabía *algo* del método estático. Apenas (*q.l<sup>2</sup>/8*). Yo me había recibido de ingeniero en la UTN hacía poco más de dos años. Estaba trabajando en la municipalidad y tenía mi oficina privada. La exposición del Profesor me ratificó que, en Mendoza, estábamos muy lejos del estado del arte y que hacíamos muy poco por mejorar el estado de la práctica. Nos llegó profundamente una de sus frases más célebres: *"Recuerden que no es el terremoto el que mata a las personas, sino las construcciones que los ingenieros no hacemos bien"*. Creo que, a la fecha, aún no se tiene conciencia de la gravedad de esa afirmación. Menos aún en nuestro país, donde, todavía, un título secundario sumado a un curso muy limitado, habilita para proyectar y diseñar en la misma zona que, en marzo de 1861, perdió a la mitad de su población en uno de los terremotos más devastadores de Argentina.

Gracias a la motivación del ingeniero Elbio Villafañe que nos presentó, al final de la exposición, pude conversar con Bertero sobre mi futuro. Yo había obtenido una beca de maestría y doctorado y estaba buscando una Universidad en el extranjero. En ese momento, ya había sido aceptado por el Imperial College de Londres. Como siempre, las palabras de Bertero fueron certeras: *"En Londres tienen buen nivel teórico, pero si tu interés está en el diseño sismorresistente, debes venir a Berkeley"*. Más adelante, pude comprobar personalmente que tenía razón. Pero, primero, quisiera relatar algo más sobre lo que ocurrió después porque es un claro reflejo de la calidad humana del gran Profesor.

Ese año (1980), me fui a estudiar a Londres junto a mi esposa, Isabel, y mi hijo Alejandro de 4 meses. Aprobé la maestría e inicié el doctorado

en 1981. Tenía al menos tres años más de beca por parte de Argentina. Sin embargo, ocurrió algo que, para nuestro país y el mundo civilizado, fue una tragedia, pero que, en lo personal, me abrió las puertas de Berkeley. En 1982, estalló la guerra de las Malvinas. Con la guerra entre Argentina e Inglaterra, los fondos de mi beca quedaron congelados y no podía recibir transferencias de dinero. Recibí un gran apoyo por parte del Imperial College, sus autoridades y profesores. Hasta me ofrecieron trabajo para que pudiese quedarme allí. Sin embargo, nuestros días en Londres estaban contados. La crisis moral, monetaria y social que atravesaba Argentina tornaba imposible seguir estudiando allí o en cualquier lugar del extranjero con el mismo sistema de beca. Además, el tema de mi tesis era extremadamente analítico y yo no estaba muy convencido con ese rumbo. Entonces, recordé las palabras de Bertero en Mendoza. Desde Londres, en plena guerra, le escribí una carta muy sentida. Aún conservo el borrador. En menos de dos semanas, recibí su repuesta. Mi carta lo había sorprendido al regresar de un viaje a Perú, país que apoyaba abiertamente a Argentina en la guerra. Su respuesta — que, por supuesto, he guardado todos estos años — comenzaba así: *"Yo más que nadie lamento lo que está sucediendo ahora..."*

Siempre estaré agradecido por la humanidad del gesto del Profesor Bertero. Él sufría mucho por su país en guerra y, sin dudar, me dijo que regresara a Argentina mientras él me conseguía un trabajo en Berkeley para que pudiera continuar con mis investigaciones. A fines de 1982, antes de Navidad, ya estaba con mi familia en California. Se preocupó por mi familia desde el principio. Mi hijo tenía menos de 2 años y mi esposa estaba embarazada de casi 7 meses. Bertero me ayudó a conseguir alquiler y fue mi garante (para el alquiler y para que pudiese abrir una cuenta bancaria). Como mi situación financiera estaba lejos de ser holgada y el alquiler era elevado, escribió una carta pidiendo que me aceptaran en la villa de estudiantes de Albany. Todos sabemos cuán exigente era el Profesor Bertero, pero cuando se trataba de dar una mano, siempre era el primero: *"No dudes en llamarme, sea la hora que sea, para que lleve a tu señora al hospital cuando esté por dar a luz"*. Por supuesto, yo aún no tenía un auto propio. Acabábamos de llegar a Estados Unidos. Mi hija Claudia Sol nació el 8 de marzo, una noche muy lluviosa, a las 2 de la mañana en Oakland. El Profesor Bertero se preocupó y ocupó de que todo ocurriera con un final feliz.

Me integró a su equipo de trabajo del Programa Cooperativo de Investigación entre Estados Unidos y Japón sobre Estructuras de

Hormigón Armado y Acero. Fue un honor y una gran responsabilidad que cambió mi visión sobre la ingeniería. Además, me autorizó a asistir a los tres cursos que dictaba sobre hormigón armado, métodos plásticos y diseño inelástico de estructuras de acero. Me permitió asistir también a los cursos de E. Wilson, R. Clough y G. Powell. Comencé a estudiar hormigón armado del texto de Park & Paulay – la base de su curso – y me introdujo en la escuela de pensamiento de Nueva Zelanda, un misterio para los latinoamericanos de aquellos años. Ellos, junto a Bertero, fueron los inspiradores de nuestras actuales normas de diseño sismorresistente.

Por vez primera, pude entender lo que significaba el mecanismo de colapso y llevar a cabo un análisis plástico simple, APS, para comprender que no se necesitan herramientas muy sofisticadas para predecir la carga última de una estructura. Que el corte es hijo de la flexión y que se diseña por capacidad y no con las fuerzas ficticias del código. Que el confinamiento hace la diferencia entre hormigón simple, hormigón armado y hormigón armado confinado: *tres materiales muy distintos*, como decía Bertero. Aprendí bajo su dirección que lo primero es comenzar a estudiar y ensayar los materiales, luego las relaciones momento-curvaturas y, finalmente, la respuesta de la estructura como un todo, sin olvidar que es tri-dimensional, no plana. Aprendí a hacer hormigón, calibrar aparatos de medición, hacer y ensayar probetas de hormigón y acero, cortar chapas, soldar perfiles, hacer orificios precisos en planchuelas, soldar conectores de corte, dirigir personal y trabajar junto a ellos. Aprendí a trabajar en equipo, a preparar lo que se está investigando, a exponerlo en sus famosas reuniones y a hacer y recibir preguntas "*bien comprometedoras*" como él pedía. Aprendí a aceptar y corregir errores.

En el año 1984, se celebró la VIII Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica en San Francisco. Estábamos en pleno proceso de investigación dentro del plan cooperativo Japón-EE. UU. Muchos de los participantes fueron a observar parte de los ensayos en la estación de Richmond. Allí, tuve la oportunidad de conocer al Profesor Patricio Bonelli, de la Universidad Técnica Federico Santa María, quien, junto a otros representantes de Chile, ya venía trabajando con el Profesor Bertero. Al regresar a mi país, noté que la cooperación entre Chile y Argentina era bastante fluida y que, con frecuencia, los viajes de Bertero a uno u otro país, servían como excusa para cruzar los Andes, intercambiar experiencias y cultivar amistades que aún se mantienen.

Como relata este volumen de *Connections*, el profesor Bertero viajó a Argentina como miembro de una comisión a cargo de inspeccionar las consecuencias del terremoto de Cauce de 1977. Luego de ese trabajo, pasó por Mendoza a dictar un curso corto organizado por el Ing. Agustín Reboledo y algunos miembros de la comisión del Código de Construcciones Antisísmicas de la Provincia de Mendoza. Anteriormente, en 1974, había dictado otro curso en Mendoza, organizado por la misma comisión. Estos aportes fueron fundamentales para la actualización de los profesionales del diseño sismorresistente. Bertero siempre buscó acercarse a la profesión.

En 1978, asistió a las Jornadas de Ingeniería de Córdoba, donde también interactuó con investigadores de Argentina y Chile. La conferencia magistral en la UTN que mencioné al inicio de este prólogo fue en 1980.

En 1985, viajó a Chile, tras el gran terremoto de Valparaíso y, en 1986, asistió a las jornadas de ACHISINA, en Viña del Mar. Muchos profesionales de Argentina cruzamos la cordillera para asistir a ese gran evento del que también participó el distinguido Profesor neozelandés Nigel Priestley. El Profesor Patricio Bonelli organizó varias reuniones con investigadores de Chile y Argentina que contaron con la presencia de Bertero y Priestley.

En 1987, participó de las reuniones CLAES-sismo celebradas en Buenos Aires con el aporte de varios investigadores de Argentina y Chile, entre quienes estaban los Profesores R. Zaragoni y P. Bonelli. Participaron también los Profesores R. Park y Nigel Priestley de Nueva Zelanda y M. Watabe de Japón, gracias a los contactos concretados por el actual director del INPRES, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, con sede en San Juan, el Profesor Alejandro Giuliano. Se intentaba redactar un código modelo para Latinoamérica y, para ello, se convocó a expertos de reconocida trayectoria internacional.

En 1996, Bertero regresó a Mendoza invitado por la UTN para dictar un curso con activa participación de profesionales y docentes.

En 1997, fue el orador principal durante el 3-EIPAC-97 organizado por la Universidad Nacional de Cuyo. Asistieron cerca de 300 profesionales e investigadores de todo el país y de Chile, Ecuador y Perú. Durante ese evento, Bertero presidió la colocación de la piedra fundamental del IMERIS (ver *Fotos*), el Instituto de Mecánica

Estructural y Riesgo Sísmico. El proceso de diseño del laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo se benefició de su valiosa experiencia. Durante el EIPAC, recibió el título de Doctor Honoris Causa. Tuvimos tiempo, además, para eventos sociales donde siempre mostró su buen humor y predisposición para relatar anécdotas. También fueron oradores en ese evento el Profesor Marcial Blondet de Perú y el Profesor Raúl Bertero de la UBA, doctorado bajo la dirección de Bertero.

Lamentablemente, al momento de hacer traducir este relato al español, el Profesor Bertero no se encuentra entre nosotros. Él tuvo una profunda influencia en los profesionales e investigadores de toda América Latina y, en particular, de Chile y Argentina. Personalmente, reitero mi eterno agradecimiento al Profesor Bertero por sus aportes a la ingeniería del mundo y su involucramiento y cooperación con los profesionales. Agradezco al Profesor Patricio Bonelli por sus aportes a este prólogo y a la selección de fotos que se incluyen al final del libro. Mi gran reconocimiento al EERI, en particular, a Bob Reitherman por su apoyo y aliento desinteresados en esta tarea de recopilación y traducción que nos permite seguir mejorando las prácticas de diseño y construcción sismorresistente en Mendoza. Finalmente, deseo expresar mi profundo agradecimiento al Profesor José Restrepo de la Universidad de California en San Diego, quien estuvo a cargo de la revisión del manuscrito en español en representación del EERI y a quien agradezco profundamente su minuciosa dedicación.



Carlos Ricardo Llopiz  
Director IMERIS  
Fac. Ingeniería, UNCuyo  
Mendoza, Argentina  
Presidente AIE-CISA  
Marzo 2018

# **Connections**

---

**La Serie de Relatos del EERI**

**Vitelmo Bertero**

## Capítulo I

# Creciendo en la Argentina

*De niño, me gustaba mucho  
construir pequeñas estructuras  
con mis juguetes Meccano.*

**Bertero:** Nací el 9 de mayo de 1923 en una finca en las afueras de Esperanza, un pequeño pueblo de la provincia de Santa Fe, en Argentina.

Mi abuelo, Lorenzo Bertero, había nacido en Italia y emigrado a la Argentina. Al igual que su padre, mi padre, Victorio Bertero, era agricultor. Mi madre, cuyo nombre de soltera era Lucía Gertrudis Risso, era hija de Teresa Dehrn, originaria de Alemania, y de Juan Risso, nacido en Italia, en un pueblo entre Udino y Trieste, cerca de la frontera con Yugoslavia. Juan Risso emigró a la Argentina al igual que el padre de mi padre. Solo tuve un hermano, Humberto Bertero. Hoy [2007], todos ellos ya han fallecido.

Nos mudamos a la localidad de Esperanza cuando yo tenía seis años. En esa región del país era relativamente fácil aprender otros idiomas, además de español, ya que la población se había formado a partir de la primera colonización agrícola de Argentina, en 1856, compuesta por un grupo de casi 300 inmigrantes (*colonos*) de Suiza, Alemania, Francia, Bélgica y Luxemburgo. Diez años más tarde, llegó otro grupo de colonos provenientes de Italia, Polonia, Siria y el Líbano. La provincia argentina de Santa Fe albergaba distintas Colonias y era habitual escuchar otros idiomas, como alemán, italiano y francés — aunque no inglés. Así, a pesar de que la mayor parte de la educación formal que recibí en la Argentina se impartía en español, durante los once años que pasé en

Esperanza, también me enseñaron inglés, alemán, italiano y francés.

El Colegio San José, la escuela a la que fui en Esperanza, estaba a cargo de una orden católica alemana y, por lo tanto, se enseñaba alemán. ¡La enseñanza era muy estricta!

**Reitherman:** ¿Esperanza sigue siendo una ciudad que une las distintas culturas europeas de los inmigrantes que llegaron hace años?

**Bertero:** Sí. Por ejemplo, en Esperanza, todavía existen dos grandes edificios; uno es la Sociedad de Canto — que solía ser la Sociedad Alemana y Suiza — y el otro pertenece a la Sociedad Italiana. Los descendientes de los inmigrantes alemanes, suizos e italianos siguen usando estos grandes salones para celebrar las festividades de sus respectivas culturas, como fiestas religiosas o fechas históricas. La Segunda Guerra Mundial afectó la relación entre las distintas colonias europeas y sus lazos con sus países de origen. Por ejemplo, a veces, cuando los alemanes se disponían a marcharse, tras un festival de su colectividad, se encontraban con que les habían pinchado los neumáticos.

**Reitherman:** ¿Y en su casa? ¿Qué idioma se hablaba?

**Bertero:** Mi padre hablaba español y piemontés, un dialecto italiano. El Piamonte es la región noroccidental de Italia donde los Alpes forman la frontera con Francia y Suiza. La capital del

Piamonte es Torino, o Turín en español. En Italia hay muchos dialectos, ¡y muchos tipos de cocina italiana! La primera vez que viajé a Italia, de adulto, fui a varios restaurantes intentando encontrar un plato italiano especial, la *bagna cauda*. Se parece a la fondue, pero lleva crema de leche, aceite de oliva, ajo y anchoas. Como se desprende de su traducción literal, “baño caliente” en italiano, uno puede sumergir vegetales y otras cosas en esta salsa que se come muy caliente y que se acompaña con vino, por supuesto. Mi abuela solía hacerla en invierno, pero no era un plato típico en toda Italia. Era una receta del Piamonte. La busqué, sin éxito, en cada una de las ciudades que visité en Italia (Roma, Venecia, etc.), pero nadie la conocía. Finalmente, le pregunté a un profesor italiano amigo. “¡Ah! ¿Quieres comer *bagna cauda*?”, dijo. “Puedes venir a casa. Llamaré a mi suegra que es de Turín y sabrá prepararla porque la única región donde se come *bagna cauda* es el Piamonte”. Al inmigrar a Sudamérica, mi abuela italiana, la madre de mi padre, había traído consigo esa tradición del Piamonte. Es extraordinario cómo la gente mantiene vivas sus tradiciones.

## La Escuela

**Reitherman:** ¿Qué me puede contar de su escuela primaria?

**Bertero:** Empecé la primaria (de primero a sexto grado) en 1929. En esa época, usábamos un uniforme gris con corbatín. Había una maestra de enseñanza básica para cada año y unos veinticinco alumnos

por aula. En el secundario, teníamos distintos profesores para cada materia: química, física, matemática, geografía y cada uno de los idiomas que se enseñaban. Excepto por las clases de idioma, todas las materias se dictaban en español.

En el primario, la materia que más me costaba era caligrafía. Teníamos plumas especiales que mojábamos en tinta para hacer letras góticas. La mayoría de los maestros eran curas y hermanos de la orden católica del Verbo Divino. Eran muy estrictos. Nos enseñaron muchas cosas. Estoy muy agradecido por la educación que recibí. Tuve muy buenos maestros.

**Reitherman:** A los lectores de *Connections* siempre les interesa saber cómo fue que cada uno de los ingenieros famosos que integran esta serie de relatos empezó a interesarse por la ingeniería sísmica. De las materias que tuvo en el secundario, ¿cuál tuvo mayor relación con su posterior especialización en ingeniería sísmica?

**Bertero:** No me considero *famoso*, pero responderé su pregunta de todos modos. Debo decir que mi interés por la ingeniería sísmica surgió más adelante, mientras cursaba mis estudios universitarios. Sin embargo, mi interés por la ingeniería en general surgió mucho antes, antes incluso de empezar el secundario. Puedo hablarle de eso. Cursé seis años de primaria en el Colegio San José, seguidos de cinco años de educación secundaria. En la secundaria, las materias que más me interesaban eran física y matemática. Teníamos tres años de

física. Me gustaba mucho esa materia y tuve muy buenos profesores.

**Reitherman:** ¡No uno, sino tres años de física!

**Bertero:** Pero hubo otras cosas, antes del primario, que despertaron mi interés por lo que haría más adelante, es decir, convertirme en ingeniero. La primera fue la construcción de la casa que se convertiría en el hogar de mi familia en la ciudad de Esperanza. Era 1928-1929 y yo había empezado el primario. Hoy, en esa casa funciona un instituto de inglés. La diseñó uno de los hermanos menores de mi madre, recientemente recibido de Maestro Mayor de Obras – título que lo habilitaba para construir edificios de hasta tres pisos de altura. Él supervisó todo el proceso de construcción de la casa, las cocheras, las grandes jaulas para pájaros y los tanques para almacenar agua de lluvia para regar el jardín. Me sentí atraído por su trabajo y disfrutaba escuchándolo hablar con los albañiles.

A principios de la década del treinta, comenzó la construcción de una nueva parroquia católica para reemplazar la anterior, que era más pequeña. Esta obra estuvo a cargo de otro tío mío. Me sentí muy atraído por la construcción de esta nueva iglesia, particularmente por las dos torres altas y esbeltas de los costados. Aún hoy, esa iglesia sigue siendo un ícono de Esperanza. Volví a verla hace poco, en septiembre del 2006, cuando viajé a Esperanza. Fue un viaje hermoso. Coincidió con la celebración del centésimo

quincuagésimo aniversario de la fundación de la ciudad. Me reuní con el intendente y me nombraron Ciudadano Ilustre de Esperanza. ¡Hasta me reservaron un lugar de honor para ver el desfile!

Como verá, ya desde la infancia, me sentí atraído por la construcción de estructuras reales. Al ver mi interés, mis padres me compraron un set de piezas de juguete para armar modelos de estructuras. El juego se llamaba Meccano. De niño, me gustaba mucho construir pequeñas estructuras con mis juguetes Meccano.

**Reitherman:** Cuando yo era niño, había un juego de piezas para armar que se llamaba *Erector Set*, creo que era la versión estadounidense del *Meccano*, que era una línea británica. En su set, ¿todas las piezas pequeñas eran de metal –los puntales, los ángulos, las riostras, los pernos, las tuercas y las poleas?

**Bertero:** Sí, todas las piezas eran de acero, no de plástico. Se podía armar de todo. A mí me gustaban los puentes y las torres. Fui aprendiendo a hacer modelos de distintos tipos de estructuras. Disfrutaba buscando descubrir el modo más eficiente de construirlas. Logré armar un sistema de ferrocarriles que cruzaba por encima de un puente. Cada año, para Navidad, mis padres me regalaban un set complementario de piezas para que pudiera construir cosas nuevas. Estos juegos ejercieron una gran influencia en mí. En esa época, en la Argentina, no era como ahora en Estados Unidos, donde las escuelas tienen consejeros vocacionales

que informan a los alumnos acerca de las distintas profesiones u ocupaciones que existen. En aquel entonces, en la mayoría de los casos, eran los padres quienes decidían el futuro de sus hijos. Por ejemplo, mi madre quería que yo estudiara medicina.

**Reitherman:** En 1939, cuando comenzó la Segunda Guerra Mundial, usted debe haber estado en la escuela secundaria. ¿Recuerda cómo se enteró del inicio de la guerra? ¿Fue por los titulares y los artículos del periódico? ¿Escuchaban las noticias por radio?

**Bertero:** De algún modo, se podría decir que me enteré de la Segunda Guerra Mundial antes de que estallara. Tenía un tío que era técnico. Un año antes del inicio de la guerra, mi tío viajó a Alemania a inspeccionar transbordadores y otros medios de transporte. Al retornar a la Argentina, nos contó que Alemania se preparaba para la guerra. Contó que cada una de las fábricas que visitó estaba realizando trabajos de ingeniería para fabricar armas y otros productos militares, situación que interpretó como la fase de preparación para un enfrentamiento bélico.

Los líderes militares argentinos de esa época se habían formado en Alemania, por lo que la mayoría simpatizaba con ese país. Desde el principio de la Guerra, esto generó algunos problemas.

La armada alemana hundió un buque británico en la costa atlántica de Brasil.<sup>1</sup> Esto desató un conflicto muy serio entre Brasil y Argentina. En la Segunda Guerra Mundial, Brasil se alió con Estados Unidos. Gran Bretaña y Estados Unidos construyeron aeródromos para poder volar desde Brasil al norte de África, cruzando el Atlántico por esa ruta relativamente más corta. Paraguay se inclinaba hacia las Potencias del Eje. Argentina tenía vínculos militares y culturales con Italia y, especialmente, con Alemania, pero tenía la política de mantenerse neutral. Había una gran tensión en la región por los lazos de las naciones latinoamericanas previamente colonizadas por europeos pertenecientes a

Siempre he pensado que este desacuerdo político y gubernamental entre Brasil y Argentina fue la causa principal de la interrupción de mis estudios universitarios a fines de 1942. Yo había empezado la universidad en 1940, después de terminar el secundario en el Colegio San José, en Esperanza.

**Reitherman:** En síntesis, en 1939, usted terminó sus primeros once años de escolarización: seis años de educación primaria más cinco de educación secundaria. Esto nos lleva al momento de su ingreso a la universidad.



[Figura 1. Mapa esquemático de Argentina que muestra los lugares que se mencionan en este relato].

<sup>1</sup> El 23 de noviembre de 1942, un submarino alemán hundió el buque de carga *Ben Lomond* en el Atlántico Sur. Cuatro quintos de los miembros de la tripulación fallecieron y uno, Poon Lim,

sobrevivió 133 días solo en una balsa salvavidas hasta llegar a salvo a la costa brasilera. Su hazaña aún constituye un récord de supervivencia a la deriva en altamar.

## Capítulo II

# La Universidad

*Cuando empecé la carrera,  
había unos ciento veinte  
inscriptos. Solo veinticinco,  
aproximadamente, nos  
recibimos de ingenieros civiles.*

**Bertero:** Cursé mis estudios universitarios para recibirme de ingeniero civil en la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales Aplicadas a la Industria de la Universidad del Litoral. En otras palabras, era una facultad de ciencias, matemáticas, física y química que integraba los campos de la técnica y la ingeniería y los aplicaba a la industria. Se llamaba universidad del Litoral porque el campus estaba junto al Río Paraná, uno de los canales navegables más importantes de la Argentina.

En esa época, la década del cuarenta, Argentina tenía seis universidades nacionales importantes: Buenos Aires, Córdoba, Cuyo, La Plata, Tucumán y el Litoral. Las seis contaban con una facultad para estudiar Ingeniería Civil, pero yo elegí la Universidad Nacional del Litoral,

en la ciudad de Rosario, porque era la más cercana a la casa de mis padres, en Esperanza, y porque ya conocía, más o menos, su programa de estudios. Tenía un primo que estaba cursando cuarto año de la carrera en esa universidad. En general, la carrera universitaria de ingeniería civil duraba seis años. A los tres años, se podía obtener un título intermedio, el de agrimensor.

### **La Carrera de Ingeniería Civil**

**Reitherman:** Actualmente, en Estados Unidos, el Departamento de Ingeniería Civil casi invariablemente se llama Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Durante el primero y el segundo año, los alumnos cursan algunas materias comunes a todo el departamento, pero, luego, deben especializarse bastante en una sub-disciplina. ¿Le parece que, hoy,

los estudiantes de ingeniería civil tienden a ser direccionados hacia aspectos más específicos de esta disciplina – estructuras, ingeniería geotécnica, transporte, etc. – en comparación con el enfoque más amplio que existía cuando usted era estudiante?

**Bertero:** Sí, es cierto. En la Argentina, en esa época, no existían esas divisiones dentro de la facultad de ingeniería civil. Uno de los problemas educativos de la actualidad – que no atañe solamente a los ingenieros civiles, sino también a otros profesionales – es la especialización en una única disciplina.

**Reitherman:** Déjeme que le pregunte sobre la relación entre arquitectura e ingeniería, ya que usted es conocido por defender fervientemente un enfoque integral que abarque todos los aspectos de un proyecto de construcción, en vez de considerar la ingeniería estructural en forma aislada de otras disciplinas. ¿Cómo se enseñaba en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Rosario? ¿Los estudiantes de ingeniería cursaban materias de arquitectura y los futuros arquitectos materias de ingeniería?

**Bertero:** Los estudiantes de ingeniería civil tenían que cursar tres materias de arquitectura y los arquitectos tenían que cursar estática, resistencia de los materiales y diseño. Hacían, por ejemplo, un curso de diseño con hormigón y mampostería y otro de diseño de estructuras de madera y metal (aluminio, pero sobre todo acero).

En aquellos días, casi todos los profesores de ingeniería de mi universidad le

dedicaban más tiempo a la práctica que a la docencia. No investigaban y eso era una debilidad. Prácticamente no había comunicación entre profesores y alumnos fuera del salón de clases.

Cuando empecé la carrera, éramos unos ciento veinte estudiantes. Solo veinticinco, aproximadamente, nos recibimos de ingenieros civiles. En el primer año, teníamos que cursar seis materias. Después del primero, casi la mitad de los alumnos abandonaba la carrera. Sin embargo, la política universitaria permitía que los alumnos siguieran en la universidad. ¡Podían quedarse hasta quince años! ¡Incluso sin hacer ningún progreso! La mayoría de esos estudiantes rezagados se dedicaba a la política estudiantil, más que a estudiar. Pero si te gustaba estudiar y esforzarte, creo que, en general, el plan de estudios de ingeniería civil y el material que presentaban los profesores – particularmente los de matemática y las materias relacionadas con ingeniería de estructuras – era muy bueno.

### **Estilos de los Profesores al Enseñar**

**Bertero:** El Profesor van Wyck, un ingeniero de origen holandés, me dio estática, resistencia de los materiales y estabilidad. Tenía un acento muy marcado.

Algunas de las alumnas de arquitectura que cursaban estática, a veces, se reían de su acento. Van Wyck interrumpía la clase y les preguntaba “¿Me podrían explicar de qué se ríen?” Era un profesor excelente. Se tomaba muy en serio la docencia. El

material que usó para esas tres materias me resultó muy útil.

**Reitherman:** ¿Cuál era el método de enseñanza? ¿Se anotaba todo en el pizarrón?

**Bertero:** Para responder a esa pregunta debo aclarar que la mayoría de las clases, en ingeniería civil, consistía en presentaciones teóricas a cargo del profesor de la materia, seguidas de sesiones de laboratorio, donde buscábamos la solución a problemas prácticos bajo la supervisión del profesor asociado o un auxiliar. El material que se cubría en las clases teóricas se anotaba en el pizarrón. Había un profesor de Buenos Aires que dictaba ingeniería eléctrica. Entraba al aula, se sacaba el reloj y empezaba a hablar y a escribir en el pizarrón hasta finalizado el horario de su clase. Terminada la clase, no volvíamos a verlo hasta la clase siguiente. Uno nunca se reunía con el profesor. Como toda la enseñanza se basaba en presentaciones teóricas y los profesores no investigaban, el material que presentaban se repetía año tras año.

El Profesor van Wyck era distinto. Nos dejaba ir a verlo a su oficina, donde nos dedicaba una hora o más. Había algunos profesores así, pero eran la excepción. En otras palabras, el sistema de enseñanza era totalmente distinto de lo que experimenté

más tarde, como estudiante de doctorado del MIT, y de lo que hacemos en la Universidad de California, en Berkeley – especialmente en los cursos de posgrado.

**Reitherman:** Hoy, durante esta entrevista, estamos sentados en su despacho, en el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica de la Universidad de California, en Berkeley, en las instalaciones de Richmond. Veo que, aquí, usted tiene un pizarrón verde, pero, hace un rato, cuando habló de “pizarrón, se refería a los pizarrones negros, hechos de pizarra, ¿no es así?

**Bertero:** Sí. Al final de cada clase, entraba un empleado a borrar el pizarrón. Se podría decir que la tecnología básica de instrucción, en esa época, era el pizarrón y la tiza. No se usaban diapositivas, ni retroproyector, ni computadoras.

**Reitherman:** ¿Tenía un libro de texto básico para cada materia como un manual de estática, por ejemplo?

**Bertero:** En general, no. Había algunas excepciones, como física, análisis estructural y estructuras de hormigón armado. La primera clase, la mayoría de los profesores entregaba un listado de referencias bibliográficas. Había un título que se repetía en la bibliografía recomendada, el Manual del Ingeniero compilado por la Academia Hütte de Berlín<sup>2</sup>, que fue traducido al español en

---

<sup>2</sup> *Enciclopedia del Ingeniero y del Arquitecto* Compilada por la Academia Hütte de Berlín. La Sociedad Académica Hütte de Berlín

(Akademischer Verein Hütte) publicó la primera edición de este manual enciclopédico de ingeniería en 1857 y continúa actualizando

1938. Muchos estudiantes compraron esa edición. Yo aún conservo la mía. Incluso hoy, sigue siendo un excelente recurso para el ingeniero.

Como el mismo profesor repetía las mismas clases, todos los años, sin introducir cambios importantes en el material, el centro de estudiantes había compilado y fotocopiado los apuntes de los mejores estudiantes y los vendía a los alumnos nuevos. La consecuencia de este sistema era que había alumnos que ni siquiera se molestaban en presenciar las clases de algunos profesores.

Todos los estudiantes debían rendir exámenes para aprobar cada materia. Los exámenes se tomaban en diciembre, marzo y julio. Para la mayoría de las materias, el examen era oral, aunque algunos tomaban examen oral y escrito. Generalmente, en el examen oral, el alumno debía responder una pregunta sobre un tema que le tocaba al azar del bolillero (un recipiente que

contenía todos los temas anotados en pedacitos de papel y del cual el alumno sacaba uno al azar). El alumno tenía que usar el pizarrón para resolver el problema planteado o responder las preguntas que le hacía el profesor, que estaba acompañado por otros dos profesores durante el examen.

**Reitherman:** Hacer que el alumno pase al pizarrón o resuelva una ecuación para responder a una pregunta suena tan difícil y estresante como el típico examen oral que se toma en Estados Unidos a los estudiantes de posgrado. ¿Y usted me dice que así rendían los estudiantes de grado?

**Bertero:** Sí y, como dije anteriormente, la mayoría de mis compañeros no completó el programa. Para evaluar a los estudiantes, se usaba la siguiente escala de notas: 10 (excelente), 9-7 ½ (muy bueno), 6-5 (bueno), 4 (aprobado) y toda nota por debajo de 4 se consideraba reprobado o *bochado*.

---

su contenido con nuevas ediciones. Incluye secciones de matemática, física y química, ingeniería civil, mecánica, eléctrica, electrónica y otras disciplinas técnicas. La trigésima

segunda edición en alemán se publicó como *Hütte: Das Ingenieur, Wissen*, Horst Czichos et al., editors, Springer-Verlag Berlin, 2004.

## Capítulo III

# El Ejército, durante la Segunda Guerra Mundial

*Más adelante, en 1949, esa chica se convertiría en mi esposa—después de la guerra, al finalizar la universidad y luego de conseguir trabajo.*

**Bertero:** A fines de 1941, en parte debido a los problemas que surgieron entre Brasil y Argentina por la Segunda Guerra Mundial, me enlistaron en el ejército. Debía servir como soldado por tres meses en el regimiento de artillería de Campo de Mayo, en la provincia de Buenos Aires. En otras palabras, fui llamado a las filas. Para ese entonces, había aprobado todos los exámenes de segundo año de la carrera de ingeniería civil.

En el campamento militar, cerca de Buenos Aires, hacía mucho calor. Las temperaturas alcanzaban los 35°C. Durante los entrenamientos, nos obligaban a correr por

un campo lleno de árboles bajos y nos hacían caer sobre arbustos espinosos. A los oficiales de rango intermedio, que estaban a cargo de los soldados nuevos, no les gustaban los universitarios. Los estudiantes no sabían montar bien a caballo, pero los obligaban. Yo había nacido en una finca y sabía encinchar, pero los demás no. Ni bien montaban, la montura comenzaba a aflojarse y el caballo se descontrolaba. El sargento era mezuquino con los soldados jóvenes.

**Reitherman:** Hablando de montar, ¿qué le enseñó el ejército sobre los caballos?

**Bertero:** En esa época, las piezas de artillería se transportaban usando la fuerza de los caballos. Montábamos y guiábamos a los animales para transportar la artillería.

En abril de 1942, volví a Rosario para retomar mis estudios, pero, a fines de ese año – y antes de que pudiese rendir todos los exámenes obligatorios de las seis materias que había cursado –, me llamaron a las filas del Ejército Argentino como Subteniente de Artillería. Fui asignado a la base de un nuevo regimiento, cerca de Goya, en la provincia de Corrientes. Corrientes está al norte de Argentina. Limita con el Río Paraná al oeste y al este con Brasil. Como he explicado, la Segunda Guerra Mundial había generado tensiones entre Argentina y Brasil.

### **Nydia, mi Futura Esposa**

**Bertero:** Tras el entrenamiento inicial en la ciudad de Paraná, llegué a la ciudad de Goya como Subteniente de Artillería. Goya está sobre las márgenes del Río Paraná. Éramos unos doce oficiales jóvenes y no teníamos cuartel donde dormir. Nos enviaron a un viejo hotel en la ciudad. Como era bastante incómodo, recurrimos al oficial a cargo del regimiento para pedirle nuestro propio club o casino. Respondió que, si encontrábamos una casa para alquilar, el ejército pagaría el alquiler. Luego, me dijo: “Tú, que estudias ingeniería, deberías ocuparte de encontrar la casa”. Así, fui el encargado de salir a buscar una casa para alquilar. Busqué durante unas dos semanas, sin éxito, hasta

que alguien me comentó que había una mujer mayor, madre de trece hijos ya adultos, que vivía en una casa demasiado grande para ella, ahora que sus hijos ya se habían marchado.

Coordiné una cita para inspeccionar la casa y así fue como conocí a Doña Felipa Vilas, que vivía con una de sus hijas adultas, Ana Vilas. Ese día las visitaba una nieta joven, de unos quince años. Era Nydia Ana Barceló Vilas, hija de Adolfo Barceló y María Vilas. Más adelante, en 1949, esa chica se convertiría en mi esposa – después de la guerra, al finalizar la universidad y luego de conseguir trabajo. En 1999, celebramos nuestro quincuagésimo aniversario de bodas y, actualmente, en 2006 [fecha de esta entrevista en particular], llevamos cincuenta y siete años casados.

Así que la abuela y su hija se mudaron a una casa más pequeña, al lado de la casa principal y, nosotros, los jóvenes oficiales solteros, ocupamos la casa grande. Era la típica casa argentina de la época, con habitaciones que daban a un gran patio central.

Casi a fines de 1943, presenté una solicitud pidiendo que se me eximiera de mis obligaciones con el Ejército para poder retomar mis estudios universitarios de ingeniería civil. Tras revisar mi solicitud, el Oficial en Jefe del Grupo de Artillería, consideró que mi deber con la Patria era más importante que mis estudios y la tiró.

**Reitherman:** Cuando dice que “la tiró”, ¿lo dice en un sentido literal?

**Bertero:** La estrujó entre sus dedos y la tiró a la basura.

### **Recuperándose de una Herida**

**Bertero:** Más adelante, en 1943, un caballo me pateó la pierna y me lastimó. Para ir de la casa que alquilábamos a la ciudad, montábamos a caballo. Uno de los asistentes que traía los caballos no los sostuvo bien y un caballo me pateó. Estaba herido y dolorido. La pierna se me hinchó muy rápido y no me podía sacar la bota. La única forma de sacármela fue cortarla. En Goya, la máquina de rayos X no funcionaba lo suficientemente bien como

para detectar una fractura. Me indicaron que fuera al hospital militar de la ciudad de Paraná. Para ello debía emprender un viaje de dos días tomando un barco aguas abajo, por el Río Paraná. Finalmente, decidí ir a ver a mi médico, a Rosario, que solo representaba un día de viaje: debía cruzar el río en ferry y, luego, tomar un autobús a Rosario. Al llegar a Rosario, mi médico me llevó al hospital para operarme la pierna.

Un tiempo después, cuando me hube recuperado de esta herida, el ejército me dejó volver a la universidad.

## Capítulo IV

# El Regreso a la Universidad para graduarme como Ingeniero Civil

*El terremoto de 1944 despertó mi interés por la ingeniería sísmica.*

**Reitherman:** Su relato nos posiciona en 1944: usted ha regresado a la universidad y está por recibirse de ingeniero civil. No obstante, creo que todavía no ha mencionado ningún hecho que indique por qué decidió dedicarse a la ingeniería sísmica. ¿Qué fue lo que despertó su interés, Profesor Bertero?

### **“Construcción Sismorresistente” e “Ingeniería Sísmica”**

**Bertero:** En primer lugar, en 1944, todavía no existía una disciplina independiente llamada “ingeniería sísmica”. Existían algunos libros y prácticas de ingeniería que abordaban los problemas causados por los terremotos, pero, en general, se hablaba de “construcción

sismorresistente” y, la verdad, es que tenía más que ver con la construcción que con la ingeniería. En general, los aspectos relacionados con el movimiento del suelo y la respuesta de la estructura entraban en lo que se llamaba sismología para ingenieros. El EERI (Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica) todavía no existía. Se formó en 1948 y empezó a funcionar y a reunirse recién en 1949. De hecho, *EERI*, esa sigla en inglés que, hoy, nos resulta tan familiar, estuvo a punto de ser *SERI* (Instituto de Investigación en Sismología). Tres de sus fundadores – John Blume, George Housner y R.R. Martel – creían que el nombre del instituto debía hacer referencia a los “sismos” de forma

expresa y, por eso, decidieron llamarlo Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica. El hecho de que la expresión “ingeniería sísmica” se haya vuelto tan habitual se debe en gran medida al EERI. El EERI fue un producto del Comité Asesor de Sismología del Servicio de Costas y Geodesia. La aplicación de métodos de análisis más avanzados para poner la ingeniería al servicio del diseño sismorresistente estaba recién en sus inicios.

En 1952, al celebrar uno de sus primeros grandes eventos, una conferencia en la UCLA, en Los Ángeles,<sup>3</sup> el EERI decidió que, además de los sismos, era necesario incluir el tema candente de la Guerra Fría: la resistencia a las explosiones y la defensa contra los ataques nucleares. Los organizadores no estaban seguros de poder captar una buena audiencia de ingenieros y sismólogos si la conferencia versaba únicamente sobre terremotos. La primera Conferencia Mundial que se denominó así misma usando la expresión “ingeniería sísmica” se realizó recién en 1956. Así que, a mediados de la década del cuarenta, no había realmente un campo bien definido para que los estudiantes pudieran *adentrarse* en la ingeniería sísmica, como sí tenemos hoy.

**Reitherman:** En las primeras páginas de las actas de esas sesiones de 1952, observé que, para obtener una copia, había que

escribir a Karl Steinbrugge a la dirección de su despacho en San Francisco —el mismo procedimiento que se usaría años más tarde, en 1956, para pedir el material de la Conferencia Mundial de 1956. Los pedidos se iban cubriendo con los volúmenes que Karl apilaba bajo su escritorio, en su despacho.

**Bertero:** Sí, todo era diferente entonces. En 1944, no existía la posibilidad de estudiar ingeniería aplicada al problema de los terremotos. Además, para las universidades argentinas era muy difícil obtener información de otros países que ya estaban avanzando sobre el tema. Le conté que un tío mío construyó la iglesia de Esperanza, le hablé de mis juguetes para armar marca *Meccano*, mencioné mi interés por la física y que estudié ingeniería civil en la universidad. Todos esos sucesos de mi niñez y de mi juventud, sin duda, me ayudaron a prepararme para hacer una carrera en ingeniería sísmica, aunque, en ese entonces, yo ignoraba que esa disciplina marcaría el rumbo de mi carrera. Sin embargo, hay un suceso que se impone sobre los demás del que aún no he hablado: el terremoto de 1944; ese terremoto despertó mi interés por la ingeniería sísmica.

### **El Terremoto de San Juan de 1944**

**Bertero:** El terremoto de San Juan, una provincia ubicada en el oeste de la

---

<sup>3</sup> C. Martin Duke and Morris Feigen, editors, *Symposium on Earthquake and Blast*

*Effects on Structures*. Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, Oakland, California, 1952.

Argentina, ocurrió el 15 de enero de 1944. Para entonces, yo había terminado el servicio militar y retomado mis estudios universitarios. Este terremoto, de magnitud 7, causó el mayor desastre natural que ha ocurrido en la historia argentina a la fecha. Hubo 10.000 muertos y, a diferencia de los demás terremotos ocurridos en la Argentina, donde el epicentro se localiza tierra adentro, respecto de la zona de subducción del Océano Pacífico, el epicentro del terremoto de 1944 fue poco profundo. Fue un sismo especialmente destructivo.

Hubo dos profesores de la Universidad Nacional del Litoral que estudiaron el desastre de San Juan, el Dr. Alfredo Castellanos y el Dr. Pierina Pasotti, ambos estudiosos de las ciencias de la tierra. En el transcurso de los dos meses y medio que siguieron, cada uno de ellos publicó un informe sobre el terremoto. Ambos habían sido profesores míos, en 1942, en una materia que se llamaba Fisiografía, Mineralogía y Petrografía. Básicamente, era una materia de geología, ya que, en ese momento, en la Argentina, no había materias de ingeniería civil enfocadas en el tema terremotos – ni tengo conocimiento de que las hubiera en otros países. Castellanos se ofreció a crear una materia que quería llamar *Sismología Pura y Sismología Edilicia*, dirigida a ingenieros civiles y arquitectos, pero no

recibió suficiente apoyo. Yo me reuní a solas con él y leí su informe sobre el terremoto.

La severidad de los daños provocados por el terremoto y los informes de los Profesores Castellanos y Pasotti me guiaron hacia el campo que, más tarde, se conocería como ingeniería sísmica. Básicamente, lo que había hecho Castellanos era redactar lo que hoy llamaríamos un Informe de Reconocimiento sobre el terremoto<sup>4</sup>. Dicho sea de paso, inicialmente, el Profesor Castellanos había estudiado medicina. ¿Recuerda que mencioné que, tradicionalmente, eran los padres quienes decidían la ocupación de sus hijos? Se recibió de médico porque eso era lo que sus padres querían. Después de un tiempo, Castellanos dijo “no quiero ser médico, quiero ser geólogo”, y así lo hizo. Su dedicación a la investigación y la enseñanza ejerció una gran influencia en mí. Desafortunadamente, a pesar de que los Profesores Castellanos y Pasotti enfatizaron la urgencia de formar a los estudiantes de ingeniería civil y arquitectura en el tema terremotos, sus sugerencias no recibieron ningún apoyo. Encima, en esa época, durante la Segunda Guerra Mundial y el período de posguerra, era prácticamente imposible conseguir publicaciones extranjeras y

---

<sup>4</sup> Castellanos, A. *Anotaciones Preliminares con Motivo de una Visita a la Ciudad de San Juan a Propósito del Terremoto del 15 de enero de 1944. Publicación del Instituto de la Facultad de*

*Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales Aplicadas a la Industria* de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 1944.

libros nuevos. No era nada fácil aprender *sismología edilicia*.

San Juan está cerca de varias fallas. El patrón histórico que se repetía era que, tras cada nuevo terremoto, las autoridades decidían mudar la ciudad. Sin embargo, con cada mudanza se alejaban de una falla para acercarse a otra. En el terremoto de San Juan, hubo un edificio gubernamental que tuvo un buen desempeño, por lo que se estudió su construcción para entender por qué. Lo aprendido a partir de ese estudio sirvió para desarrollar requerimientos prescriptivos: qué materiales utilizar, cómo construir y, especialmente, requerimientos de detalle para mejorar la resistencia de la construcción ante un sismo. Inicialmente, estos requerimientos ayudaron a los constructores a mejorar la resistencia de la ciudad. Fue más adelante que se desarrollaron e implementaron las verdaderas técnicas de ingeniería sísmica a través de disposiciones de código.

**Reitherman:** ¿Cuándo viajó a San Juan para ver personalmente la destrucción?

**Bertero:** Viajé en 1945, pero ya estaba al tanto del alcance de los daños por el informe del Dr. Castellanos y nuestros encuentros en la universidad. La reconstrucción acababa de empezar. El General Plácido Vilas, tío de mi futura esposa, había sido designado gobernador provisorio de la provincia de San Juan.

La labor de reconstrucción fue inmensa y, realmente, hicieron un gran trabajo al aplicar disposiciones provisorias de un

código antisísmico. No era un código muy sofisticado, pero tenía detalles muy específicos y precisos de construcción. El código se aplicó en forma rigurosa; todos debían cumplir la norma. Ya no se podía construir con adobe u hormigón sin armadura. Fue una suerte que fuera así porque, cuando sucedió el terremoto de Cauce de 1977 – que tuvo una magnitud de 7,4 – la ciudad reconstruida de San Juan no tuvo ninguna víctima que lamentar.

Creo que el terremoto de San Juan de 1944 marcó el inicio de la ingeniería sísmica en Argentina. Las disposiciones del código de construcción sismorresistente de Chile son anteriores. Los chilenos llevaban la delantera. No solo habían sufrido más terremotos, sino que sus terremotos eran más destructivos. La placa de subducción de Nazca provoca sismos menos profundos bajo Chile; luego buza y se mueve hacia el este, por debajo del continente Sudamericano. Para cuando llega a estar debajo de Argentina, la placa de Nazca provoca terremotos a mayor profundidad y, por lo tanto, los epicentros están más alejados de la superficie construida y los movimientos del suelo son más débiles.

### **El Desarrollo de la Ingeniería Sísmica en Otros Países**

**Reitherman:** En agosto de 1906, Chile tuvo un gran terremoto, devastador, cerca de Valparaíso. Fue comparable al del norte de California de abril de ese

mismo año.<sup>5</sup> Parece que ese terremoto, el que ocurrió cerca de Valparaíso, fue el que inició el interés por la ingeniería sísmica moderna y por la sismología en Chile. El Conde Montessus de Ballore, uno de los principales sismólogos de Europa, puso a Francia a cargo del programa sismográfico nacional del gobierno chileno e inició el dictado de clases sobre terremotos en la universidad. Así, Chile se inició temprano en esta disciplina, pero no fue sino hasta el terremoto de Concepción de 1939 que adoptó un código antisísmico.

¿Qué opina del patrón histórico que siguen algunos países, donde una o más catástrofes causadas por grandes terremotos desencadenan el desarrollo de la ingeniería sísmica del país? Parecería que ese es el patrón que se aplica al terremoto de San Juan de 1944, que usted bien describe, y a los terremotos de 1906 de Chile y California, al terremoto de Hawke's Bay de Nueva Zelanda y a los de 1931 y 1935 de Baluchistán, que tuvieron como consecuencia el lanzamiento del código de construcción sismorresistente de la India.

**Bertero:** Su observación es correcta. Sin embargo, hubo un país que no progresó hasta mucho más tarde, a pesar de haber tenido grandes problemas con los sismos: China. Históricamente, China sufrió

muchos terremotos y reconocía el problema, pero no se interesó por la ingeniería sísmica moderna sino hasta hace relativamente poco. Es un caso curioso. También hay otros países que, a pesar de haber sufrido muchos terremotos, solo recientemente han mostrado un interés serio por la investigación y la práctica en programas de ingeniería sísmica. Y algunos, tal vez, ni siquiera han iniciado ese camino todavía.

**Reitherman:** Los chinos parecen reconocer al Dr. Liu Huixian como su primer ingeniero en terremotos. Liu Huixian puso en marcha el desarrollo del código de construcción sismorresistente y el programa de investigación en el Instituto de Tecnología de Harbin, en 1954. Esta fecha no coincide con ninguna catástrofe específica en China. Sin embargo, el gobierno reconoció la necesidad de contar con un código de construcción sismorresistente y asignó la tarea al Dr. Liu.

**Bertero:** Cada país siguió un camino diferente. Podríamos profundizar en el hecho de que todos los actores de la sociedad deberían involucrarse en la búsqueda de soluciones al problema sísmico. No se puede esperar que los ingenieros resuelvan todo solos.

---

<sup>5</sup> El terremoto de Chile del 17 de agosto de 1906 tuvo una magnitud de 8,2. Al igual que el terremoto del 18 de abril de ese mismo

año, en San Francisco, California, Valparaíso sufrió tanto o más por los incendios que por el daño inicial causado por el terremoto.

## Capítulo V

# El Doctorado en el MIT

*A mi lado se sentaba una chilena; también era su primer viaje en avión. El avión se sacudía en la tormenta mientras la mujer rezaba de rodillas sosteniendo un rosario.*

**Reitherman:** Al finalizar sus estudios universitarios, en 1947, ¿decidió continuar inmediatamente con un posgrado?

**Bertero:** No, no de inmediato. Quería investigar y trabajar como consultor profesional en el diseño de obras civiles, considerando el comportamiento no lineal inelástico (plástico) de las estructuras, particularmente bajo los efectos de un movimiento fuerte de suelo, como un terremoto. Fue por este motivo que, a principios de 1946, antes de recibir mi diploma de ingeniero civil, acepté un puesto como asistente de investigación en el Instituto de Estabilidad, un instituto de

estabilidad estructural perteneciente a la Universidad de Rosario. Empecé a realizar investigaciones experimentales y analíticas sobre el comportamiento mecánico lineal y no lineal de los elementos estructurales en rango elástico y, en particular, inelástico (o plástico).

Hoy, el análisis elástico no lineal es importante si se quiere usar una técnica como la pre-compresión para permitir que los elementos de hormigón roten en las uniones y vuelvan a centrarse para que no haya deformación residual tras el terremoto. Cuando se permite el giro rígido (*rocking*), la resistencia varía en la

medida que la geometría cambia; es no lineal – incluso si ningún material se comporta de modo inelástico.

En esa época, era muy difícil obtener información, como informes técnicos y publicaciones de países que ya estaban investigando esos temas. Los informes redactados por mis ex profesores, los doctores Castellanos y Passoti, y mis conversaciones con ellos, me ayudaron a comprender la importancia de la sismología y la geología aplicadas a la ingeniería para abordar los complejos problemas que pueden generar los grandes movimientos de suelo. El director del Instituto de Estabilidad era el Profesor Roberto Weder. Weder se había recibido de ingeniero civil en la Facultad de Rosario en 1930 y, luego, en 1946, había hecho una maestría en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (el MIT). Él me ayudó a aprender sobre el comportamiento inelástico no lineal de los materiales. Roberto Weder había nacido en una colonia alemana cerca de la comuna de Humboldt, en Argentina, que también está cerca de Esperanza. A pesar de que sus profesores del MIT le insistían para que se quedara en Estados Unidos a hacer un doctorado, él decidió regresar a Rosario.

Como, en 1947, el sueldo de asistente de investigación que me pagaba la Universidad de Rosario no me alcanzaba para vivir, a principios de 1948 empecé a trabajar como Director Técnico de los Talleres Metalúrgicos Angeloni. Estaba a

cargo del diseño y de dirigir la fabricación y el montaje de estructuras de acero.

### **El Casamiento con Nydia Barceló Vilas**

**Bertero:** En 1949, me casé con Nydia Ana Barceló Vilas. Recordará que le hablé del momento en que la conocí, seis años antes. Nydia era la nieta de la propietaria de la casa que fui a inspeccionar, estando en el ejército, y que, luego, se alquiló para los oficiales jóvenes. Más adelante, ese mismo año, me nombraron Jefe de Trabajos Prácticos de Estabilidad. Dictaba un curso para estudiantes de ingeniería civil en el Instituto de Estabilidad y también una materia sobre diseño de estructuras de madera y acero en la carrera de arquitectura. En 1950, me asocié con el profesor Roberto Weder. Creamos una consultora de ingeniería estructural que se llamaba Weder-Bertero. Entre 1950 y 1953 diseñamos varias estructuras de hormigón armado y acero. Al ejercer la profesión, nos dimos cuenta de que era necesario mejorar las prácticas de la época: primero investigando y, luego, incorporando los resultados de esas investigaciones a la formación de los estudiantes universitarios.

### **Falta de Posgrados en Ingeniería en Argentina**

**Bertero:** En ese entonces, en Argentina, no había posgrados en ingeniería. Recién hace poco, a comienzos del siglo XXI, algunas facultades de ingeniería empezaron a ofrecer programas de posgrado para doctorarse en ingeniería.

En la Universidad de Buenos Aires, el primer ingeniero civil en doctorarse fue Raúl Bertero, a principios del 2006. Raúl había hecho una maestría en la Universidad de California, en Berkeley, en 1992, y empezó a trabajar en su tesis doctoral a principios de 1997, bajo mi supervisión y la del Ingeniero Alberto Puppo, un profesor de la Universidad de Buenos Aires.

**Reitherman:** Me he topado antes con el nombre Raúl Bertero y siempre supuse que era su hermano, pero usted dijo antes que tuvo un solo hermano, Humberto.

**Bertero:** Raúl y yo tenemos el mismo apellido y hay un parentesco lejano que se remonta a nuestros antepasados italianos, pero no somos parientes cercanos. Sin embargo, el padre de Raúl, Domingo Bertero, fue como un hermano para mí. Domingo también se recibió en la misma facultad de ingeniería que yo, un año después.

En Argentina, en la década del cincuenta, las instalaciones de los laboratorios no eran adecuadas y ni siquiera teníamos fondos para adquirir publicaciones técnicas sobre lo que se hacía en otros países. A partir de 1942, los problemas económicos y políticos del país empezaron a interrumpir la actividad regular de las universidades argentinas. Los estudiantes empezaron a organizar protestas seguidas de huelgas. El gobierno militar intervino la administración de las universidades y algunas autoridades universitarias fueron

destituidas. Hubo grandes recortes en el presupuesto destinado a las universidades.

**Reitherman:** Esto debe haber sido durante la presidencia de Juan Perón, quien ejercía un poder muy centralizado sobre Argentina. Mientras investigaba sobre el terremoto de San Juan de 1944, me topé con un dato interesante: Juan Perón, que, entonces, era coronel del ejército, conoció a Eva allí, en San Juan, mientras recaudaban fondos para las víctimas del terremoto. Parece que esta catástrofe tuvo mucho que ver con el fortalecimiento político del Peronismo, ya que se ganaron la simpatía de muchos al solidarizarse con la difícil situación de los habitantes más pobres de la región, tras el terremoto.

**Bertero:** Poco tiempo después, Juan y Eva Perón dieron inicio a su década en el poder como líderes populistas. No fue un buen período para las universidades.

Hacia finales de 1952, decidí que, para ampliar mis conocimientos e investigar, lo mejor era ir a una universidad o institución extranjera que ya estuviese investigando en mis áreas de interés — concretamente, el desafío presentado por el comportamiento inelástico y el diseño sismorresistente. Hablé con el Profesor Weder y algunos ingenieros que habían participado en investigaciones en Europa y Estados Unidos y llegué a la conclusión

de que tenía dos opciones: el MIT o el ETH<sup>6</sup>. Opté por el MIT.

**Reitherman:** ¿Qué lo decidió por el MIT?

**Bertero:** Fue un tema económico. Para ese entonces, yo estaba casado y tenía dos hijos: María Teresa, la mayor, y Eduardo Telmo. Gracias a la correspondencia intercambiada por Roberto Weder y los profesores del MIT, el MIT me ofreció un puesto como asistente de investigación que me proporcionaba ciertos ingresos.

### **La Partida de Argentina para Estudiar en el MIT**

**Bertero:** Me fui de Argentina para estudiar en el MIT en julio de 1953. En ese primer viaje, no pude llevar a mi esposa y a mis hijos porque las autoridades estadounidenses decían que mi nombramiento como asistente de investigación era solo por un año. Debía demostrar que tendría el puesto por más tiempo. Tampoco podía obtener un certificado del MIT en forma anticipada, pero, afortunadamente, apenas llegué, todos fueron muy amables y prepararon un certificado que dejaba constancia de que trabajaría como asistente de investigación durante nueve meses y como ingeniero investigador durante los últimos tres meses necesarios para completar mis estudios. Unos dos meses más tarde, mi esposa pudo viajar a

Massachusetts con mis dos hijos pequeños.

**Reitherman:** ¿Cómo viajó de Argentina a Cambridge, Massachusetts? ¿Por barco o por avión?

**Bertero:** Por avión. ¡Ah, qué viaje! Duró dos días. Primero volamos de Buenos Aires a São Paulo, Brasil. Después, hicimos una escala en otra ciudad brasilera. Después, La Habana, donde pasamos medio día mientras esperábamos que revisaran el avión por un desperfecto y, de ahí, a Boston. Era la primera vez que volaba.

Esto fue antes de los aviones de reacción. Volé en un avión de hélice. En Brasil había un clima tormentoso. A mi lado se sentaba una chilena; también era su primer viaje en avión. El avión se sacudía en la tormenta mientras la mujer rezaba de rodillas sosteniendo un rosario.

**Reitherman:** ¿Realmente se levantó de su asiento para arrodillarse a rezar?

**Bertero:** ¡Sí, se arrodilló! Nunca olvidaré mi primer vuelo. Fue toda una aventura.

Al llegar al MIT, empecé con la maestría y mi trabajo como asistente de investigación. Terminé la Maestría en Ingeniería Civil en 1955 y el doctorado en 1957.

**Reitherman:** Aclaremos a los lectores que, en esa época, el MIT otorgaba el título de

---

<sup>6</sup> *Eidgenössische Technische Hochschule* (Instituto Federal de Tecnología de Suiza), Zúrich, Suiza.

Doctor en Ciencias (ScD) en ingeniería civil – título equiparable al PhD. El ScD y el PhD son títulos doctorales equivalentes. Hoy quedan muy pocas universidades en Estados Unidos. que otorguen ambos títulos. La mayoría solo da el de PhD.

¿Empezó a estudiar ingeniería sísmica en la maestría?

### **Ingeniería de Explosiones; No Ingeniería Sísmica (por ahora)**

**Bertero:** No, no me enseñaron ingeniería sísmica. En esa época, todavía no se enseñaba como un tema en sí mismo. Pero sí me enseñaron distintos aspectos de la ingeniería que me fueron preparando para la ingeniería sísmica. En ese entonces no había fondos para investigar el tema. Todas las iniciativas de investigación se centraban en los efectos de las bombas atómicas o “bombas A” (de fisión) y, más adelante, en las bombas de hidrógeno o “bombas H” (de fusión). El objetivo era desarrollar estructuras, como refugios antibombas, con un diseño y métodos de construcción confiables para que pudieran resistir el efecto de las explosiones. Este tipo de investigaciones recibían apoyo del Ejército Estadounidense, la Armada Estadounidense y la Administración Federal de Defensa Civil. En el MIT, los

profesores Bob Hansen, Myle Holley hijo y John Biggs<sup>7</sup> investigaban en cooperación con un grupo de la Universidad de Illinois encabezado por los profesores Nathan (Nate) Newmark y Willian (Bill) Hall.

Los resultados de su investigación en dinámica estructural se resumieron en un curso corto de dos semanas que se dictó durante el verano de 1956 en el MIT. En ese momento, el organismo de defensa civil de Estados Unidos. había aportado fondos para capacitar a los ingenieros en el diseño de refugios para una eventual guerra nuclear – refugios subterráneos que estarían protegidos de la radiación y las presiones dinámicas de la atmósfera a las que se verían sometidos los edificios de la superficie. Sin embargo, las estructuras subterráneas no podían escapar de las grandes cargas que recibirían por la propagación de la explosión a través del suelo.

Durante ese curso, un profesor de Japón hizo un muy buen resumen en inglés sobre los sismos y, particularmente, sobre sus efectos dinámicos en las estructuras. También comparó las prácticas japonesas con las estadounidenses en lo relativo a la normativa del diseño sismorresistente. Este experto japonés era el padre de un joven y brillante estudiante que se

---

<sup>7</sup> Más tarde, estos tres profesores del MIT formaron la consultora de ingeniería Hansen, Holley, and Biggs. J.M. Biggs fue autor de *An Introduction to Structural Dynamics*, McGraw Hill, Nueva York, 1964, uno de los primeros libros sobre el tema. El primer asistente de investigación de Hansen fue Joseph Penzien, quien, en enero de 1948, empezó a investigar

los efectos de las explosiones en las vigas de hormigón armado. (*Connections: The EERI Oral History Series – Joseph Penzien*, entrevistas a cargo de Stanley Scott y Robert Reitherman. EERI, Oakland, California, 2004, p. 15). M.J. Holley, hijo, más tarde encabezaría la Sección de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil en el MIT.

graduación en Berkeley en 1960. Más adelante, el padre fue nombrado Secretario de la Sociedad Internacional de Ingeniería Sísmica.

**Reitherman:** Debe estar hablando de John Minami.

**Bertero:** Exactamente. Era profesor de la Universidad Waseda. Llegó en 1956. Los apuntes de las presentaciones de ese curso fueron la base de lo que, posiblemente, fue el primer libro — al menos, hasta donde yo sé — escrito para ingenieros civiles que diseñan estructuras.<sup>8</sup> Norris, Wilbur, Holley y Biggs se referían a los sismos de vez en cuando, pero, en ese entonces, los japoneses estaban más adelantados en ingeniería sísmica. Minami era un excelente profesor.

### Profesores en el MIT

**Reitherman:** Cuénteme un poco sobre los profesores que conoció en el MIT.

**Bertero:** En el MIT tuve muy buenos profesores, excelentes. Dentro del salón de clases, Charles Norris y Jacob P. den Hartog, por ejemplo, eran formidables. También John Wilbur, Walter Maxwell Fife, Myle Holley y John Biggs eran buenos profesores. Wilbur y Fife escribieron juntos un libro de texto sobre

ingeniería estructural.<sup>9</sup> Puede que algunos no se destacaran tanto dentro del aula, pero, cuando uno los iba a ver a sus oficinas particulares, se aprendía mucho — y siempre estaban dispuestos a reunirse con los estudiantes. Recordará que le conté que, en la Argentina, algunos profesores no estaban disponibles fuera del aula. El MIT era diferente. Le debo mucho a esos profesores.

Trabajé duro y mi familia estuvo bajo cierta presión financiera. Cuando empecé el doctorado, teníamos dos hijos, María Teresa y Edward. Mientras estaba en el MIT, nacieron dos más: Robert y Mary Rita. Los cinco años que pasé en el MIT, haciendo la maestría y el doctorado más otro año que trabajé para ellos representaron un tiempo de sacrificio económico para mi familia. Fue durante ese período cuando realmente me preparé para especializarme en ingeniería sísmica.

### *Robert Hansen*

**Reitherman:** ¿Qué me puede contar sobre su director de tesis, Robert Hansen? Porque hay mucha gente, en el ámbito de la ingeniería sísmica, que conoce a alguien de una generación posterior con un apellido muy similar, aunque se escribe

---

<sup>8</sup> C.H. Norris, R.J. Hansen, M.J. Holley, J.M. Biggs, S. Namyet y John V. Minami, *Structural Design for Dynamic Loads*. McGraw Hill, Nueva York, 1959. Este fue uno de los primeros o, posiblemente, el primer texto publicado para analizar el tema del diseño estructural para

cargas dinámicas dirigido al ingeniero civil o de estructuras, a diferencia de los trabajos que versaban sobre los aspectos mecánicos o aeronáuticos de la dinámica.

<sup>9</sup> Walter Maxwell Fife y John Benson Wilbur, *Theory of Statically Indeterminate Structures*. McGraw-Hill, Nueva York 1937.

con “o”: Robert o Bob Hanson. Hagamos esa distinción.

**Bertero:** Probablemente, el Profesor Hansen era el miembro más joven del cuerpo docente del MIT. Era muy dinámico y tenía mucho interés por el diseño resistente a explosiones. Particularmente, le interesaban el desarrollo y la aplicación de prensas de carga diseñadas especialmente para el trabajo experimental. Se había especializado en ingeniería de explosiones. Me lo asignaron como director de tesis porque me interesaba el trabajo experimental.

**Reitherman:** ¿Cómo era Hansen?

**Bertero:** Hansen era un excelente ingeniero. Descolló como especialista en diseño contra explosiones. Además, sabía cómo captar fondos para investigar en esa área.

### *Jack Benjamin*

**Bertero:** Antes de mi llegada al MIT, Jack Benjamin<sup>10</sup> trabajó allí con Robert Hansen en los efectos de las cargas por explosión en tabiques estructurales de hormigón armado. Hizo investigaciones muy importantes sobre ese tema. Después,

---

<sup>10</sup> Jack R. Benjamin (1917-1998) se adentró en la ingeniería estructural como estudiante de grado y, luego, de maestría en la Universidad de Washington, trabajando un tiempo bajo la supervisión del Profesor F.B. Farquharson en la investigación sobre el colapso del puente de Tacoma Narrows en 1940. Se doctoró en el MIT en 1942 y estuvo en el ejército estadounidense en la Segunda Guerra Mundial. Después, dictó

Benjamin se fue a Stanford, donde siguió investigando los tabiques estructurales de hormigón y mampostería. Harry Williams, otro profesor de Stanford, también trabajó en esa investigación financiada por el ejército de Estados Unidos. en los años cincuenta.

Cuando pasé a integrar el cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley, empecé a seguir el trabajo del Profesor Benjamin. Fui a un curso de Probabilidades para ingenieros civiles que dictó un verano junto al Dr. Allin Cornell. Nos hicimos amigos. Iba a visitarlo a Stanford, de vez en cuando. El Profesor Benjamin se jubiló de Stanford en 1973 y formó la empresa Jack Benjamin Associates.

**Reitherman:** Es interesante que Benjamin sea reconocido, entre otras cosas, por ser un pionero en la investigación y la defensa del uso de la probabilidad en ingeniería civil. C. Allin Cornell, a quien usted menciona, fue otra figura prominente de Stanford en esa área. Dictó clases en el MIT casi veinte años. Empezó en los sesenta — tras pasar por el MIT. Luego, fue profesor de Stanford. Cornell y Benjamin escribieron un libro de

clases un tiempo en el Instituto Politécnico Rensselaer y, luego, de 1948 a 1973, integró el cuerpo docente de la Universidad de Stanford. Es conocido por la instrucción que impartió en diseño estructural, utilizando conceptos de análisis como la visualización de formas deflectadas para asistir el proceso de diseño. Fue el autor de *Statically Indeterminate Structures*, McGraw-Hill, Nueva York, 1949.

probabilidad que sigue siendo un libro de peso para el ingeniero.<sup>11</sup>

**Bertero:** Sí. Allin Cornell ha liderado la aplicación de las probabilidades en la ingeniería sísmica.

*Howard Simpson, Werner Gumpertz y Frank Heger*

**Bertero:** En el MIT también tuve otros dos profesores jóvenes que me asesoraron y ayudaron en mis investigaciones. Durante los dos primeros años, fue el Profesor William J. LeMessurier y, los tres años siguientes, el Profesor Howard Simpson. El Profesor Simpson luego formó una empresa de ingeniería con dos socios que también eran profesores asociados en el MIT. La empresa todavía se llama Simpson, Gumpertz y Heger. La fundaron en Boston en 1956. También conocí a Werner Gumpertz y fui muy amigo de Frank Heger.

El fuerte de Simpson era la investigación y la consultoría — a la que se dedicó — más que a la enseñanza. Gumpertz se dedicaba a dirigir y administrar. Heger era el más tranquilo. Vino a verme a fines de los ochenta porque la empresa planeaba abrir una sucursal en San Francisco. En ese momento, yo era profesor en Berkeley y me consultó a quién sería conveniente contratar.

Hansen me pidió que ayudara a Simpson a diseñar y construir un aparato con una capacidad de 1.300 kN para simular explosiones. Debía impartir esa carga en un milisegundo. La carga alcanzaba un valor muy alto en esa pequeña fracción de tiempo. Luego bajaba, también abruptamente, y había una fase de carga negativa de corta duración en la que la presión era inferior a la presión estática original. En esa época no existía nada similar, así que, el Profesor Simpson, tuvo que empezar de cero. Otro laboratorio del MIT desarrolló una servoválvula que era bastante avanzada para la época. La máquina era tan sensible que hasta el más mínimo detalle podía hacerla fallar. La carga era como un único pulso sísmico, excepto que el gráfico la mostraba pasando de cero a un valor máximo de 1.300 kN en un milisegundo y, luego, de vuelta a cero en unos pocos milisegundos y a una pequeña amplitud en sentido contrario y, luego, a cero, unos milisegundos después.

Teníamos que usar un lubricante especial a base de silicona porque el calor generado era tan alto que un fluido ordinario hubiera podido encenderse.

Ensayamos el aparato luego de terminarlo. El laboratorio estaba en el subsuelo. Al hacer el ensayo, todo empezó a vibrar y enseguida llegaron corriendo los del tercer piso. El Profesor Norris

---

<sup>11</sup> Jack R. Benjamin y C. Allin Cornell, *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*. McGraw-Hill, Nueva York 1970.

estaba muy asustado. “¿Qué está pasando?”, preguntaba exaltadamente. Pasaba que teníamos un problema. Teníamos que aprender a usar ese aparato enorme sin que se autodestruyera y sin que sacudiera el edificio.

**Reitherman:** Parece que, en efecto, su primer experimento de ingeniería sísmica fue sacudir un edificio del MIT, accidentalmente, usando un simulador de cargas de explosión y, de paso, alarmando al director del Departamento de Ingeniería Civil.

**Bertero:** Llevó todo un año construir la máquina y hacerla funcionar adecuadamente para ensayar tabiques estructurales. Después de doctorarme, pasé un año más ayudando a otros estudiantes a utilizar la máquina en sus propias investigaciones de doctorado.

**Reitherman:** ¿Cómo se cargaban los tabiques estructurales de hormigón armado?

**Bertero:** El pistón estaba acoplado a un cabezal para dispersar la carga. Este empujaba la parte superior del tabique estructural que había sido fijado a la fundación del edificio. La energía se almacenada en una serie de acumuladores. La servoválvula era la clave para aplicar la carga, que debía aplicarse en un milisegundo y luego volver a cero para simular la onda de

propagación de una explosión a través de la estructura.

Estos ensayos eran necesarios para diseñar refugios subterráneos contra amenazas nucleares. Los efectos de una bomba nuclear en la superficie (la explosión y la radiación) son tan intensos que se pensó en construir refugios subterráneos. La bomba afecta la estructura generando una onda que se propaga por el suelo y la alcanza. Francamente, no eran temas que me gustaran demasiado. También se hacían estudios de comportamiento suponiendo que las personas pasarían una o dos semanas bajo tierra en esos refugios. Una cosa es el interés por los desastres naturales, como los terremotos, y otra tener que preocuparse por las amenazas de un ataque nuclear provocado por el hombre.

### *John Wilbur*

**Reitherman:** Usted mencionó el libro de Fife y Wilbur sobre estructuras indeterminadas. ¿Qué me dice del libro que Wilbur escribió con Charles Norris,<sup>12</sup> un texto de análisis estructural que ha seguido vigente por largo tiempo?

**Bertero:** El primer semestre que pasé en el MIT, tuve clases de diseño estructural con el Profesor Wilbur. Era excelente, tenía una orientación muy práctica. El Profesor Wilbur era muy bueno en diseño.

---

<sup>12</sup> John Benson Wilbur y Charles Head Norris, *Elementary Structural Analysis*. McGraw-Hill,

Nueva York, 1948, primera edición; cuarta edición, 1991.

### *Charles Norris*

**Bertero:** Durante mi segundo semestre en el MIT, tomé clases de mecánica y dinámica con el Profesor Norris. Se expresaba con tanta claridad, tanto dentro como fuera del salón de clases, que lo consideraba mi mejor profesor.

Durante mi tercer año de doctorado en el MIT, tuve que participar de las reuniones semanales con el Profesor Norris, donde cada estudiante debía dar una presentación sobre el avance y los problemas de su investigación. Era un requisito obligatorio. Fue una experiencia muy positiva para mí. Por eso, al llegar a la Universidad de California en Berkeley, implementé el mismo procedimiento con todos los estudiantes de posgrado que investigaban bajo mi supervisión.

Creo que el Profesor Norris se fue del MIT porque no estaba de acuerdo con la prominencia que el Instituto le estaba dando a la computadora. Volvió a la Universidad de Washington, donde había estudiado, y dictó clases ahí por varios años. También fue director del Departamento de Ingeniería Civil y, más tarde, Decano de la Facultad de Ingeniería. Ese énfasis en la computación de mediados de los cincuenta que se vivía en el MIT también fue uno de los motivos por los que busqué otra universidad después de doctorarme.

### *Myle Holley, hijo*

**Bertero:** Cuando empecé a investigar, trabajé de cerca con otros profesores.

Primero, con Myle Holley, hijo, porque estaba trabajando en hormigón armado.

Puede que, como profesor, Holley no tuviera el carisma del Profesor Norris, pero conocía bien su tema. Cuando Hensen, Biggs y Holley fundaron la compañía consultora que llevó ese nombre, también se asociaron con el Profesor Nathan Newmark en Illinois. Eran las dos universidades con más talento en dinámica, plasticidad y probabilidades – temas necesarios para hacer ingeniería de explosiones en la Guerra Fría y abordar los problemas de las centrales nucleares (Ej. los terremotos).

Nunca olvidaré lo que dijo el Profesor Holley en su primera clase de hormigón armado: “La ductilidad es una bendición para el diseñador de estructuras”. Tenía razón. ¿Por qué? Porque la ductilidad de la estructura puede superar las grandes incertidumbres de la modelación y el análisis del comportamiento real de la estructura que se diseña y construye. En mis propias clases repetía esa frase, añadiendo la advertencia de que no debe abusarse de una mayor ductilidad para reducir la resistencia necesaria de la estructura, porque el comportamiento dúctil está asociado al daño. Más aún, es necesario no confundir la ductilidad física con el concepto de una relación de ductilidad. Puedo profundizar un poco sobre este tema más adelante.

### *Otros Profesores del MIT*

**Bertero:** A pesar de que no tomé el curso del Profesor Biggs, conversábamos

mucho. Incluso, hicimos algunos estudios juntos. El principal no tuvo que ver con terremotos, sino que fue un estudio experimental sobre la vibración de un puente a causa del tráfico que circulaba sobre él. Tuve que aplicar todos mis conocimientos de dinámica.

**Reitherman:** A fines de los cincuenta, la expresión “ingeniería geotécnica”, aún no se usaba, ¿no es así?

**Bertero:** No, se hablaba de “mecánica de suelos”. Yo asistí al curso del Profesor Don Taylor. También escuchaba las conferencias o asistía como oyente a las clases de los profesores Karl Terzhagi y Arthur Casagrande. Me iba hasta la otra punta de Cambridge, del MIT a Harvard.

En esa época, mis conocimientos de mecánica de suelos eran prácticamente nulos. Taylor era un excelente profesor y autor de un buen libro.<sup>13</sup>

El Profesor Don Taylor falleció en 1955, mientras yo hacía el doctorado. Bob Whitman se había ido del MIT por unos años para hacer el servicio militar. Al regresar, ocupó el lugar de Taylor. Whitman era ingeniero en estructuras. Estudió ingeniería de estructuras con Norris, pero acabó trabajando en el programa de mecánica de suelo del MIT. Whitman tenía los conocimientos de suelo que necesita un ingeniero para diseñar

una estructura. Eso suponía una gran ventaja. Ha tenido mucho éxito como profesor y como investigador y ha hecho grandes aportes al avance de la ingeniería sísmica.

**Reitherman:** Usted ha mencionado un par de veces que Jacob (Jappie) den Hartog fue uno de los mejores profesores del MIT. Hábleme un poco sobre él.

**Bertero:** Era profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica. Era originario de los Países Bajos. Aprendí mucho de los integrantes de ese departamento y de la Sección de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil. Los ejemplos de Den Hartog eran tan claros que, incluso si uno no entendía los conceptos al inicio de la clase, seguro los comprendería al final. Era un gran profesor. Había escrito libros excelentes sobre distintos temas de ingeniería.<sup>14</sup> Si aprendí sobre vibración, fue gracias a él. Primero tomé la clase de Charles Norris sobre mecánica de sólidos y dinámica. Luego, después del curso del Profesor den Hartog, aprendí del Profesor Stephen Crandall, que daba vibraciones aleatorias y había estudiado con den Hartog. Era dinámica combinada con probabilidades.

Joe Penzien, también del MIT, se unió al cuerpo docente de la Universidad de California antes que yo. El Profesor

---

<sup>13</sup> Donald W. Taylor, *Fundamentals of Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1948.

<sup>14</sup> Jacob P. den Hartog, *Mechanics*, 1952, *Strength of Materials*, 1949; *Mechanical Vibrations*, 1947. McGraw-Hill, Nueva York. Todos han sido re-publicados en ediciones actualizadas.

Penzien pasó su primer sabático en el MIT, donde tomó el curso de vibración aleatoria de Stephen Crandall. Crandall era muy buen profesor. Tenía un muy buen manejo de la teoría y los conceptos básicos. Era un curso de ingeniería mecánica, no de estructuras, pero aprendíamos la teoría.

**Reitherman:** El resumen que escribió Stephen Crandall sobre la vida de den Hartog<sup>15</sup> menciona algunos hechos interesantes. Hartog se inició en dinámica e ingeniería mecánica nada menos que con Stephen Timoshenko,<sup>16</sup> el ucraniano que dejó la Unión Soviética cuando los bolcheviques se hicieron con el poder. Timoshenko terminó en Estados Unidos trabajando un tiempo con Westinghouse y den Hartog se inició allí, bajo su supervisión. Crandall dice que Timoshenko convirtió al joven den Hartog, un ingeniero eléctrico, en un ingeniero mecánico. Crandall cuenta la historia de cómo Timoshenko le presentó a den Hartog un problema relacionado con la vibración de una máquina. La respuesta en condición de resonancia del eje de una turbina terminaba en una falla por fatiga. Den Hartog calculó que solo necesitaban una vibración pequeña, así que, con gran audacia, propuso utilizar

un eje con 1,5 milímetros menos de diámetro y solucionó el problema.

Otra nota de color es que Lydik Jacobsen, quien más tarde estaría a cargo del laboratorio de vibración de Stanford, y sería el mentor de John Blume, estaba trabajando ahí, en Westinghouse, con Timoshenko, a principios de la década del veinte, en Pensilvania.

**Bertero:** También tomé un curso con el ingeniero que trabajaba en la Casa del Futuro, la casa de plástico de *Tomorrowland* en Disneylandia. También la empresa Monsanto participó de ese proyecto. Albert Dietz era experto en materiales; le interesaban los nuevos polímeros. Dictó un curso de materiales y construcción, pero lo que realmente le interesaba era encontrar cosas nuevas. Hoy hemos empezado a usar algunos materiales sintéticos en las estructuras, pero ha llevado un largo tiempo.

### **La Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica de 1956**

**Reitherman:** Usted estaba en el MIT cuando se realizó la primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica en Berkeley en 1956.

---

<sup>15</sup> Stephen Crandall, "Jacop Pieter den Hartog, Biographical Memoir," Academia Nacional de Ciencias, Washington, DC, 1989.

<sup>16</sup> Stephen P. Timoshenko (1878-1972) es autor de algunas obras clásicas de ingeniería mecánica, elasticidad y resistencia de materiales. Trabajó para la empresa eléctrica

Westinghouse de 1923 a 1927 y luego se unió al cuerpo docente de la Universidad de Michigan. En 1936, se convirtió en profesor de la Universidad de Stanford.

**Bertero:** No pude ir. No fue la “primera”, oficialmente. El Profesor Kiyoshi viajó para asistir a la conferencia. Era muy amigo de George Housner. Muto organizó la Segunda Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica. Junto al Profesor Housner, el Profesor Kiyoshi Muto sugirió denominar la conferencia de 1960 como la “Segunda” para inaugurar la serie y crear la Sociedad Internacional de Ingeniería Sísmica para darle continuidad a las conferencias. Yo conocí al Profesor Muto un poco más tarde, cuando visitó Berkeley acompañado por varios asistentes. Estaban recorriendo el mundo para conocer las instalaciones donde se hacían investigaciones en ingeniería sísmica.

**Eduardo Catalano, Eduardo Torroja, Felix Candela y Pier Luigi Nervi**

**Bertero:** En el Departamento de Ingeniería Mecánica del MIT, había un grupo formado por Stephen Crandall, Francis Hildebrand y Eric Reissner. Reissner enseñaba teoría de cáscaras delgadas (*shells*), un gran tema en esa época.

Respecto de las estructuras de cáscaras delgadas, quisiera mencionar a un arquitecto argentino que estaba en el MIT en ese momento, Eduardo Catalano, y a otros tres expertos que dieron algunas

clases ahí, aunque sin ser profesores del MIT. Catalano es conocido por la casa tipo paraboloides hiperbólicos que diseñó en Raleigh, en Carolina del Norte, cuando era docente de esa universidad, antes de venir al MIT. Llegó al MIT en 1956 y dio clases en el Departamento de Arquitectura durante veinte años.

Un día, mientras estaba en el MIT, me llamó por teléfono el Profesor John Wilbur para anunciarme que recibiríamos la visita del Dr. Eduardo Torroja de España. Me pidió que asistiera a Torroja durante su visita. Yo admiraba a Eduardo Torroja desde mis días en Argentina, por lo que fue un placer asistirlo. Nos hicimos buenos amigos. Uno de los más altos honores que he recibido fue la primer Medalla Eduardo Torroja<sup>17</sup> – reconocimiento creado tras su fallecimiento que otorga el Instituto de Ciencias de la Construcción Torroja de Madrid. Fue un gran ingeniero-arquitecto.

El próximo visitante fue Felix Candela<sup>18</sup> y, nuevamente, me dijeron “Vitelmo, como usted habla español, asistirá a Candela durante su visita”. Una vez más, fue un gran placer para mí cumplir con esta tarea. Más adelante, cuando Pier Luigi

---

<sup>17</sup> Eduardo Torroja y Miret (1899-1961) era un ingeniero español que se especializó en el diseño de diques, puentes, acueductos y estructuras con grandes luces. En idioma inglés, su filosofía de diseño estructural se describe en el libro *Eduardo Torroja y Miret*,

*Philosophy of Structures*. Prensa de la Universidad de California, Los Ángeles, 1958.

<sup>18</sup> Felix Candela (1910-1997) fue un ingeniero de estructuras español que emigró a México y diseñó estructuras de hormigón armado con grandes luces y cáscaras delgadas.

Nervi visitó el MIT, pude conversar con él sobre estructuras de hormigón armado.<sup>19</sup>

**Reitherman:** Haber tenido la oportunidad de estar personalmente con Torroja, Candela y Nervi debe haber sido increíble. ¿Cuál era el primer paso de Candela al diseñar sus estructuras más osadas? ¿Empezaba con un abordaje numérico, cálculos iniciales, dibujos, modelos a escala?

**Bertero:** El primer abordaje no era numérico, tenía más que ver con el dibujo y la intuición. Confiaba en sus conocimientos teóricos y trabajaba con gran sensibilidad. Su influencia fue inmensa en España y América Latina. Tenía intuición estructural.

**Reitherman:** Se dice algo parecido de Pier Luigi Nervi. Sabía hacer análisis estructural. Conocía muy bien el negocio y los procesos de construcción. Tenía un gran talento estético. Con la confianza que le daba su vasta experiencia, su primer paso al diseñar era intuitivo, más que analítico. Solo recurría al análisis después de haber concebido el diseño mentalmente. Cuando estaba en Berkeley, Joe Esherick me contó una anécdota sobre Nervi. Nervi había venido a Berkeley a dar una charla a los estudiantes de arquitectura. Por “intuición estructural” se refería a la síntesis de sus años de análisis, diseño y experiencia en la construcción. Cuando un joven estudiante

de arquitectura de Berkeley hizo algunos comentarios sobre lo maravilloso de la intuición, Nervi lo escuchó en silencio y, luego, dijo “yo hablaba de *mí* intuición estructural”.

**Bertero:** Como diseñador creativo, Nervi era como Torroja. En cuanto al conocimiento, creo que Eduardo Torroja sabía más de ingeniería estructural.

**Reitherman:** ¿Alguna vez diseñó una estructura con una cáscara delgada?

**Bertero:** Trabajé en el diseño de una, haciendo ensayos. Mi conclusión fue que no recomendaría ese tipo de estructura como solución de diseño sismorresistente y no quise dedicarme más a ese campo. El paraboloides hiperbólico presenta problemas para el diseño sismorresistente. La estructura es tan delgada que, ante un sismo, cualquier error de construcción puede ser un problema. Se cubre mucha superficie con pocos apoyos.

**Reitherman:** ¿Cómo se ensayaban las cargas gravitatorias en la cáscara? ¿Distribuyendo pesos sobre la cáscara?

**Bertero:** Sí y con instrumentos distribuidos por toda la cáscara. Recuerdo que presenté un trabajo sobre estos ensayos en una conferencia internacional. Al finalizar, uno de los expertos de la audiencia dijo: “Profesor Bertero, creo que ha reforzado la cáscara con

---

<sup>19</sup> Pier Luigi Nervi (1891-1979) fue un ingeniero italiano y constructor que diseñó

techos de hormigón con grandes luces que combinan eficiencia y belleza.

instrumentación". En el MIT, trabajé en la instrumentación de la cáscara de hormigón del Auditorio Kresge, pero casi la mitad de los instrumentos que instalamos se arruinaron bajo las pisadas de los obreros.

### **Consultoras creadas por Profesores del MIT**

**Bertero:** Nombré a algunos profesores del MIT de esa época que se hicieron muy conocidos como consultores. La lista es notable: Robert Hansen, Myle Holley, hijo, y John Biggs crearon Hansen, Holley and Biggs. Howard Simpson, Werner Gumpertz y Frank Heger crearon Simpson, Gumpertz and Heger. Jack Benjamin fundó Jack Benjamin Associates.

También había un profesor auxiliar, William J. LeMessurier, que se hizo muy conocido por su consultora LeMessurier Consultants. Todavía trabajan en Cambridge, Massachusetts. Le decíamos Bill. Creo que estuvo en Harvard antes de llegar al MIT. Lo conocí varios años antes de que abriera su compañía consultora. Me ayudó mucho en mi primera investigación en el MIT – un estudio experimental del comportamiento o el desempeño de las vigas de hormigón armado usando acero de alta resistencia y hormigón. Era un proyecto supervisado por el Profesor Holley.

## Capítulo VI

# Ingeniería Sísmica y Otras Disciplinas

*...era la única forma: aprender  
plasticidad, dinámica y  
probabilidades del contenido que  
se dictaba en otras disciplinas.*

### Ingeniería Aeronáutica

**Bertero:** El Profesor Charles Norris me recomendó escuchar las conferencias del Profesor Raymond Bisplinghoff. Fui al MIT para aprender de materiales, comportamiento inelástico y dinámica para poder aplicarlo al campo de la ingeniería sísmica. El Profesor Bisplinghoff daba clases de ingeniería aeronáutica. Escribió un libro de aeroelasticidad.<sup>20</sup> Trabajó sobre algunos temas muy interesantes aplicados a las estructuras de los aviones, no a

estructuras de ingeniería civil, pero sabía transmitir muy bien los principios básicos.

Es verdad que, en general, los aviones se diseñan para permanecer en el rango elástico. Con tantos ciclos de carga, apenas un poco de comportamiento inelástico desencadenaría fallas por fatiga. Pero el Profesor Bisplinghoff enseñaba tanto aeroplasticidad como aeroelasticidad. Como materia universitaria, el diseño aeronáutico existe desde mucho antes que se sentaran las bases de la ingeniería sísmica.

---

<sup>20</sup> Raymond Bisplinghoff, Holt Ashley, Robert L. Halfman, James W. Mar y Theodore H. H. Pian, *Aeroelasticity*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1995. Bisplinghoff dejó el MIT durante un tiempo para trabajar para la NASA, regresó para convertirse en decano de la facultad de ingeniería del MIT y, luego, fue

Subdirector de la NSF (Fundación Nacional de Ciencia). Desde ese puesto fue que, más tarde, se convirtió en Rector de la Universidad de Missouri, en Rolla.

Claramente, las estructuras son distintas, pero los principios están relacionados. El diseño de aviones requería mayor sofisticación que el de estructuras, para reducir el peso y porque el avión siempre trabaja en un ambiente dinámico.

Esa era la ventaja del MIT. Teníamos acceso a buenos profesores de distintas áreas. Dado que la ingeniería sísmica todavía no era una materia universitaria, esa era la única forma: aprender plasticidad, dinámica y probabilidades del contenido que se dictaba en otras disciplinas. En el MIT aprendí dinámica, comportamiento inelástico y probabilidades, pero, como dije antes, nunca tuve ni una sola clase de ingeniería sísmica.

**Reitherman:** Otro ejemplo de cómo la ingeniería sísmica se ha nutrido de otras ramas de las ingenierías – y que también se relaciona con el MIT porque involucra a Ray Clough, que hizo su doctorado ahí –, es que Clough fue co-inventor del Método del Elemento Finito. Clough empezó a trabajar en ese método de análisis en el verano de 1952 para la empresa de aviones Boeing. El problema era cómo analizar las alas en forma de delta de los aviones de reacción. Por supuesto, el Profesor Clough se convertiría en una figura ilustre de la ingeniería sísmica, pero eso ocurrió más adelante. Joseph Penzien hizo trabajos para Convair sobre los efectos de las explosiones en la estructura de los aviones B-36 y, antes de eso, trabajó para el Laboratorio Sandia haciendo

experimentos sobre los efectos de las explosiones en edificios. Eso también fue mucho antes de que Penzien se introdujera en el tema sísmico. Al igual que usted, Joe hizo su doctorado en el MIT sobre ingeniería de explosiones.

**Bertero:** Cuando hablemos de la Universidad de California en Berkeley, podremos conversar sobre qué hacían sus docentes en materia de ingeniería sísmica. Si consideramos que el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de California en Berkeley pasaría a liderar el campo de la ingeniería sísmica, es importante resaltar que ninguno de los miembros originales del cuerpo docente se había formado específicamente en esa área. Todos se habían formado en temas relacionados y estaban listos para buscar soluciones científicas al problema de los sismos, lo que sería la ingeniería sísmica moderna.

Ya he nombrado a algunas de las figuras del Departamento de Ingeniería Mecánica del MIT y también había ingenieros mecánicos haciendo trabajos de dinámica en otras partes. En el MIT estaban Stephen Crandall y Jaapie o Jakob den Hartog. Stephen Timoshenko estuvo en la Universidad de Michigan y, después, en Stanford. Timoshenko es otro ejemplo de un ingeniero mecánico que ayudó a los ingenieros estructurales a abordar problemas de ingeniería sísmica con conocimientos de materiales y dinámica. En Stanford, Lydik Jacobsen era ingeniero mecánico. Lydik aplicó su experiencia y

pericia específicamente a resolver los problemas inducidos por los terremotos.

### **Ingeniería en Explosiones, Dinámica e Inelasticidad**

**Bertero:** Ya mencioné que el Ejército de Estados Unidos financiaba muchas investigaciones de ingeniería en explosiones. Todavía no se entregaban fondos para ingeniería sísmica. El diseño de refugios subterráneos contra amenazas nucleares era uno de los grandes problemas de la ingeniería de los años cincuenta y el Ministerio de Defensa del país financiaba investigaciones para resolverlo. Expliqué también, anteriormente, que este era el objetivo del aparato de explosiones en el que trabajé durante el doctorado. En general, para cargas ordinarias, como la gravedad, cualquier daño se considera inaceptable. Por otro lado, cuando se piensa en peligros muy extremos o amenazas que tal vez nunca se materialicen, se suele aceptar la posibilidad de que haya cierto nivel de daño. En el caso de los refugios antibombas, durante una guerra, un nivel aceptable de daño, en términos de ingeniería estructural, se refiere al comportamiento inelástico. El objetivo de los refugios antibombas era que la gente se reuniera allí, temporalmente, mientras la estructura resistía cargas que podían llegar a ser tremendas. Si tuviese que diseñar un refugio antibombas capaz de resistir esas inmensas cargas sin sufrir daño alguno, no sé qué haría. La respuesta inelástica y las características dúctiles de los materiales lo hacen factible.

**Reitherman:** ¿Podría explicar la relación entre un trabajo de ingeniería para resistir ese tipo de cargas y las cargas que impone un terremoto? ¿De lo que aprendió en esos estudios para estrategias de defensa qué pudo aplicar a la ingeniería sísmica?

**Bertero:** En ese entonces, el Método del Elemento Finito era nuevo. En 1956, había un joven inglés en el MIT llamado Chris Calladine, un investigador teórico que hacía análisis de diseño estructural por computadora. El MIT acababa de montar el Centro de Computación y Calladine trabajaba con el Profesor Robert Hansen en el análisis numérico de tabiques estructurales de hormigón armado sometidos a cargas por explosión. Teníamos que comparar los resultados experimentales. En ese momento, Ray Clough aún estaba desarrollando el Método del Elemento Finito que después se difundió ampliamente al desarrollarse las capacidades informáticas.

Analíticamente, un tabique estructural se puede reemplazar por una serie de reticulados pequeños. Calladine hizo el trabajo teórico en el MIT para compararlo con nuestros resultados experimentales. Joseph Antebi – que, entonces, era un joven doctorando y, hoy, es Vicepresidente de Simpson, Gumpertz and Heger – se doctoró en el MIT con un trabajo sobre columnas y otros elementos estructurales – después de haberme recibido yo.

En ese momento, en el MIT, las investigaciones de ingeniería civil que

recibían fondos del gobierno versaban sobre refugios subterráneos. Era necesario que los refugios estuvieran enterrados para evitar la radiación y la presión dinámica del aire, como si fuese un viento huracanado. No se podían hacer diseños prácticos sobre la superficie que fueran capaces de resistir esos efectos estando cerca del punto cero donde detonarían un arma nuclear. Para mí, estas cargas enormes y el diseño de estructuras capaz de resistirlas fue una línea importante de investigación. Me aportó información para introducirme en el campo de la ingeniería sísmica. No obstante, estos dos tipos de diseño son diferentes. La carga de la onda explosiva es un solo “¡bum!”, es decir, un único pulso enorme. La zona cercana a una detonación nuclear enfrenta presiones tremendas que nos obligan a considerar el comportamiento inelástico de la estructura. La onda de la explosión se propaga a través de la atmósfera y por debajo del suelo cerca del sitio de detonación, luego viaja por el suelo y golpea el refugio subterráneo como una presión que lo rodea. La onda explosiva que atraviesa la atmósfera también llega al suelo y lo golpea desde arriba. Estas presiones sobre los muros del refugio son inmensas. Por eso ensayábamos tabiques estructurales, para descubrir cómo se comportarían ante las fuerzas laterales a las que podrían ser sometidos. Los dos primeros veranos que pasé como docente en Berkeley tuve que dictar un curso corto sobre defensa civil y diseño de refugios. Recuerdo muy bien lo que escribió uno de los alumnos en la encuesta posterior para

evaluar el curso: “El Profesor Bertero es un buen instructor, pero, al principio, me costó comprender su acento, una mezcla de español argentino con inglés de California”.

**Reitherman:** ¿En qué se diferencian el pulso breve de una onda explosiva que viaja a través del suelo y la carga que impone un terremoto?

**Bertero:** La única gran diferencia es la duración del pulso y la cantidad de pulsos. En el caso de una sola explosión, la carga tiene una duración de milisegundos.

En esa época, el enfoque básico de diseño sismorresistente — que provenía de Japón o Italia, o de ambos países — era aplicar un coeficiente sísmico y luego calcular un corte en la base y distribuirlo en función de la altura de la estructura como cargas laterales estáticas equivalentes desde el punto de vista del diseño — considerando las tensiones admisibles utilizadas e idealizando todo como en el rango elástico de las cargas, etc. —, a los efectos de las cargas dinámicas reales.

Empecé a pensar los movimientos de suelo de un terremoto como una serie de pulsos.

En 1971, durante el terremoto de San Fernando en Los Ángeles, se registraron importantes movimientos de suelo y respuestas estructurales. Sin embargo, hubo un registro particular con una característica peculiar. Se registró en el

contrafuerte de una represa. ¿Sabe de qué le hablo?

**Reitherman:** ¿De la represa Pacoima?

**Bertero:** Sí, ese registro de un movimiento fuerte tuvo un pulso largo y muy intenso. Consulté inmediatamente al Profesor Bolt, Bruce Bolt. Muchos dijeron que era un error del instrumento y que el registro era inválido, pero el Profesor Bolt encontró otra explicación. El Profesor Ray Clough también trabajó en la justificación de los datos para lograr que la gente los tomara en serio. Sí hubo un pulso muy intenso en ese registro.

Me convencí de que los efectos de los movimientos de suelo causados por un terremoto se pueden estudiar como una serie de pulsos. Esto nos lleva, una vez más, a su pregunta sobre qué aprendimos de las investigaciones de ingeniería en explosiones realizadas tras la Segunda Guerra Mundial.

Dije que no recibí formación en ingeniería sísmica en el MIT, pero lo que estudié allí estaba tan íntimamente relacionado con el tema que resultó muy relevante. Se trata de dos fenómenos diferentes: uno es un único pulso masivo que se inicia en la atmósfera o en un punto del suelo, generado por una explosión; el otro, el terremoto, consiste en una serie de pulsos que viajan a través del suelo. En ambos casos, el único enfoque práctico de diseño era confiar en la ductilidad de la estructura.

## **Relación entre Inelasticidad y Respuesta Dinámica**

**Bertero:** El problema de la serie de pulsos del terremoto — a diferencia de lo que ocurre con la explosión, que consiste en un único pulso — es que, si todos los pulsos tienen las mismas características dinámicas y la estructura permanece linealmente elástica, la repetición de estos pulsos puede generar resonancia y llevar al colapso de la estructura. Por otro lado, si el material y la estructura son dúctiles, a saber, pueden soportar deformaciones inelásticas (o plásticas), el período de vibración de la estructura cambia en cuanto algunas regiones críticas de la estructura empiezan a fluir y la resonancia desaparece si es un sistema de un solo grado de libertad. En ingeniería mecánica, una máquina, en general, tiene que permanecer completamente en el rango elástico y toda tendencia a la resonancia resulta en fuerzas inmensas. En el caso de una estructura sometida a un terremoto, apenas un elemento o una conexión se ven sometidos a un comportamiento inelástico (plástico) se alarga el período de vibración de la estructura y eso tiende a alejarla del efecto de resonancia. Ya comenté, anteriormente, que en mi primera clase en el MIT con el Profesor Holley, Holley dijo que la ductilidad era una bendición para el ingeniero de estructuras.

Por lo tanto, entendí que, en ingeniería sísmica, lo primero a saber es que la estructura necesita inelasticidad porque las fuerzas son tan grandes que necesita

esa capacidad de reserva. Al comprender mejor los movimientos del suelo y la respuesta estructural, los ingenieros entendieron que la inelasticidad no solo ayuda a la estructura a soportar grandes cargas por terremoto, sino que también determina la intensidad que tendrán estas cargas.

En general, desde un punto de vista económico, no sería aceptable diseñar estructuras que permanezcan elásticas y no sufran ningún daño ante el terremoto más fuerte que pueda ocurrir. La ingeniería sísmica empezó a ver la deformación inelástica como una cualidad y a estudiar cómo manejarla. La comprensión de la inelasticidad dio al diseñador una forma de controlar las fuerzas y, por lo tanto, de obtener la resistencia que necesita la estructura.

**Reitherman:** ¿Cuándo se volvió un concepto básico este aspecto de la ductilidad, i.e. que modifica el período de la estructura y evita que haya resonancia?

**Bertero:** Al principio, casi todos los esfuerzos de ingeniería sísmica se centraban en el comportamiento elástico. En Japón, por ejemplo, la idea de mantener la rigidez de la estructura y su período era un principio de diseño. Fue en la década de los cincuenta que los ingenieros empezaron a analizar que, si el material era dúctil, cambiaba la rigidez de toda la estructura y que, si la rigidez cambiaba, el problema era totalmente distinto.

**Reitherman:** En el punto cero del período del espectro de respuesta, esencialmente rígido, para un sistema de un grado de libertad, la respuesta es equivalente a la aceleración pico del suelo. La típica curva de espectro elástico muestra que la respuesta aumenta rápidamente del nivel de periodo cero a una meseta que comienza en el rango de 0,2 segundos a 0,5 segundos. Supongamos que usted diseña una estructura para que tenga un periodo muy corto, digamos de 0,1 segundo, porque es un edificio bajo y relativamente liviano con tabiques grandes, lo que le da una gran rigidez respecto de su masa. Imaginemos una construcción pequeña, como una casa de uno o dos pisos, donde todos los tabiques han sido cuidadosamente dispuestos como un tabique estructural inusualmente resistente. Si se le pudiera dar suficiente resistencia como para evitar que pase al rango inelástico, mantendría su período corto y, por lo tanto, su respuesta no aumentaría en la curva de respuesta. Una estructura infinitamente rígida, por definición, haría exactamente lo mismo que el suelo, no experimentaría un movimiento peor por un efecto de amplificación. ¿Este enfoque podría ser válido en algunos casos específicos?

**Bertero:** Teóricamente. Sería posible si la estructura pudiese permanecer completamente inelástica. Sin embargo, hay factores financieros, sociales y prácticos que hacen que sea imposible diseñar y construir una estructura habitable que permanezca infinitamente rígida durante un terremoto fuerte. Todo

edificio en la práctica se relajaría y empezaría a ascender por la curva de respuesta. Así que, para un diseño real, no solo es deseable sino necesario permitir que el edificio sufra alguna deformación inelástica (plástica). Hay que dotar a la estructura de suficiente ductilidad física. Habría que controlar estas deformaciones plásticas porque están asociadas al daño de los materiales estructurales que se usan habitualmente. La ductilidad física ayuda al diseñador a superar las múltiples incertidumbres del diseño — incertidumbre respecto del movimiento del suelo, su enfoque de diseño y la construcción y el mantenimiento del edificio.

También es necesario decir que estamos generalizando. Es necesario analizar el espectro específico del sitio. En el lecho lacustre de la Ciudad de México, que presenta un terreno muy profundo y blando, si el período del edificio se prolonga digamos de un segundo a uno y medio o dos, su respuesta va a aumentar, porque la curva de respuesta tiene un pico para ese período en ese sitio particular. Es algo inusual, pero demuestra que hay que considerar el espectro de cada lugar.

**Reitherman:** Ascender por la curva de respuesta del nivel de período cero al pico, a un ritmo de medio segundo, como en este ejemplo, parece un equilibrio muy inestable. Sería como sostener una pelota sobre una cúpula. Apenas uno desplace un poco la pelota, esta se desestabilizará y rodará cada vez más rápido por la cúpula.

Hay situaciones que pueden empeorar muy rápidamente.

La Serie de Relatos Orales del EERI llega a distintos tipos de lectores. ¿Podría explayarse un poco más sobre el período de vibración para aquellos lectores sin conocimientos de ingeniería o física?

**Bertero:** La masa de la estructura no cambia durante el terremoto, así que, cuando la rigidez se reduce por el comportamiento inelástico, la relación masa/rigidez aumenta y el período se alarga. El período aumenta en forma equivalente a la raíz cuadrada de la reducción en rigidez. Si la rigidez se reduce por cuatro, el período aumenta por un factor igual a la raíz cuadrada de cuatro, dos. Si la totalidad del sistema de la estructura se puede deformar en forma inelástica, no se quedará en su período original, sino que se moverá rápidamente hacia la derecha sobre el eje  $x$  en el gráfico del espectro de respuesta — el período aumentará. Si está en el pico —  $y$ , nuevamente, para seguir con el ejemplo, diremos que esto equivale a medio segundo, aunque no es siempre así — pronto se deslizará hacia la derecha del pico, hacia abajo en la curva de respuesta, bajando su respuesta a medida que se prolonga el período. Esto es lo que sucedería en un sistema con un solo grado de libertad.

Este fue uno de los conceptos que marcó un antes y un después en los cincuenta y los sesenta, cuando la ingeniería sísmica empezó a volverse más científica, cuando

empezamos a observar el comportamiento real de todo el sistema estructural durante un sismo, segundo a segundo. El método de la fuerza lateral estática equivalente, a pesar de haber sido valioso, tiende a hacer pensar al diseñador en una carga lateral, la que él calcula, el corte de base que después se distribuye en la altura del edificio. El terremoto representa una serie de cargas laterales sobre el edificio distribuidas en diez, veinte o treinta segundos, o en más de un minuto, como ocurrió en los grandes terremotos de Chile (1960) y Alaska (1964). El diseñador debería intentar visualizar cómo responderá su edificio a ese movimiento de suelo continuo, sabiendo que el edificio cambiará a lo largo de ese periodo de tiempo. En general, los ingenieros solo visualizan un conjunto de fuerzas laterales en sus cálculos: imaginan un solo edificio con características mecánicas constantes. Eso no es real.

Para simplificar su tarea, al profesional le gustaría seguir diseñando en el campo elástico, la región donde la tensión es proporcional a la deformación, porque ese principio simplifica muchos cálculos. Sin embargo, reducir las cargas y/o las deformaciones esperadas reales trae muchos inconvenientes que harán que el edificio tenga un comportamiento

inelástico expresado con distintos factores que se especifican en el código, para que el ingeniero pueda usar análisis elástico. Este es el problema del Factor R, que podemos discutir en mayor profundidad.

Cuando estaba en Argentina, en los cuarenta, toda la educación se centraba en el comportamiento elástico. Por eso vine a Estados Unidos, para aprender sobre comportamiento inelástico, porque es lo que les pasará a todas las estructuras, en cualquier parte del mundo, ante un movimiento fuerte. Aún no hemos capacitado lo suficiente a los profesionales de la construcción y el diseño sismorresistente para que piensen en términos de respuesta inelástica frente a grandes terremotos.

### **Diseño por Carga Última y Comportamiento Plástico**

**Bertero:** Antes de la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos, Charles S. Whitney y J.A. Van den Broek introdujeron los conceptos de diseño por carga última y comportamiento plástico. Para desarrollar métodos de diseño por carga última es necesario entender el comportamiento plástico. Whitney trabajó con hormigón;<sup>21</sup> Van den Broek se concentró en el acero.<sup>22</sup> Ellos empezaron a

---

<sup>21</sup> Charles S. Whitney, "Plastic Theory of Reinforced Concrete Design," *Actuaciones de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles*. Diciembre de 1940; ver discusión en la investigación *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 107, 1942, pp. 251-326.

<sup>22</sup> J.A. Van den Broek, "Theory of Limit Design," *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 105, 1940. Otro libro con el mismo título publicado por la editorial Wiley and Sons de Nueva York en 1948, donde el autor conecta los conceptos de diseño límite y comportamiento plástico: "La teoría del diseño

trabajar antes de la Segunda Guerra Mundial, por lo que deberían ser reconocidos como pioneros. Después, vinieron dos ingleses que, bajo la presión de la Segunda Guerra Mundial, llevaron esas ideas a la práctica.

En Inglaterra este enfoque no se desarrolló por la sismicidad del país, sino por la urgencia que planteaba la Segunda Guerra Mundial. Necesitaban ser eficientes en el uso de los materiales para construir fábricas, puentes, etc. Fue mucho después que estos conceptos se adaptaron a la ingeniería sísmica. Si se considera la plasticidad, se puede diseñar de forma más económica, sin comprometer la seguridad. La Universidad de Cambridge y el Imperial College tenían investigadores muy capaces trabajando sobre este problema.

**Reitherman:** Entonces, ¿el diseño por resistencia, carga última o estado límite surgió, originalmente, solo para cargas gravitatorias y de una necesidad económica, no por una preocupación sobre el nivel de peligrosidad o por una demanda de mayor seguridad?

**Bertero:** Fue una búsqueda de mayor eficiencia, especialmente para construir la

gran cantidad de fábricas, puentes y demás estructuras que eran la columna vertebral de la capacidad productiva del país. Pero no se aplicaba solo a las cargas gravitatorias, sino también a otras fuerzas, como las inducidas por viento, cambios de temperatura, la explosión de una bomba, etc. Más allá de que se haya generado por motivos económicos, este tipo de diseño y análisis también es más confiable para estimar la seguridad de la estructura.

Los ingleses estaban haciendo un gran esfuerzo para que sus estructuras fueran más eficientes, a través del diseño y el análisis plástico. Hubo dos hombres de apellido Baker. El primero fue J.F. Baker, de Cambridge. Él estudió el acero. L.L. Baker, el segundo, se enfocó en el hormigón armado en el Imperial College.<sup>23</sup> En la Universidad de Cambridge un grupo de jóvenes investigadores donde estaban Horne y Heyman, por ejemplo, trabajó bajo la dirección del Profesor J.F. Baker. Su trabajo experimental sustenta la teoría del análisis plástico. En 1956, Baker, Horne y Heyman publicaron un libro importante de diseño en acero.<sup>24</sup> Otros investigadores ingleses como Neal y Symonds hicieron

---

límite presupone una distribución de tensión dúctil o semidúctil. Allí, el énfasis cambia de tensiones admisibles a deformaciones admisibles". (p. v).

<sup>23</sup> J.F. Baker fue profesor de la Universidad de Cambridge. Uno de sus textos dirigidos a los diseñadores fue: J.F. Baker, "The Design of Steel Frames," *The Structural Engineer*, Vol. 27, octubre 1949. A.L.L. Baker fue profesor en la

Escuela Imperial de Londres (el Imperial College). El siguiente texto incluye un resumen de su trabajo sobre la teoría de la carga última: A.L.L. Baker, *The Ultimate-Load Theory Applied to the Design of Reinforced & Prestressed Concrete Frames*. Concrete Publications Limited, Londres, 1956.

<sup>24</sup> J.F. Baker, M.R. Horne y J. Heyman, *The Steel Skeleton, Plastic Behavior and Design*. Vol. 2.

investigaciones importantes sobre análisis plástico.

Bastante más tarde, en 1965, cuando estuve en Europa, me sorprendió ver que había grandes diferencias entre los países en cuanto a la aceptación del diseño por estado límite. Los alemanes y los suizos no querían tener nada que ver con ese enfoque. Se oponían firmemente. Ya en 1935, los reconocidos profesores de la *Eidgenössische Technische Hochschule* (el Instituto Federal de Tecnología de Suiza) en Zúrich, F. Stüsi y C.F. Kollbruner, publicaron una investigación en *Bautechnik* que mostraba claramente que la aplicación del diseño por estado límite basado solo en modelos rígidamente elásticos-perfectamente plásticos – tal como se había propuesto anteriormente – puede ser engañosa para calcular la carga última.

Recuerdo que, en 1965, presenté un trabajo en un evento. Expliqué que la secuencia de las fuerzas y las deformaciones que ocurrían en los segundos que dura un terremoto es importante para predecir el comportamiento de la estructura. No dije que el diseño plástico fuera malo – yo era

un defensor de ese método. Solo quise decir que, para controlar la deformación, hay que ser cuidadoso al definir las cargas dinámicas. Inmediatamente, el Profesor alemán H. Rüschi, un gran docente y diseñador de estructuras de hormigón armado, dijo: “¿Se dan cuenta? El Profesor Bertero ha demostrado muy claramente por qué se opone al diseño límite.” ¡Por Dios! Yo solo quería expresar las precauciones que requería el método – como ocurre con cualquier método. Por eso, había resaltado algunos aspectos específicos a tener en cuenta. De hecho, yo estaba a favor de la lógica del estado límite porque era más realista.

En 1964, fui autor colaborador de una publicación conjunta de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles y el Instituto Americano del Hormigón (ASCE-ACI) sobre las investigaciones y las discusiones presentadas en un Simposio Internacional donde se discutió el análisis y el diseño plástico en hormigón armado.<sup>25</sup> Fue una iniciativa liderada por el Profesor Herbert Sawyer. El ACI promocionó el simposio y el personal de la ASCE hizo la publicación. Llevó varios años que se pusiera en práctica ese enfoque en Estados Unidos.

---

Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1956.

<sup>25</sup> Herbert A. Sawyer, hijo, ed., *Actuaciones del Simposio Internacional sobre Mecánica de Flexión*

*en Hormigón Armado*. 10-12 de noviembre de 1964, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles.

## Capítulo VII

# La Universidad de California en Berkeley

*Creo que el peso de los docentes de ingeniería civil de Berkeley tenía que ver, en parte, con que hacían un muy buen trabajo de equipo.*

**Bertero:** Me doctoré en junio de 1957. Me había comprometido a pasar ese año en el laboratorio del MIT, ayudando con las investigaciones en curso sobre ingeniería de explosiones. A medida que el año se acercaba a su fin, empecé a pensar en mi futuro. El secretario del Profesor Charles Norris había tramitado todo para que se me otorgara la residencia permanente (la famosa *green card*). Yo había pensado que iba a ser necesario regresar a Argentina y solicitarla desde allá, pero lo único que tuve que hacer fue salir del país: un viaje corto a la embajada de Estados Unidos en Montreal. Una hora después de llegar, mi tarjeta de residente permanente estaba

lista. Fue mucho más sencillo de lo que creí.

El Profesor Norris dijo que podía aspirar a un cargo de profesor asistente en el MIT, pero no estaba seguro de que la orientación del Departamento de Ingeniería Civil estuviese alineada con mi interés por el diseño estructural.

En Argentina, la Universidad de Bahía Blanca me había hecho una propuesta, pero la situación de las universidades argentinas en ese entonces, a fines de los cincuenta, era peor que la década anterior, cuando estudiaba en la

Universidad de Rosario. En ese momento, en la Argentina, había quienes querían abrir universidades privadas, en lugar de que todas estuviesen administradas por el estado. La iniciativa se topó con una fuerte resistencia.

Algunos se sentían amenazados por la propuesta. Las universidades privadas iban a poder tener una orientación o apoyo religioso o estar vinculadas a un país extranjero, como Estados Unidos. Los estudiantes de las universidades públicas, dependientes del estado, hicieron muchas manifestaciones contra el desarrollo de la universidad privada. No querían competencia o tendrían algún otro motivo. También podía optar por volver a mi vieja universidad, en Rosario, pero el gobierno había destituido a las autoridades y designado otras nuevas. La situación no era favorable.

Lo hablé con mi familia y resolvimos que lo mejor era quedarnos en Estados Unidos.

### **Visita a Cooper Union**

**Reitherman:** ¿Qué universidades consideró?

**Bertero:** Uno de los ex alumnos del Profesor Norris era Decano de Cooper Union. Norris me sugirió que fuera a verlo porque sabía que querían contratar docentes para la facultad de ingeniería a fines de ese año—justo al cumplirse el plazo de mi compromiso con el MIT. Jamás había escuchado hablar de Cooper Union. Según el Profesor Norris, era una

universidad chica, pero de gran calidad que formaba a muchos estudiantes de grado que, luego, se doctoraban en la Universidad de Columbia.

Coordiné una visita y viajé a Nueva York, a Greenwich Village, donde está Cooper Union. Quedé horrorizado. El decano me esperaba a las 8:30. La acera frente al edificio estaba llena de botellas y basura. Un guardia se acercó a la entrada y me preguntó qué quería. Le dije que tenía una reunión con el decano. El guardia tomó la carta que le mostré y me dejó esperando mientras verificaba que, efectivamente, yo tuviese cita con el decano. Finalmente, me dejó pasar.

La reunión, que duró dos horas, me dio la impresión de que el programa de ingeniería era muy bueno. Sin embargo, al recorrer las instalaciones, no pude creer lo que veía. En la biblioteca había vagabundos adultos, sentados ahí, cosiendo su ropa. Pasaban el día en la biblioteca para disfrutar del aire acondicionado. Uno de los requisitos del testamento que legó los fondos para la fundación de Cooper Union era que la biblioteca fuese abierta al público. En invierno, también se llenaba de vagabundos, gente que entraba escapando del frío y se disponía a pasar el día en ese ambiente calefaccionado.

**Reitherman:** En otras palabras, ¿la biblioteca de la universidad era lo que hoy llamaríamos un refugio para personas en situación de calle?

**Bertero:** Sí, era algo insólito. La propuesta que me hicieron fue muy buena, pero, cuando pregunté dónde podía alquilar una casa para mi familia, el decano dijo que era preferible que mi familia (mi esposa y nuestros cuatro hijos) no viviese cerca de Cooper Union. Al recorrer el vecindario, vi que tenía razón. Puede que hoy Greenwich esté de moda y tenga la reputación de ser un barrio bohemio, pero, en esa época, no me pareció adecuado para mi familia.

### **Visita a Chicago**

**Bertero:** En el MIT me habían comentado que había otras dos vacantes. Una de ellas era en un instituto de investigación en Chicago que, creo, era gestionado por el Instituto de Tecnología de Illinois que, luego, se volvió parte de la universidad.

Yo había escuchado hablar del instituto de investigación de Chicago por un colega argentino que trabajaba ahí, Augusto Durelli. Después de graduarse de la Universidad de Buenos Aires y doctorarse en la Sorbona, Durelli ganó una beca de investigación para ir al MIT. Todo esto fue antes de mi llegada a Estados Unidos. Durelli volvió a Argentina, pero partió nuevamente tras la Segunda Guerra Mundial. Era una persona muy directa. Escribió un artículo titulado “La mochila del Coronel”, donde criticaba a Juan Perón, aunque sin nombrarlo. Aun así, todos sabían que se refería a él. Durante mi estadía en el MIT, intercambiamos algunas cartas. Durelli se hizo conocido en el campo de la

fotoelasticidad – tema muy popular en esa época.

Viajé a Chicago en diciembre de 1957. El instituto de investigación gestionó mi estadía en un hotel muy lindo, pero, cuando tomé el tren elevado y me fui acercando al instituto, vi que el barrio se ponía cada vez peor.

**Reitherman:** Similar a lo que experimentó en Cooper Union.

**Bertero:** Exactamente. Me sentí un poco asustado en el camino. El Profesor Durelli dijo que no podría encontrar un buen lugar para vivir con mi familia cerca del instituto. Tendría que buscar un lugar más alejado. Me ofreció un buen puesto como docente e investigador.

### **Visita a la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign**

**Bertero:** Ya mencioné que Nathan Newmark trabajaba con Hasen, Holley y Biggs. Me recomendaron visitar la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign para ver si había algún cargo docente disponible.

Volé a Urbana-Champaign al día siguiente de ver al Profesor Durelli en Chicago. Hacía buen clima. Fui a ver al Profesor Newmark un día después. También me reuní con otros miembros del cuerpo docente: Chester Siess, William Hall y Norby Nielsen. Y estuve con Mete Sozen por primera vez. En ese entonces, Sozen era estudiante, estaba por terminar su doctorado. Creo que

Sozen hizo gran parte del trabajo para el famoso libro de Blume, Newmark y Corning sobre diseño sismorresistente con hormigón armado;<sup>26</sup> y creo que el Profesor Siess también trabajó en ese libro.

Me llevaron a recorrer el laboratorio. Era muy bueno; me causó muy buena impresión. En ese momento, sus principales líneas de investigación eran financiadas por el Ejército estadounidense y otros organismos. Estudiaban el diseño de refugios — tema similar al que me había ocupado en el MIT. Por eso estaban interesados en mi trabajo.

**Reitherman:** Creo que la mesa vibratoria de la Universidad de Illinois se instaló en 1967 o 1968, así que no debe haber estado en el laboratorio en ese momento.

**Bertero:** No, no había mesa vibratoria. Tenían un gran aparato para ensayar modelos físicos de hormigón armado a escala real. Tenían muy buen equipamiento.

Me ofrecieron un cargo en la universidad y quedé en pensarlo. Esa noche empezó a nevar. Mi vuelo de la mañana siguiente fue cancelado, al igual que los trenes. Tuve que quedarme dos días en Urbana-Champaign. Encontrar una buena casa para vivir allí con mi familia hubiese sido

fácil, pero quedar atrapado dos días en la ciudad fue una mala experiencia para mí. Me desalentó. Al volver al MIT, el Profesor Norris me dijo que lo pensara con tranquilidad; aún tenía tiempo.

### Visita a la Universidad de Lehigh

**Bertero:** En Lehigh, había un inmigrante ruso llamado Alexis Ostapenko que se había doctorado en el MIT, aproximadamente un año antes que yo. Ostapenko había estado prisionero en Alemania durante la Segunda Guerra. El final de la guerra lo encontró en la zona a la que llegó el ejército estadounidense. Por eso vino a Estados Unidos.

Lehigh tenía el mejor equipo de trabajo en acero. Uno de los profesores, Bruno Thurleman, había regresado a Suiza. Cuando visité Lehigh, los profesores que lideraban el diseño plástico en acero eran G. Driscoll, John W. Fisher y Lynn Beedle, que había sido alumno de Egor Popov. Ted Galambos estaba por terminar su doctorado en Lehigh. Todos fueron muy amables. La información que compartieron conmigo sobre sus investigaciones me fue muy útil cuando empecé a dar clases en la Universidad de California en Berkeley.

---

<sup>26</sup> John Blume, Nathan Newmark, Leo Corning, *Design of Multistorey Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*.

Portland Cement Association, Chicago, Illinois (actualmente, la PCA se encuentra en Skokie, IL), 1961. Re-editado en 1992. Publicación de la PCA.

## Contrato con la Universidad de California en Berkeley

**Bertero:** Nuevamente, debo nombrar al Profesor Charles Norris. En 1958, Norris me dijo que el Profesor Egor Popov de Berkeley estaba recorriendo Estados Unidos en busca de gente capaz. El Profesor Popov necesitaba contratar a alguien que dictara diseño estructural porque Berkeley ya había iniciado su recorrido en el campo de la ingeniería sísmica. Recordará que, en 1956, se había realizado la primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica en esa universidad. El Profesor Norris sabía que yo quería especializarme en ingeniería sísmica y conocía a Egor Popov, Alexander Scordelis, Ray Clough y Joseph Penzien porque habían pasado por el MIT, así que me recomendó trabajar con ellos.

El Profesor Norris creyó que sería una buena oportunidad para mí y coordinó mi encuentro con el Profesor Popov. Era marzo de 1958. Generalmente, en marzo, el clima de Massachusetts suele ser primaveral, pero ese día hacía mucho frío. Después de la reunión, el Profesor Norris me pidió que llevara a Popov a almorzar a la cafetería de los docentes. Teníamos que caminar unas cuatro cuadras y estaba nevando. El río Charles aún estaba congelado. Cuando el Profesor Popov hizo un comentario sobre el frío, le pregunté por el clima de Berkeley, California. “Si hay un paraíso en la tierra, es Berkeley”, dijo Popov. “El clima de California es perfecto”. Riendo,

respondí: “Profesor, usted solo quiere motivarme para que vaya”. Pero él dijo que no estaba exagerando.

Almorzamos, recorrió el laboratorio y, al finalizar la jornada, dijo que haría una recomendación para que sus colegas me ofrecieran un puesto en Berkeley. Aún no habían pasado dos semanas, cuando llegó la oferta. Empezaría inmediatamente como instructor (*lecturer*) durante dos años. Si todo iba bien, al finalizar ese período me nombrarían profesor asociado. Más adelante, el Profesor Popov me contó que el Profesor Norris le había dicho que yo era el mejor candidato que podía recomendarle para el puesto en Berkeley, pero, también, ¡el que peor hablaba inglés! El Profesor Popov y sus colegas sabían qué lugar asignarme dentro del programa que estaba desarrollando Berkeley.

¡Cómo ha cambiado todo! Hoy, evaluar candidatos implica mucha correspondencia, documentación, presentaciones y reuniones. Sé de qué hablo porque presidí un comité de evaluación de candidatos a cargos docentes. Pasamos más tiempo justificando por qué no elegíamos a una persona – especialmente en función de su origen y los criterios de igualdad de oportunidades – que buscando gente capaz que realmente aporte algo al programa.

En principio, el sistema de la Universidad de California en Berkeley

era similar al sistema del MIT, aunque con algunas diferencias. En el MIT había muchos profesores asistentes que se desempeñaban como tales durante cinco o seis años. Algunos se dedicaban principalmente a investigar y dictaban pocas clases. Eran muy pocos los que llegaban a ser profesores asociados. No era un buen sistema. Hubiese sido mejor hacerles saber antes a los profesores asistentes – dentro de los primeros dos años – si tenían o no un futuro como docentes.

Tal vez usted sepa que el Profesor Popov fue quien propuso y luchó para desarrollar el doctorado en ingeniería civil en Berkeley. Mihran (o Mike) Agbabian fue el primer estudiante de doctorado de ingeniería estructural en Berkeley. Trabajó con el Profesor Popov. Popov desarrolló el programa de posgrado e investigación de Berkeley y fue clave en la contratación de otros, como yo. Más adelante, en 1977, fue un honor para mí integrar el comité de cinco miembros del Simposio celebrado en su honor. Los trabajos presentados durante ese Simposio se publicaron en un volumen editado por el Profesor Karl S. Pister, Presidente del Comité del Simposio.<sup>27</sup>

En la división de Ingeniería Estructural y Mecánica Estructural (SESM) del Departamento de Ingeniería Civil de

---

<sup>27</sup> Karl Pister, ed., *Structural Engineering and Structural Mechanics: A volume honoring Egor P. Popov*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

Berkeley, cinco veníamos del MIT. Egor Popov fue contratado en 1946, Alexander Scordelis y Ray Clough en 1949, Joe Penzien en 1953 y, yo, ingresé en 1958 como asistente para ser nombrado profesor asociado en 1960.

El Profesor Popov cursó sus estudios universitarios en Berkeley, hizo una maestría en el MIT y, luego, empezó su doctorado en Caltech con R.R. Martel para terminarlo en Stanford, donde trabajó con Stephen Timoshenko y Lydik Jacobsen. Popov, por lo tanto, había experimentado personalmente la enseñanza y la ingeniería de Berkeley, el MIT, Caltech y Standford. Creo que él pensaba que, en ese momento, el MIT tenía el mejor programa para formar ingenieros civiles profesionales.

**Reitherman:** En el volumen del EERI sobre su vida,<sup>28</sup> Popov relata que, cuando tuvo a John Wilbur como asesor de su tesis de maestría en el MIT, se dio cuenta de que su formación universitaria en Berkeley no había sido tan sólida como debiese.

¿Popov y sus colegas se limitaron a buscar a alguien que enseñara diseño estructural y mejorara las capacidades del departamento o también querían a alguien que investigara y enseñara diseño sismorresistente?

<sup>28</sup> *Connections: The EERI Oral History Series – Egor Popov*, entrevista a cargo de Stanley Scott. Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, 2002, p. 37.

**Bertero:** Ellos buscaban a alguien que dictara clases de diseño estructural. No obstante, cuando llegué a Berkeley, en 1958, el jefe del SESM del Departamento de Ingeniería Civil, me dijo que también querían que investigara.

### Los Primeros Años del EERI

**Bertero:** Creo que fue inusual para la época (1958) que el Departamento de Ingeniería Civil de Berkeley buscara a alguien que enseñara ingeniería sísmica e investigara al mismo tiempo. Era algo muy atípico en ese entonces. Usted sabe que Ray Clough ya estaba muy involucrado en este campo, aun sin contar con fondos de investigación — todavía. Clough fue clave para la organización de la Conferencia Mundial de 1956. En esa época, estaba muy comprometido con el Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica.

En aquellos días y durante la primera década del EERI, había muy pocos miembros. Todos estaban invitados a participar, no había que presentar una solicitud de admisión.

**Reitherman:** Lo que sé es que cuando yo me inscribí, en 1978, el EERI ya tenía unos 700 miembros y, a pesar de que uno tenía que citar a tres personas como referencia y esperar seis meses, aproximadamente, mientras evaluaban la solicitud, ya no era un grupo reducido y exclusivo de invitados expertos.

**Bertero:** Y siguió creciendo cada vez más. Ser aceptado como miembro se hizo cada

vez más fácil. George Housner fue un defensor clave en las iniciativas para ampliar el EERI. John Blume, en cambio, pensaba que lo mejor era mantenerlo como una organización pequeña que funcionara como una comisión.

**Reitherman:** He hablado de ese tema con John Penzien. Joe era presidente del comité que enmendó los estatutos del EERI en 1973 para que se pudiese solicitar la membresía, en lugar de esperar a ser invitado. Al parecer, él y George impulsaron una mayor apertura, pero había cierta resistencia al cambio. En retrospectiva, parecería que, si el EERI hubiese optado por no abrirse ni ampliarse, lo mismo hubiese sido necesario crear otra organización más abierta. Es interesante que, desde el principio, incluso cuando tenía las dimensiones de una gran comisión — el EERI ya estaba integrado tanto por profesores como por profesionales.

**Bertero:** En esos días, Ray Clough fue uno de los académicos más importantes del EERI, junto con el Profesor Housner, por supuesto. El EERI necesitaba un punto de conexión con lo que sucedía en las universidades, pero había una cierta tensión entre el rol de la universidad y el rol del profesional. Particularmente, creo que muchas veces John Blume y Henry Degenkolb no estaban de acuerdo con los académicos. Recuerdo que tuvieron discusiones muy acaloradas con los profesores Karl Pister y Boris Bresler durante las reuniones del EERI.

Yo fui aceptado como miembro en 1969. En otras palabras, me invitaron a integrar la organización. Como éramos solo cincuenta miembros, aproximadamente, era fácil reunirnos, todos juntos, en una misma sala. También había comisiones que se reunían por separado. Había muy pocos académicos. Nathan Newmark, Anestis Veletsos y Bill Hall representaban a la Universidad de Illinois. Creo que Mete Sozen, también de Illinois, empezó a involucrarse en las actividades del EERI más o menos un año después. Había varios docentes de Berkeley y media docena del sur de California, gente como George Housner, Martin Duke, Donald Hudson y Paul Jennings.

### **La llegada a Berkeley**

**Bertero:** Con mi familia, nos mudamos a Berkeley en julio de 1958. Cruzamos el país manejando. En ese viaje entendí por qué Estados Unidos es un país tan rico. ¡Hay tantos cultivos, tantas ciudades! Viajar por tierra fue una excelente oportunidad para conocer mejor el país.

El Profesor Popov me llevó a conocer al jefe de sección del Departamento de Ingeniería Civil que, entonces, se llamaba División de Ingeniería Estructural y Mecánica Estructural (SESM). Esta división estaba a cargo de T.Y. Lin. Lin me sorprendió. "Sabemos que usted es un buen profesor", dijo. "Así que, en realidad, solo tiene que concentrarse y esforzarse en hacer un buen trabajo de investigación". ¿Buen profesor? Mi única

experiencia frente a una clase había sido hacía años, en la Argentina. Sabía que los docentes del MIT me habían recomendado, pero no sé por qué Berkeley confiaba en que podía convertirme en un buen profesor.

Alquilé una casa de cuatro habitaciones en un buen barrio cerca del campus.

Compartía la oficina con el Profesor Joe Penzien. Esto fue antes de que se construyera el edificio actual de Davis Hall. El Profesor Penzien fue muy amable. Tuve la suerte de que, en ese momento, Joe estaba haciendo algunas investigaciones sobre diseño plástico. Teníamos charlas muy interesantes.

Muchas veces, a la hora del almuerzo, venían otros docentes del departamento a comer con nosotros. Éramos el grupo de la "bolsa marrón" porque llevábamos nuestras viandas en bolsas de papel. El grupo que se reunía habitualmente estaba conformado por Joe Penzien, Ray Clough, Jack Bouwkamp y Alex Scordelis. También había dos ingenieros que no pertenecían al área de estructuras que solían unirse a nosotros: el Profesor Carl Monismith, ingeniero en transporte, y Francis Moffitt, que dictaba clases de agrimensura. Recuerdo cuando conocí al Profesor Scordelis; daba análisis estructural. Me preguntó qué libro usaban en la Argentina para dictar esa materia. Respondí que usaban el libro de Fife y Wilbur que mencioné anteriormente. Me hizo varias preguntas para saber qué opinión me merecía ese

libro. Dije que era bueno, pero que tenía dos falencias: consideraba las estructuras como una combinación de elementos planos, no como un sistema tridimensional, y se limitaba al análisis elástico. Más adelante, el Profesor Scordelis haría un muy buen trabajo en el campo del 3D, para modelar y analizar las estructuras como realmente son. Sabía que había un grupo del Instituto Torroja de España que intentaba trasladar el método de análisis de pórticos de Hardy

Cross a los pórticos de torres cargadas en dos direcciones al mismo tiempo.

Actualmente, algunos de estos temas nos resultan una obviedad, el análisis inelástico no lineal y el análisis en tres dimensiones – pero, a fines de los cincuenta, eran áreas muy nuevas.

Más adelante, me mudé a una oficina sobre el laboratorio de estructuras que había antes de que se construyera el actual laboratorio de Davis Hall.

**Tabla 1. Estudiantes de Posgrado supervisados por Vitelmo Bertero**

<b>Estudiantes de Doctorado</b>		
Atalay, M.B.	Klingner, R.	Sasani, M. (con A. Der Kiureghian)
Anderson, J.C.	Krawinkler, H. (con E. Popov)	Sedarat, H.
Aroni S. (con B. Bresler)	Kustu, O. (con J. Bouwkamp)	Selna, L. (con B. Bresler)
Alussi, A. (con M. Polivka)	Lara-Montiel, O.U. (U. de British Columbia, con Carlos Ventura)	Soleinami, D. (con E. Popov)
Axley, J.	Lee, H.-S.	Terán, G.A.
Barez, S.	Ma, S.M.	Uang, C.-M.
Bertero R.D. (U. de Buenos Aires, con Alberto Puppo)	Moazzami, S.	Vallenas, J. Vázquez, J. (con E. Popov)
Charney, F.	Moustafa, S.A.	Viwathanatepa, S. (con E. Popov)
Filippou, F. (con E. Popov)	Mahin, S.	Whittaker, A.S.
Guevara-López, T.L. (con H. Lagorio y H. Rittel)	Malik, L.E.	Zagajeski, S.
Guh, T.H.	Miranda, E.	
Hidalgo, P. (con R. Clough)	Ozselcuk, A.	
Kamil, H.		

Estudiantes de Maestría		
Almant, R.	Herrera, R.	Sandoval, M.R.
Alonso, L.J.	Hollings, J.	Svojsik, M.
Bertero, R.D.	Irragory-Montero, G.J.	Sause, R.
Brito, J.	Javier, A.	Shahrooz, B.
Broken, S.	Javier, C.	Taheri, Ali
Calvi, M.	Lara-Montiel, O.	Thompson, C.
Chavez-López, G.	Manrique, M.L.	Uzcátegui, I.
Chandramouli, S.	McClure, G.	Verna, R. (IISEE)*
Chowdhury, A.A.	McGuire, R.	Villaverde, R. (IISEE)*
Cova, A.	Megget, L. (IISEE)*	Wagner (luego Phipps), M.
Cowell, A.D.	Meltzer Steinberg, H. (IISEE)*	Zeris, C.A. (con S. Mahin)
Felipa, C.	Oñate, E.	
Fierro, E. (con E. Popov)	Pereda, J.	*IISEE: Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica de Japón
Forzán, B. (con E. Popov)	Roha, C.	
Galunic, G. (con E. Popov)	Sanches, E.	
González, G. (IISEE)*	Saavedra, M. (IISEE)*	

**Reitherman:** Hablando de esos días, Profesor Bertero, oí a Joe Penzien contar que, cuando usted llegó a Berkeley, algunos acortaban su nombre llamándolo Vic, a pesar de que la forma abreviada de su nombre, Vitelmo, debería ser Vit. Sin embargo, he oído que otros también le dicen Vit.

**Bertero:** Mi segundo nombre es Victorio, la versión en español del nombre italiano Vittorio. Así que tanto Vic como Vit son correctos y, la verdad, es que me da igual que me llamen de una u otra forma.

#### A cargo de varias materias

**Bertero:** Al principio, en Berkeley, los docentes de ingeniería civil dictaban varias materias diferentes. Enseñar

distintos temas es muy instructivo y enriquecedor para el profesor. Yo daba *Estática, Resistencia de los Materiales, Diseño con Acero y Hormigón, Estructuras Indeterminadas, Métodos Experimentales y Mecánica de Sólidos*. Cuando llegué a Berkeley, ingeniería sísmica no existía como materia. Yo empecé a dar el tema después de implementar el curso de comportamiento inelástico de las estructuras o diseño plástico. Los alumnos debían cursar todas esas materias antes de cursar diseño sismorresistente que, en ese entonces, tenía un nombre más abarcador: *Diseño Estructural para Cargas Dinámicas*.

Mi experiencia en la Argentina había sido muy diferente. Allá, todos los profesores daban exactamente lo mismo todos los

años. En el sistema argentino, el profesor no estaba al tanto de lo que daban otros profesores o qué estaban aprendiendo los alumnos en las demás materias. En Berkeley, podíamos asegurarnos de que los alumnos tuvieran las materias en el orden indicado, sin que se duplicaran los contenidos ni quedaran temas sin cubrir. Así, cuando Ray Clough empezó a dedicarle más tiempo al método del elemento finito, yo me hice cargo de sus clases de *Análisis de Tensiones a partir de Ensayos*, tema que, antes, había dictado el Profesor Howard Eberhart. Más adelante, al incorporarse William Godden, Godden se hizo cargo de ese curso. El Profesor Eberhart había perdido una pierna en la Segunda Guerra Mundial y estaba investigando cómo diseñar prótesis. Eberhart me dijo que, además de las mejoras en el manejo de ese tipo de heridas, esperaba ansiosamente la llegada del día en que la población alcanzara edades cada vez más avanzadas. Sabía que las personas vivirían cada vez más y que, incluso si la medicina lograba que el resto del cuerpo durara más, las articulaciones, básicamente, eran un sistema mecánico que se desgastaría.

Durante el verano, también dictaba un curso de defensa civil dirigido a docentes de ingeniería de otras universidades del país. Allí, se discutía el diseño de refugios

antibombas. Me pidieron que lo dictara tres o cuatro veranos.

Dictaba *Mecánica de Sólidos, Ingeniería de los Materiales, Diseño con Acero y Hormigón*, todo al mismo tiempo. Fue una experiencia muy enriquecedora para mí. En ese momento, el Profesor Boris Bresler daba *Hormigón Armado* y trabajé con él dictando un curso avanzado sobre el tema. Bresler tenía un gran interés por el diseño plástico. También investigó las estructuras de acero y fue autor de un libro sobre el tema con Jack Scalzi y T.Y. Lin<sup>29</sup>. Bresler dejó la universidad para abrir el estudio Wiss, Janney, Elstner en California, cerca de Berkeley, en Emeryville. Después, contrató a Sigmund Freeman. El estudio no ha dejado de crecer desde entonces. Cuando Bresler dejó la docencia, yo empecé a abarcar más temas de hormigón armado.

Más adelante, dicté otro curso avanzado sobre diseño inelástico de estructuras de acero. Cuando Jack Bouwkamp regresó a Europa, se abrió una vacante en *Diseño con Acero* y la cubrí. Eso fue en los ochenta.

Al supervisar a los estudiantes de posgrado, usaba una técnica que había aprendido en el MIT. Cada estudiante de doctorado tenía que dar varias presentaciones o dictar seminarios frente

---

<sup>29</sup> Boris Bresler, T.Y. Lin, Jack B. Scalzi, *Design of Steel Structures*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1960.

a los demás estudiantes. Era una técnica muy efectiva.

### **El origen del curso de ingeniería sísmica en Berkeley**

**Bertero:** En 1966, me dieron la oportunidad de dictar un curso de posgrado sobre comportamiento inelástico. Comencé a preparar el material ese año y el curso se dictó por primera vez en 1967. El nombre original era *Diseño Inelástico y Análisis de Estructuras*. Luego, en 1968, empecé a dictar un curso de ingeniería sísmica, aunque, originalmente, se le dio un nombre más genérico: *Diseño para Cargas Dinámicas Severas*.

Esto fue justo después de que Robert Wiegel organizara el curso corto que acabaría por dar origen a uno de los primeros textos de ingeniería sísmica.<sup>30</sup> La mayoría de los autores de los capítulos de ese libro eran docentes de Berkeley, aunque también había gente de Caltech, como George Housner y Don Hudson, y profesionales, como John Blume y Henry Degenkolb.

**Reitherman:** Una lista muy selecta de expertos. ¿El curso de ingeniería sísmica que usted comenzó a dictar en 1968 todavía existe en Berkeley? ¿Es el mismo curso para estudiantes de maestría que, actualmente, dicta Steve Mahin?

**Bertero:** Sí, aunque el orden del contenido y el nombre del curso han cambiado. Desde entonces, la universidad pasó del sistema de semestres a un ciclo lectivo de tres trimestres regulares más un cuarto trimestre de verano para, finalmente, pasar al actual sistema de semestres. Dicté ese curso hasta jubilarme, en 1991, y, desde entonces, está a cargo del Profesor Mahin.

**Reitherman:** Hoy, es habitual que las universidades ofrezcan cursos de maestría en ingeniería sísmica. Hay un gran contraste de épocas. Usted desarrolló y dictó un curso de ingeniería sísmica sin haber cursado jamás esa materia en la universidad. Hoy, los profesores dan materias que, a su vez, les fueron enseñadas cuando eran estudiantes.

### **Organización del Departamento de Ingeniería Civil en Berkeley**

**Bertero:** El Departamento de Ingeniería Civil invitó a Bob Park, de Nueva Zelanda, a dictar un curso corto de losas de hormigón armado. Más tarde, Park escribió el libro *Reinforced Concrete Slabs* (Losas de Hormigón Armado) con William Gamble y, por supuesto, el famoso libro *Reinforced Concrete Structures* (Estructuras de Hormigón Armado), que escribió con Tom Paulay. Traer gente de otros países fue de gran utilidad para que los docentes de Berkeley supiesen lo que ocurría en otras partes.

---

<sup>30</sup> Robert L. Wiegel, editor, *Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.

Otras visitas cortas, pero muy provechosas, fueron las de Ferry Borges, el experto en ingeniería sísmica de Portugal; Emilio Rosenblueth de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y coautor de ese gran libro de ingeniería sísmica junto a Nathan Newmark (*Fundamentals of Earthquake Engineering*, Conceptos Básicos de Ingeniería Sísmica);<sup>31</sup> y Jacques Heyman de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, experto en diseño plástico con acero. Creo que el peso de los docentes de ingeniería civil de Berkeley tuvo que ver, en parte, con un muy buen trabajo de equipo y con conocer la relación entre las distintas materias. Por mi parte, no creo haber contribuido demasiado a la capacidad de investigación teórica del cuerpo docente. En el ámbito de la teoría de estructuras, los líderes fueron Clough, Penzien y Scordelis, entre otros. Creo que mi aporte se dio más en el área experimental. Algunos de los aparatos que diseñé se siguen utilizando en la actualidad. Por ejemplo, durante el Proyecto de Acero SAC, tras el terremoto de Northridge de 1994, se usó uno de mis pórticos de ensayo –yo lo había diseñado años antes para hacer ensayos cíclicos sobre uniones viga-columna. Durante uno de los primeros proyectos en mesa vibratoria, gasté \$30.000 en lingotes de plomo para lograr la masa necesaria para preservar la similitud dinámica en modelos en escala reducida. De otro modo, la rigidez es demasiado alta en

comparación con la masa y la respuesta no es realista.

**Reitherman:** ¿Todos esos lingotes de plomo que están en la mesa vibratoria del laboratorio de la Estación Richmond Field pertenecen a su proyecto de investigación?

**Bertero:** Sí. También era importante tener celdas de carga y otros instrumentos. En el campus, en el laboratorio David Hall, mi configuración para ensayar pórticos de acero y hormigón se usó durante muchos años. Diseñé bloques de reacción de hormigón armado para ensayar tabiques estructurales en posición horizontal con precompresión para lograr el efecto de la carga gravitatoria.

Mencioné que mi aporte se dio, principalmente, en el área experimental. Sin embargo, no se trataba simplemente de hacer ensayos, eran ensayos con análisis. Es necesario analizar la estructura tanto antes como después del ensayo, en función de los resultados obtenidos. Esto es lo que he dado en llamar investigaciones integradas: *Análisis-Experimentación-Análisis*.

Participé del trabajo realizado en las estructuras de siete y seis pisos, en escala real, de hormigón armado y acero, respectivamente, del Instituto de Investigación de Estructuras de Tsukuba, Japón, que comenzó en 1978. El proyecto se denominó *Programa Cooperativo de*

---

<sup>31</sup> Nathan M. Newmark y Emilio Rosenblueth, *Fundamentals of Earthquake Engineering*.

Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.

*Investigación entre Estados Unidos y Japón en Laboratorios para Ensayos a Gran Escala.*

Estuve a cargo de la dirección de experimentos dinámicos en los modelos a escala más grandes de estos dos edificios que se podían hacer en la mesa vibratoria de la Richmond Field Station, en la universidad.

### **Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica**

**Bertero:** Durante mi sabático o medio sabático en 1971-1972, el Profesor Hajime Umemura viajó a Berkeley a dictar un curso de ingeniería sísmica. Umemura era el sucesor de Kiyoshi Muto en la Universidad de Tokio.

Usé mi sabático para ir al Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica (IISEE) de Japón. Umemura vino a Estados Unidos y yo fui a Japón. En el IISEE, un profesor o experto extranjero dictaba las materias del programa de ingeniería sísmica y otro las de sismología. Los japoneses contaban con un presupuesto de asistencia para las naciones en vías de desarrollo para que los estudiantes de dichos países pudieran tomar los cursos. Era como una maestría de un año.

**Reitherman:** En los últimos años, el IISEE ha sido autorizado para expedir títulos oficiales de maestría.

**Bertero:** Eso es muy bueno; y los programas eran buenos, por lo que pude ver. Además, estaban diseñados para responder a los intereses de Japón de

contactarse con países donde las empresas o los organismos japoneses pudiesen desarrollar negocios o programas — por lo que, Japón, también se beneficiaba. Creo que los funcionarios del ministerio que financió el programa lo consideraban una forma de promocionar los productos y los servicios japoneses en otros países, mientras que el personal que estaba efectivamente a cargo de la implementación del programa lo veía como una oportunidad de avanzar en el campo de la ingeniería sísmica y ayudar a las naciones en vías de desarrollo.

Mi estadía coincidió con el momento en que el Instituto empezó a tener dificultades para lograr que el gobierno japonés le garantizara la continuidad de los fondos. Envié cartas al ministro, pero nunca obtuve respuesta. Finalmente, uno de los miembros del Instituto me dijo que el ministro de turno se limitaría a ignorarme porque no simpatizaba con los estadounidenses, por su experiencia personal durante la Segunda Guerra Mundial. Por lo tanto, todo el tiempo que había invertido en intentar ayudar al Instituto, hasta ese momento, fue en vano.

Me mudé a Japón con mi esposa y mis tres hijos menores, Mary Rita, Adolph y Richard. En ese momento, mis tres hijos mayores, María Teresa, Edward y Robert, estaban en la universidad, aquí, en Estados Unidos. Tuve una gran ventaja: nos mudamos a la casa que había estado alquilando Bob Hanson. Le compramos los muebles y todo lo demás, facilitando y simplificando enormemente la mudanza.

El Profesor Hanson fue mi predecesor inmediato como ingeniero docente del IISEE. Durante mi estadía en Japón, me hice muy amigo del Profesor Muto, que daba clases ahí.

Cuando estuve en Japón, el sismólogo que dictaba ese curso era australiano, el Profesor K.E. Bullen, muy famoso en ese campo. Había sido profesor de Bruce Bolt. Bullen era sismólogo; no le interesaba la ingeniería sísmica. Decía que solo le interesaban las propiedades de la tierra. Usted sabe, Bob, cuánto me inquieta lograr una integración entre sismología e ingeniería para dar solución a los problemas que plantean los terremotos. Por lo tanto, para mí, esa no era la forma en se debía enseñar sismología en el Instituto. Pero él era muy famoso como sismólogo. Además, le gustaba mucho Japón así que, además de viajar varias veces, había seleccionado a otros sismólogos para que fueran a dictar clases al instituto. Le comenté que su ex alumno, Bruce Bolt, había profundizado su interés por la sismología aplicada a la ingeniería y que estaba haciendo un muy buen trabajo en Berkeley. Básicamente, la respuesta de Bullen fue que el Profesor Bolt había dejado de ser un verdadero sismólogo. Este problema se remonta muchos años atrás: la mayoría de los sismólogos estudia los movimientos sísmicos solo en función de su interés por las propiedades de la tierra. Son muy

pocos los que estudian los terremotos para ayudarnos a comprenderlos mejor.

### **Colaboración Internacional en Hormigón Armado**

**Bertero:** Uno de los logros de mi carrera, tal vez el más importante, fue dirigir la organización del taller de hormigón armado sismorresistente que se realizó en Berkeley en 1977.<sup>32</sup> Fue un encuentro muy importante que reunió a los mejores investigadores y profesionales de todo el mundo. Hablamos sobre el estado del arte y la práctica en cuanto al diseño y la construcción sismorresistente de edificios de hormigón armado, evaluamos los avances a la fecha y fijamos las necesidades prioritarias de investigación. Recuerdo que, en los años que siguieron, cada vez que me encontraba a Bob Park en una conferencia, me decía que repetiría el taller para que nuestra disciplina se mantuviese actualizada.

**Reitherman:** En la portada aparecen algunos nombres conocidos, además del suyo, como organizador principal. Stephen Mahin fue el Secretario de Organización que trabajó junto a usted. El Comité de Dirección estuvo conformado por William Gates, Neil Hawkins, John Scalzi, Mete Sozen y Loring Wyllie, Jr. En cuanto a los extranjeros, usted se las arregló para reunir a un grupo de primera: Shunsuke Otani, Hiroyuki Aoyama, Hajime Umemura y Toshizaku

---

<sup>32</sup> Vitelmo Bertero et al., Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction: Actuaciones para un Taller realizado en la

Universidad de California, Berkeley, 11-15 de julio de 1977. Universidad de California en Berkeley, 1978. 3 volúmenes.

Takeda de Japón; Bob Park y Tom Paulay de Nueva Zelanda; Emilio Rosenblueth y Luis Esteva de México; Ferry Borges de Portugal y Michael Collins de Canadá.

Dado que ese evento tan importante tuvo lugar hace exactamente treinta años [está sesión de la entrevista se realizó en 2007], le hago una pregunta: ¿Ha habido muchos cambios? ¿Cómo describiría el salto de los años setenta a la actualidad, en cuanto al conocimiento y la práctica? ¿Diría que la ingeniería sísmica pasó de un nivel relativamente aceptable a uno mucho mejor? ¿o de un nivel muy bajo a uno mucho más elevado?

**Bertero:** La mayor parte de los conceptos básicos ya se conocían. Fue su implementación en la investigación y en la práctica lo que empezó a mejorar, pero aún faltaba un largo camino por recorrer para llegar al nivel deseado. No olvide que, a fines de 1977, aún no contábamos con programas informáticos prácticos en tres dimensiones para predecir el comportamiento inelástico de la estructura bajo excitación sísmica y, por lo tanto, para analizar su respuesta dinámica inelástica. Aún había cierto misterio en torno al comportamiento al corte del hormigón armado.

**Reitherman:** En los años setenta, ¿qué se desconocía sobre el corte en hormigón armado?

**Bertero:** La tracción diagonal se había comprendido, pero había confusión sobre el daño que puede generar el pandeo combinado con la fuerza axial, es decir, el

deslizamiento por corte. En un *muro de corte*— y sé que mis colegas neozelandeses, como Tom Paulay, me corregirían llamándolo un *tabique estructural*— un gran momento de vuelco puede poner un borde vertical en tracción axial, causando una fisura horizontal. Esto difiere de la tracción diagonal que provoca una fisura diagonal. Si la fisura horizontal es suficientemente grande, si el acero de la armadura se deforma bastante en el rango elástico, la fisura no se va a cerrar. El acero solo se recupera de la deformación elástica, no de la inelástica. Las barras se estiran y mantienen la separación del hormigón a través de la fisura horizontal. Ahora considere una inversión de la carga con flexión en la dirección contraria, que inclina el tabique hacia la fisura abierta y, por supuesto, todavía nos queda transferir la carga lateral del tabique a las fundaciones o al tabique inferior. ¿Qué soportará el corte, el deslizamiento por corte a través de la separación?

**Reitherman:** Suena parecido al análisis de Paulay sobre tabiques acoplados, donde al revertirse la carga, la deformación inelástica por tracción de las barras en la viga de unión en flexión evita que la fisura se cierre y lo único que queda para resistir el corte en la sección transversal de las barras es el aire. En el caso de los tabiques acoplados, la fuerza de corte tiene orientación vertical y proviene de la gravedad, y la fisura es vertical. Si acostamos los tabiques acoplados, el ejemplo se parece a lo que usted menciona sobre la transferencia de corte horizontal a través de la fisura horizontal.

**Bertero:** Exacto. Ha llevado tiempo comprender la relación entre las fuerzas axiales introducidas por la respuesta lateral y el corte que se debe transferir. Una respuesta al problema puede ser la armadura diagonal, como en el método de la viga de unión diagonal de Paulay. Incluso hoy, creo que hay muchos diseñadores que aún no lo entienden. Ahora mismo, se está construyendo un edificio muy alto en San Francisco, justo al lado del Puente de la Bahía. La resistencia lateral está totalmente contenida en el núcleo. A medida que los tabiques sean sometidos a cargas cíclicas, un extremo va a experimentar tracción, las barras se estirarán en forma inelástica manteniendo la fisura abierta.

Cuando se señaló este problema, el deslizamiento por corte en la base del núcleo, los diseñadores no quisieron resolverlo con armadura diagonal. Dijeron que sería muy costoso. Sin duda habría una gran concentración de barras en ese sector, pero solo porque el diseño concentró muchos problemas ahí. Se complica más cuando uno considera la resistencia al corte de los tabiques del núcleo, porque la resistencia de los pórticos del perímetro es insignificante en ese diseño, nuevamente, para reducir costos.

En los setenta, comprendíamos relativamente bien los problemas de torsión, el corte, la flexión y las fuerzas

axiales. Pero enfrentábamos cada problema por separado, mientras que una estructura los experimenta todos a la vez. El ejemplo que le comenté demuestra que no hemos educado lo suficiente a los profesionales.

Una de las virtudes del taller de 1977 fue que invitamos a los profesionales. La idea era que pudiesen explicar sus métodos de diseño y los problemas que enfrentaban, y que pudiesen acceder a los últimos conocimientos producto de la investigación.

Tuve la oportunidad de aportar un capítulo a un libro sobre enfoques innovadores en diseño sismorresistente. Este proyecto fue el resultado de una conferencia internacional, la Segunda Conferencia Internacional sobre Estructuras Sismorresistentes (ERES, por sus siglas en inglés), que se realizó en Catania, Italia, en 1999.<sup>33</sup> Tras la conferencia, se decidió escribir un libro con los aportes de cinco o seis personas. El libro sería editado por el Profesor Giuseppe Oliveto de la Universidad de Catania. Dicté varios cursos en Catania. El primero fue en 1988, aproximadamente. En Italia, también dicté cursos cortos en Nápoles y en Palermo, Sicilia. El resto de mis cursos cortos los dicté, en su gran mayoría, en América Latina.

### **El Terremoto de Loma Prieta, 1989**

**Bertero:** Le puedo contar una anécdota de cuando era director del Centro de

---

<sup>33</sup> Vitelmo Bertero, "Innovative approaches to earthquake engineering," *Innovative approaches*

*to earthquake engineering*. Giuseppe Oliveto, ed., WIT Press, Southampton, Reino Unido, 2002.

Investigación en Ingeniería Sísmica.

Cuando ocurrió el terremoto de Loma Prieta, mi secretario entró a mi despacho diciendo "Profesor Bertero, ha venido un policía de la comisaría que quiere verlo". ¡Ay, ay, ay! El policía venía a entregarme la citación al tribunal por lo sucedido en un edificio de Santa Cruz que colapsó durante el terremoto.

Yo no había diseñado ningún edificio en Santa Cruz, no había actuado como consultor ni había recibido honorario o pago alguno. Sin embargo, terminé siendo emplazado para comparecer ante el tribunal y los abogados me hicieron toda clase de preguntas.

Al llegar a Berkeley, había dictado clases a estudiantes de arquitectura. Para 1989, había olvidado ya a un ex estudiante de arquitectura que se había presentado un día en mi despacho, justo un año antes del terremoto. Me pidió que mirara la remodelación de un edificio en Santa Cruz sobre la que estaba trabajando. Fui a Santa Cruz, una vez, a ver el edificio. Era un viejo edificio de ladrillo. Le dije que tenía un problema grave; estaba en muy mal estado. Los diafragmas eran muy malos. No había amarres entre los muros y los pisos. Era una amenaza para el edificio de madera más bajo que estaba al lado. Le dije que si caían ladrillos podían lastimar a los vecinos del edificio contiguo. Yo no era experto en mampostería, así que le recomendé buscar a un ingeniero estructural especializado en mampostería. Más adelante, vino a verme con unos planos. Le dije que estaba

un poco mejor, pero que no era suficiente. Él estaba tratando de usar elementos de madera para el arriostamiento de refuerzo. Le dije que no funcionaría. Cuando le pregunté por qué no hacía otra cosa, me dio varias explicaciones. Dijo que no podía hacer nada en forma inmediata, alegando distintos motivos, pero, la verdad, es que no se hizo nada de nada. Más tarde, cuando ocurrió el terremoto de Loma Prieta, el 17 de octubre de 1989, envié a dos de mis estudiantes de doctorado a ver los daños. Ellos eran Andrew Whittaker y Eduardo Miranda. Andrew debía preparar un informe sobre el Viaducto de Cypress. Eduardo fue a Santa Cruz. Al regresar, me dio la triste noticia de que el edificio de ladrillo había sufrido un colapso prácticamente total. Los ladrillos habían caído sobre el edificio contiguo, de menor altura, ¡matando a tres personas! En el edificio más bajo funcionaba una empresa que tostaba granos de café (la Coffee Roasting Company). ¡Qué tragedia! Y se podría haber evitado...

Ya había transcurrido cierto tiempo, tras el terremoto, cuando se presentó el comisario en mi despacho para citarme como testigo en un juicio. Fue un juicio muy complicado, un juicio triple. El propietario del edificio sobre el que cayeron los ladrillos demandó al propietario del edificio de ladrillo y los parientes de las víctimas demandaron a los propietarios de ambos edificios. Tuve que presentarme ante el tribunal durante varios días. Declaré que, antes del terremoto, le había dicho al propietario

del edificio de ladrillo que era necesario hacer un refuerzo completo, pero que no se había realizado. Me hicieron toda clase

de preguntas durante varios días. Nunca vi ni un centavo a pesar de todo el tiempo que pasé en los tribunales.

<b>Tabla 2:</b> Becarios extranjeros que asistieron a Berkeley con quienes Bertero colaboró		
Aktan, A.E.	Lara-Montiel, Ottón (Ecuador)	Por recomendación de los Profesores Bertero, Bresler Clough, Penzien y Popov, los siguientes becarios recibieron apoyo del Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica de la Universidad de California en Berkeley para dictar una serie de conferencias o cursos cortos: Julio Ferry Borges (Portugal), Emilio Rosenblueth (México), Hajime Umemura (Japón) y Robert Park (Nueva Zelanda).
Aktan, H.M.	Liao, W.G. (Taiwán)	
Anderson, J.C.	Linde, P. (Suiza)	
Bertero, R.D. (Argentina)	Llopiz, C. (Argentina)	
Bonelli, P. (Chile)	Lobo-Quintero, W. (Venezuela)	
Celebi, M.	Mallaioli, F. (Italia)	
Del Valle Calderón, E. (México)	Oliveto, G. (Italia)	
Eligenhausen, R. (Alemania)	Ozaki, M. (Japón)	
Endo, T. (Japón)	Rodriguez, M. (México)	
Filiatrault, A. (Canadá)	Sakino, K. (Japón)	
Giachetti, R. (Italia)	Santana, G. (Costa Rica)	
González, G. (Colombia)	Sugano, S. (Japón)	
Guevara-López, T.L. (Venezuela)	Vulcano, A. (Italia)	
Harris, H.G.	Watabe, M. (Japón)	
Igarashi, I. (Japón)	Yoshimura, J. (Japón)	

### Clases para Arquitectos

**Bertero:** El primer curso que dicté en Berkeley, en el otoño de 1958, fue *Estática*. Estaba dirigido a estudiantes de arquitectura. Luego, les enseñé *Resistencia de los Materiales*. Esa primera experiencia resultó ser una gran sorpresa para mí. Al principio del semestre, en agosto, hacía calor y las alumnas usaban pantalones muy muy

cortos, y sandalias en lugar de zapatos. Los alumnos se vestían de una forma muy informal. El MIT no era así y, en la Argentina, todos los alumnos cursaban de saco y corbata, y las alumnas jamás hubiesen ido a clase con la ropa que usaban las alumnas de Berkeley. Fue un shock para mí. Me dije, “Bueno, esto es Estados Unidos... y, encima, estoy en Berkeley, por lo que deberé acostumbrarme”.

Creo que los estudiantes de arquitectura de Berkeley ya no tienen tantas materias de ingeniería como antes y, los estudiantes de ingeniería no toman cursos de arquitectura ni planeamiento urbano. Creo que, actualmente, ingenieros y arquitectos no colaboran lo suficiente entre sí. Los ingenieros necesitan entender por qué los arquitectos diseñan los edificios como lo hacen y este proceso de comprensión debería comenzar en la universidad.

He tenido oportunidad de trabajar con una arquitecta venezolana, Teresa Guevara-Perez, casada, a su vez, con un arquitecto. El matrimonio está escribiendo un libro donde el esposo explica por qué al diseñar algunos edificios se utilizan algunas configuraciones vulnerables desde el punto de vista sismorresistente. No es que los arquitectos estén buscando generar problemas ante un sismo, simplemente están atendiendo otras preocupaciones sin prestar suficiente atención al aspecto sísmico.

Por ejemplo, pensemos en el retranqueo. Presenta discontinuidades estructurales en cada nivel de recesión escalonada. Sin embargo, hay una justificación para el uso de retiros desde el punto de vista arquitectónico y urbanístico. ¿Cómo se llama la famosa ley de Nueva York sobre zonación?

**Reitherman:** Plan Maestro de Nueva York de 1916. Se convirtió en un modelo por exigir que, a medida que los

edificios ganan altura, deben retirarse o retirar parte del edificio por detrás de la línea del perímetro de la base, haciéndose más pequeños en la parte superior, lo que se conoce como retranqueo. Justo antes de que se promulgara esa ley, había un edificio en Manhattan, el Equitable Building, que se elevaba en línea recta desde la vereda a lo largo de cuarenta pisos. Era como un prisma rectangular inmenso. Esa forma impide el paso de la luz y obstruye la vista a las demás construcciones. Cuando se aprobó la ley de zonación en Nueva York, se hizo por motivos de planeamiento urbano, no se consideró la posibilidad de un terremoto.

**Bertero:** En América Latina, es frecuente que la ley permita construir una mayor superficie en los niveles superiores, con proyecciones que no cuentan como contorno del edificio. Se construyen grandes estructuras tipo balcón. Desde un punto de vista estructural, esto parece irracional, pero, como se consideran balcones, logran encuadrar en los reglamentos de zonificación.

Otro ejemplo es el del arquitecto Le Corbusier y sus pilotes para elevar el edificio por encima del nivel del suelo. Le Corbusier también diseñó edificios altos con un piso a media altura donde se interrumpían los tabiques superiores e inferiores y solo quedaban las columnas. Creo que su intención era que la gente caminara por ese piso como si fuese una plaza elevada y disfrutara de la vista. Estos diseños introducen una

discontinuidad estructural, los pisos con los tabiques son mucho más rígidos que los que solo tienen columnas. Esto trajo problemas de configuración en algunos edificios de Argelia cuando era colonia francesa —y Argelia es muy proclive a sufrir terremotos. Por esto, debe haber comunicación entre ingenieros y arquitectos.

**Reitherman:** ¿Le gustaba dar clases a estudiantes de arquitectura?

**Bertero:** Sí, me gustaba. Después empezaron a flexibilizar el requerimiento de que los estudiantes de arquitectura tomaran clases de ingeniería estructural. Karl Steinbrugge, ingeniero en estructuras y profesor del Departamento de Arquitectura que daba *Estructuras* a los arquitectos, me apoyaba en mi iniciativa de conservar más contenidos de ingeniería estructural en la carrera de arquitectura.

**Reitherman:** Hace poco, un profesor de arquitectura de Berkeley observó que, hoy, excepto por un curso general de estructuras, la carrera de arquitectura *recomienda*, pero no *exige* a los alumnos que tomen clases de ingeniería estructural.

**Bertero:** En la Argentina, también dicté clases de diseño de estructuras para estudiantes de arquitectura. En 1953, cuando les conté que me iba del país a estudiar e investigar en el MIT, me

agradecieron por las clases firmando un diploma o un certificado donde me deseaban lo mejor para el viaje y mis estudios en Estados Unidos. Fue un gesto muy hermoso.

Es triste que los arquitectos no se interesen en el diseño sismorresistente, siendo que son ellos quienes dan inicio a todo el proceso de diseño. Si usted mira el directorio del EERI, ¿cuántos inscriptos hay bajo la categoría “arquitectos”?<sup>34</sup>

**Reitherman:** Cuando terminé la Maestría en Arquitectura en Berkeley a fines de la década del setenta, mi entusiasmo por el diseño sismorresistente venía de haber estudiado con Karl Steinbrugge y otros profesores de Berkeley. Rápidamente, descubrí que había un mercado para el diseño sismorresistente, pero que estaba por fuera de la arquitectura como profesión. Incluso para los elementos no estructurales, como los cielorrasos, las divisiones y los vidrios, que están dentro de lo que compete al arquitecto, verá que la mayor parte de la investigación y la consultoría de los aspectos sismorresistentes la hacen ingenieros, no arquitectos. Por eso la expresión “ingeniería sísmica” nos resulta familiar, mientras que hablar de “arquitectura sísmica” suena raro.

---

<sup>34</sup> Actualmente, de los casi 2.500 miembros del EERI, aproximadamente, treinta están

inscriptos bajo la categoría Arquitectura [2008] (alrededor del 1%).

¿Cómo le parece que se podría solucionar este problema de que los arquitectos no se involucren en la búsqueda de soluciones al problema sísmico?

**Bertero:** Las universidades deberían formar a los estudiantes de arquitectura en materia de terremotos. Sería una formación menos orientada a las normas precisas de los códigos de construcción y el cálculo, pero les enseñaría cómo las decisiones de arquitectura afectan el diseño sismorresistente.

También sería bueno que los estudiantes de arquitectura y de ingeniería trabajasen codo a codo en algún tipo de proyecto conjunto al final del semestre.

Otra forma de concientizar a los profesionales de la arquitectura sería llevarlos a ver los daños ocasionados por los terremotos. La mayoría de los investigadores y los estudiantes que visitan la escena tras un terremoto, son ingenieros o pertenecen a las ciencias de la tierra o las ciencias sociales. Sería una gran oportunidad que los arquitectos pudiesen ver directamente lo que pasa en un terremoto.

**Reitherman:** En Berkeley, el momento en que los docentes y los estudiantes de arquitectura estuvieron más involucrados con los temas sísmicos, probablemente fue en la década de los setenta. Tras el curso introductorio de estructuras, los estudiantes de arquitectura debían aprobar cuatro cursos de estructuras de ingeniería civil.

Y Karl Steinbrugge, ingeniero en estructuras y experto en terremotos, no era el único que se mostraba activo en este enfoque – también había arquitectos muy involucrados como George Simonds, Henry Lagorio, Gerald McKue y Chris Arnold. Eric Elsesser también era profesor de estructuras en el Departamento de Arquitectura en esa época. A nivel nacional, el órgano de investigación del Instituto Americano de Arquitectos (AIA) con sede en Washington, la AIA Research Corporation, tenía muchos proyectos relacionados con los sismos. El presidente del AIA en 1978, Elmer Botsai, escribió sobre la relación entre arquitectura y terremotos y se interesó por estos temas.

**Bertero:** Para mí, ha sido un placer colaborar con algunos arquitectos en este campo. Por ejemplo, Chris Arnold, Mary Comerio, Henry Lagorio y Teresa-Guevara Perez.

### **Las primeras clases dictadas en Berkeley**

**Bertero:** Durante el primer semestre que estuve en Berkeley, solo dicté un curso, *Estática*, que estaba dirigido a estudiantes de arquitectura, pero también me asignaron la tarea de asistir a un ingeniero consultor que dictaba un curso de diseño sismorresistente para estructuras de madera. Yo lo conocía de nombre porque había participado en la Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica de 1956; era Henry Degenkolb.

La Universidad le pidió que dictara esa materia porque Henry había diseñado muchos edificios de madera para la Exposición Internacional Golden Gate de 1939-1940 realizada en la Isla del Tesoro, en la Bahía de San Francisco. Nos hicimos muy amigos. Henry preparaba los problemas prácticos y yo me reunía con los alumnos para abordar sus dudas. Henry trabajó mucho para mejorar la ingeniería como profesión. Desde ese momento, siempre seguimos en contacto, hasta que falleció en 1989. Colaboré con él en la inspección de daños tras varios terremotos importantes.

Tuve mucha suerte en Berkeley, desde el principio. Tuve la oportunidad de estar con Joe Penzien y Henry Degenkolb y, por supuesto, conversar sobre investigación con el Profesor Popov.

También tenía que asistir al Profesor Howard Eberhart en el laboratorio de estructuras, preparando el laboratorio para los estudiantes y ayudándolo durante las sesiones de ensayos. El Profesor Eberhart se quedaba con los estudiantes más rezagados y me asignaba a mí los mejores alumnos. ¡Dios mío! ¡Cómo hacía trabajar a los estudiantes de su grupo!

Más adelante, asistí al Profesor George Troxell en sus ensayos para verificar la teoría de un ingeniero de la Oficina de

Arquitectura de Sacramento — la oficina que aplicaba la ley denominada Field Act.<sup>NT2</sup> Según su teoría, si se perforan agujeros para sacar los nudos de la madera aumenta la resistencia del material. Era un proyecto atípico. Resultó que, en algunos casos, sacar la parte defectuosa desde donde se iniciarían las rajaduras o las grietas servía; pero, a veces, no funcionaba o terminaba reduciendo demasiado el tamaño de la sección, empeorando el problema — como cuando se hace un corte cerca de un borde, lo único que se logra es concentrar tensión en ese punto.

### La Decisión de Quedarse en Berkeley

**Bertero:** Después de dos años en Berkeley (llegué en 1958), recibí una carta de Bob Whitman preguntándome si estaría interesado en volver al MIT. Me ofrecía un cargo en el área de mecánica de suelos. De haber aceptado, hubiésemos sido dos los ingenieros en estructuras convertidos a ingenieros geotécnicos en el MIT; pero no acepté. En Berkeley, aún no me habían nombrado en un cargo. Generalmente, la decisión de ascender a alguien a profesor asociado (*associate professor*) se tomaba durante el verano; pero creo que, esa vez, la Universidad se apuró para evitar que me fuera. Así que, en mayo de 1960, recibí esta carta [Bertero abre un archivador y saca una carta escrita a máquina y firmada por Clark

---

<sup>NT2</sup> La *Field Act* fue una de las primeras leyes en exigir construcción sismorresistente en

Estados Unidos (especialmente para las escuelas de California).

Kerr, entonces presidente del sistema de la Universidad de California]. La carta tiene fecha del 31 de mayo de 1960, una fecha un poco prematura para obtener ese tipo de nombramiento. Decidí quedarme en Berkeley.

### **Investigación sobre Conexiones de Acero con Egor Popov**

**Bertero:** Al principio, en Berkeley, me asignaron tareas de investigación menores. El primer gran trabajo de investigación en que participé fue con el Profesor Egor Popov. El tema fue el comportamiento cíclico de las uniones de acero. Obtuvimos muy buenos resultados. Justo lo que había previsto. Si se deja que la aleta de la sección de la columna o la viga se deforme demasiado en el rango inelástico, luego, con el ciclo de la carga opuesto, cuando la aleta se someta a compresión, esta terminará pandeándose o curvándose. La curva se hará más pronunciada y la deformación a lo largo de esa zona combada se volverá tremenda. Recuerde que, a medida que el material alcanza una meseta en la curva fuerza-deformación, hay muy poca resistencia al pandeo. Es como tomar un arco y presionar los estribos haciendo que aumente la curvatura. En cinco o diez ciclos a una deformación de solo 2%, la fractura podría ser completa. Si no fuera por ese comportamiento inelástico, podrían haber 500 o 1000 ciclos antes de ver una

falla por fatiga. El terremoto es el único fenómeno capaz de generar varios ciclos con grandes deformaciones, por eso este era un proyecto de investigación de ingeniería sísmica.

Yo diseñé y construí los instrumentos para medir la deformación en distintos puntos en los modelos de acero que ensayábamos. Me basé en dispositivos similares que habían sido utilizados en el Instituto Torroja, en España. Era como una mesa diminuta de tres patas. La base de cada pata estaba hecha con la aguja de acero de un fonógrafo que se asentaba en un pequeño orificio en la superficie del acero. Formaban uniones articuladas. Había conexiones rígidas entre las patas, que eran muy rígidas, y la parte superior de la “mesa”, que era una viga delgada de bronce de fósforo donde se montaban los deformímetros. Al modificar la distancia entre las patas se flexionaba la parte superior de la mesa, acentuando la deformación para una mejor medición. Funcionaba bastante bien.

El Profesor Popov y yo escribimos un breve trabajo sobre esa investigación. Tardamos cuatro años en publicarlo.<sup>35</sup> Le explicaré por qué. Otros investigadores importantes del acero, como Lehigh, y algunos profesionales, pensaban que nuestros resultados no eran más que resultados de laboratorio, que no tenían que ver con un problema

---

<sup>35</sup> Vitelmo V. Bertero y Egor Popov, “Effect of Large Alternating Strains of Steel Beams”,

*Journal of the Structural Division, Actuciones de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.* Vol. 91, febrero 1965, ST1, p. 1-12.

de diseño. Creían que íbamos a asustar a la industria siderúrgica. Finalmente, en 1964, ocurrió el terremoto de Alaska. Viajé al sitio con el Profesor Joe Penzien. ¡Hacía tanto frío! Aprendimos mucho recorriendo la zona. Creo que, en esa época, Joe todavía no había comenzado a volcarse tanto sobre los aspectos más analíticos. En ese entonces, todavía salíamos juntos a observar los efectos de los sismos.

Fuimos a ver el Edificio Cordova, en Anchorage. Había una columna de acero que parecía cortada con soplete. Otras columnas de acero dañadas tenían las alas pandeadas. Era el tipo de falla que habíamos observado en el laboratorio con el Profesor Popov. Fue tras ese terremoto que logramos obtener la aprobación para publicar nuestro trabajo. Por eso demoramos cuatro años.

El viejo factor K del *Uniform Building Code*, que era el factor que clasificaba el sistema estructural, realmente era una forma de considerar la ductilidad de la estructura. Si no se hace el detalle de la estructura para que exhiba el comportamiento dúctil esperado, entonces se debería reflejar en un factor K diferente, es decir, un factor más alto en la fórmula del corte en la base, que resultará en un nivel más alto de fuerzas de diseño. Por lo tanto, era un trabajo muy importante. La industria siderúrgica y los códigos tuvieron que ajustar el proceso de diseño de las estructuras de acero para poder mantener un buen factor K. Si no se

hubiesen implementado cambios en el diseño con acero, el factor K hubiese aumentado, incrementando el costo de las construcciones de acero.

### **Como Director del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica**

**Bertero:** En 1988, me pidieron que me desempeñara como director del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica (el EERC, en inglés), en Berkeley. La idea era cubrir un solo mandato, pero termine desempeñando el cargo desde esa fecha hasta 1991 – año en que tuve que someterme a una cirugía de columna.

Muy amablemente, me dijeron: “Vitelmo, debes hacerlo. El EERC necesita un director y tú deberías ser ese director”. ¡Dios mío! Prácticamente arruiné mi carrera. Les dije que no tenía madera de administrativo, que lo mío era la investigación, la docencia, la ingeniería; pero, finalmente, acepté.

El EERC funcionaba desde 1968, cuando Joe Penzien fue su director. Veinte años más tarde, cuando llegó mi turno, el EERC tenía algunos problemas de personal. No lográbamos ensayar suficientes proyectos en el laboratorio y las mejoras necesarias para poder volver a poner en funcionamiento la mesa vibratoria estaban llevando demasiado tiempo. Poco tiempo después de que me jubilé, la Universidad trajo a Bob Hanson para que se desempeñara como director. Después de Bob, fue el turno de

Jack Moehle y, actualmente [2007], el director es Nicholas Sitar.

Todas las noches, al llegar a casa, le decía a mi esposa que no me sentía feliz. Le contaba que había resuelto apenas un problema, pero que era imposible resolverlos todos. Sabía que, al día siguiente, enfrentaría nuevos problemas. No puedo hacer un buen trabajo rodeado de trabas administrativas y burocracia.

**Reitherman:** Don Clyde, quien, por varios años fue el ingeniero investigador de mayor antigüedad del EERC, contó que usted implementó reuniones de personal todos los días viernes en la mañana para tener mayor control sobre qué hacía cada uno. Dijo que, usted, lograba que el personal tuviera un buen desempeño, incluso quienes no estaban acostumbrados a trabajar duro. [En este momento de la entrevista, Chuck James, el bibliotecario del EERC, entró al despacho de Bertero para pedirle que pronunciara unas palabras en la ceremonia que se realizaría más tarde, ese día [2 de mayo de 2007], por el retiro de Ruth Wrentmore].

**Bertero:** Hablando de personal, cuando era director del EERC, Ruth era la mejor. Siempre llegaba puntualmente a trabajar; era muy responsable; podía confiar en ella. Fue Ruth quien inició y dio continuidad a la serie de resúmenes sobre terremotos (*The Earthquake Abstracts Series*). En ese entonces era soltera, la conocíamos como Ruth

Denton. Hoy, usa su apellido de casada, Wrentmore. Ella compilaba los resúmenes de la bibliografía escribiendo a máquina. Usaba papel de distintos colores para categorizarlos. Más adelante, Ruth supervisó la transición del programa a un sistema computarizado. Bajo su dirección, se catalogaron unos 140.000 trabajos.

### **Las Protestas Políticas de los Sesenta y los Setenta**

**Reitherman:** Lo que se conocería como el Movimiento Libertad de Expresión comenzó a gestarse en el campus de Berkeley durante el ciclo lectivo 1964-1965. ¿Diría que la actividad política de la década del sesenta provocó cambios permanentes en la universidad o fue solo una época?

**Bertero:** Antes de las manifestaciones de los sesenta, la voz de los estudiantes universitarios no tenía mucho peso en las políticas del campus. Hoy, sí. Ese es un gran cambio permanente. Tal vez fue un error de la universidad no haber dado antes más participación a los estudiantes.

El Departamento de Ingeniería Civil no se vio muy afectado. Si uno trazaba una línea cortando el campus por la mitad, por Campanile, desde las colinas del este hacia la bahía, en el oeste, se podía decir que habían dos universidades diferentes. Las carreras de humanidades, la facultad de diseño, con el Departamento de Arquitectura y los departamentos al sur de la línea estaban

más involucrados en las actividades políticas de la época; la facultad de ingeniería, el Departamento de Informática y Ciencias, al norte, no se vieron tan afectados.

Recuerdo un día en particular. Estaba almorzando en la Cafetería de Docentes durante una manifestación de estudiantes. Llegó la policía y la gendarmería, tiraron gas lacrimógeno y no podíamos salir del edificio.

También recuerdo la controversia del Parque del Pueblo (*People's Park*). Nunca entendí bien la situación, pero creo que el resultado fue que, en lugar de construir alojamientos para estudiantes, la cuadra terminó convirtiéndose en un baldío.

### **Cambios en el Departamento de Ingeniería Civil**

**Reitherman:** ¿Qué es lo que más ha cambiado desde que usted llegó a la universidad, hace ya muchos años?

**Bertero:** Cuando llegué a la universidad, dentro del Departamento de Ingeniería Civil, teníamos secciones que se dedicaban a transporte, estructuras, hidráulica y agrimensura. Después se agregó una sección de construcción, pero los miembros del cuerpo académico seguían trabajando juntos.

Sin embargo, cuando el departamento pasó a llamarse Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, la comunicación interna se vio afectada

negativamente. Antes, el objetivo era formar estudiantes de ingeniería civil con una amplia base de conocimientos generales. Por ejemplo, quien se especializaba en estructuras también sabía de materiales. Hoy, sin embargo, la amplitud del objeto de estudio es tal que es difícil cubrir todos los contenidos. El medio ambiente es un tema muy amplio. Hoy, cuatro años no alcanzan para dar la misma formación básica de ingeniería civil que se impartía antes. Ahora, el estudiante o se especializa en una fracción mucho más acotada o adquiere una formación muy general. Con un departamento tan amplio que abarca tantas disciplinas, los docentes no se conocen ni trabajan juntos como hacíamos antes. Como dije antes, la Universidad de California en Berkeley sobresalía en ingeniería civil, no por la calidad individual de algunos docentes sino por su trabajo en equipo.

**Reitherman:** Las publicaciones de profesionales piden mayor especialización en ingeniería estructural. No es habitual que un profesional pida que la educación universitaria sea más amplia, más bien piden programas de "iniciación profesional". Esto no resulta sorprendente si pensamos que los ingenieros profesionales son los empleadores y los jóvenes graduados, los empleados. Estuve conversando con el presidente de una empresa de ingeniería estructural de Estados Unidos que continuamente hacía referencia al "producto" que generaban las universidades. Me llevó un tiempo

darme cuenta de que al hablar de “producto” se refería a los “graduados”.

**Bertero:** Con ese enfoque se pueden formar buenos *técnicos*, no buenos diseñadores. Los graduados serán muy productivos en sus primeros trabajos, pero su formación universitaria es todo lo que tienen, es la base sobre la que irán construyendo con los conocimientos que vayan adquiriendo al trabajar. La universidad deber darles una base amplia. La ingeniería no puede resolver en forma aislada todos los problemas que presenta un terremoto. Los ingenieros deben conocer los demás aspectos del problema.

#### **Bertero se Retira de la Docencia**

**Bertero:** Amaba dar clases, pero empecé a sufrir dolores de espalda. Pasar mucho tiempo de pie y levantar el brazo para escribir en el pizarrón se hizo muy

doloroso. Tuve que someterme a una cirugía con un posoperatorio de varios meses. Eso fue en 1991. Así que dejé de dar clases. Aún sigo investigando y dando algunos cursos cortos y charlas, pero ya no estoy frente a los cursos regulares de la universidad.

Las clases empezaban diez minutos después de la hora en punto, por ejemplo, a las 10:10. Yo entraba al salón a las 10:00 y empezaba a dibujar los diagramas y anotar las ecuaciones en el pizarrón. A veces, al llegar y ver el pizarrón lleno de anotaciones, los alumnos creían haber llegado tarde. Creían que la clase ya había empezado. Me parecía más eficiente tomarme el tiempo de anotar todo el material en el pizarrón para poder aprovechar mejor los siguientes cincuenta minutos de clase.

## Capítulo VIII

# El trabajo con los ingenieros en su práctica profesional

*Me he esforzado mucho por brindar a los profesionales lo necesario para que puedan tener un buen desempeño*

**Bertero:** Cuando me comentó que, en esta sesión de la entrevista, me preguntaría sobre mi trabajo con los ingenieros consultores decidí preparar una lista corta (Tabla 3).

**Reitherman:** Usted es conocido por ser uno de los profesores universitarios que más ha interactuado con los ingenieros consultores. Siempre le ha preocupado la aplicación práctica de los conocimientos de diseño sismorresistente. Cuando había un simposio en su honor, por ejemplo,

siempre había muchos consultores entre los miembros de la audiencia.<sup>36</sup>

Déjeme que le lea algunos de los honores que ha recibido de los ingenieros consultores, para que forme parte de este relato. En 1990, *Engineering News-Record* lo nombró hombre del año. Este honor solo se ha otorgado a un selecto grupo de personas que han hecho grandes aportes a la profesión. No es un premio académico, es un reconocimiento a impactos concretos en el sector de la

---

<sup>36</sup> Simposio EERC-CUREE en Honor de Vitelmo V. Bertero, 31 de enero, 1 de febrero de 1997, Berkeley, California. Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica, 1997.

construcción y la ingeniería. Creo que, además de usted, las únicas dos personas que llegaron a la portada de *ENR* con una carrera dedicada a la ingeniería sísmica fueron Henry Degenkolb y John Blume. En 1997, la Sociedad de Ingenieros en Estructuras de California lo hizo Miembro. En 2006, durante la semana de la conmemoración del centenario del terremoto de San Francisco de 1906, fue galardonado por *Engineering News-Record* y el Consejo de Tecnología Aplicada como uno de los trece mejores ingenieros estadounidenses especializados en terremotos del siglo veinte.

**Bertero:** Me llena de gratitud que los ingenieros consultores valoren mi trabajo. Me he esforzado mucho por brindarles lo necesario para que puedan tener un buen desempeño. Ese fue siempre mi norte, desde que empecé a enseñar y a investigar. Cuando me nombraron director del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica de la Universidad de California en Berkeley, tuve que hacerme cargo de tantas tareas administrativas que, prácticamente, tuve que dejar de lado mis actividades con ingenieros consultores. Fue una verdadera lástima.

Es importante que un profesor tenga cierta experiencia en el ejercicio de la ingeniería como profesión. ¿A quién enseña el profesor? A fin de cuentas, la mayoría de los alumnos acabarán desempeñándose como profesionales; no serán investigadores. ¿Cómo se puede

enseñar una profesión que nunca se ha ejercido? No me parece buena la tendencia actual de que los jóvenes pasen directamente del secundario a la universidad, para hacer, luego, un doctorado y pasar a convertirse inmediatamente en profesores universitarios.

Creo que la primera vez que intenté hacer un aporte a la profesión fue en 1964, cuando trabajé con el profesor Herbert A. Sawyer, hijo, en el Simposio Internacional sobre Mecánica de Flexión del Hormigón. El simposio fue una forma de presentar la teoría del diseño por estado límite a los ingenieros consultores. Antes de ser adoptada en los códigos y en la práctica, tuvieron que pasar varios años para que los ingenieros se formaran y familiarizaran con la idea. Fue uno de los grandes cambios de la ingeniería estructural de la última mitad del siglo veinte. Fue un gran esfuerzo educar a los profesionales y a los futuros ingenieros que, entonces, estaban en la universidad.

En cuanto a la adopción de nuevas prácticas, el acero se quedó atrás. El hormigón fue más rápido en la implementación de los conceptos de diseño sismorresistente inelástico, un concepto que el mundo del acero no terminó de aceptar plenamente sino hasta 1997.

### ATC 3-06

**Bertero:** Después de eso, diría que otro aporte significativo surgió de mi trabajo

en el proyecto ATC 3-06.<sup>37</sup> Participaron muchos ingenieros consultores, muchos de ellos destacados, y un pequeño grupo de profesores. Fue una gran experiencia.

Fue entonces que noté la diferencia entre consultores y académicos. El consultor quería soluciones simples y lo entiendo. Nunca olvidaré la gran discusión sobre qué tan compleja debía ser la inclusión de la dinámica estructural. Henry Degenkolb dijo que para bailar tango hacen falta dos cosas: conocer la teoría y saber la práctica. Eso es lo que necesita el consultor. Académicos y profesionales no siempre estaban enfrentados. Egor Popov y Boris Bresler eran un ejemplo de profesores que ejercían la profesión acercando a los dos grupos. Nathan Newmark, líder clave del proyecto, tuvo un rol muy importante al enfriar los ánimos cuando era necesario y al equilibrar las comisiones para que hubiera representantes tanto de la profesión como de la academia, velando por la unión del grupo. Fue gracias a Newmark que participaron dos jóvenes profesores de Illinois, Bill Hall y Mete Sozen. Newmark también fue responsable de que Emilio Rosenblueth viajara desde México a las reuniones. A veces Hall y Sozen no podían viajar a San Francisco para las reuniones. En esas ocasiones yo era minoría en la comisión que estaba trabajando sobre el Factor R. Podríamos retomar este tema más

adelante porque, al día de hoy, sigo teniendo mis reservas sobre el Factor R [ver Capítulo X, “Presión Económica para Seleccionar Sistemas Estructurales”]. En ese entonces, Roland Sharpe era director ejecutivo del ATC. Él también hizo un excelente trabajo. Para un profesor joven, como yo, no se trataba solo de hacer un aporte; era una oportunidad única para aprender de los demás.

Lo único que siempre me preocupó fue el tiempo que llevaría completar el proyecto e implementar los resultados. Terminamos el trabajo en 1975 y el informe, de gran volumen, se publicó en 1978, pero no tuvo un impacto inmediato en el código. Construir consensos e impulsar cambios lleva tiempo. No se puede cambiar la profesión de la noche a la mañana.

En esa época, el ATC (el Consejo de Tecnología Aplicada, por sus siglas en inglés) era una organización pequeña que había sido creada por la SEAOC (la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, por sus siglas en inglés). En realidad, su objetivo principal era traducir el trabajo de los académicos para que los profesionales pudieran mantenerse actualizados. Más adelante, el ATC intentó ganar proyectos grandes y convertirse en algo más que un puente con la profesión. Ese cambio tuvo

---

<sup>37</sup> Consejo de Tecnología Aplicada, *Tentative Provisions for the Development of Seismic*

*Regulations for Buildings*. ATC 3-06, 1978. Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias y la Junta Nacional de Normas.

resultados positivos y negativos en relación con la era de ATC 3-06.

**Reitherman:** Joe Nicoletti fue uno de los ingenieros a cargo de salir de California – que, básicamente, fue la cuna del ATC 3-06 – para buscar apoyo a nivel nacional. En su relato para el EERI, Joe recuerda haber participado de una reunión en Maryland, organizada por la Junta Nacional de Normas, para reunir a todas las organizaciones de materiales, organizaciones empresariales y entidades relacionadas con los códigos para hablarles del ATC 3. Contó que de las aproximadamente sesenta personas que había en la sala, excepto por el desacuerdo expresado por los presentadores del ATC (él, Ron Mayes y Rol Sharpe), hubo un gran consenso en contra de las disposiciones propuestas.

**Bertero:** Recuerdo haber dado conferencias en la Costa Este, después de la publicación del ATC 3-06, y haber obtenido la misma reacción.

**Reitherman:** Hoy, treinta años después, el ATC 3-06 sigue teniendo cierto material vanguardista. Por ejemplo, el Capítulo 1 de los Comentarios incluye una discusión sobre la intención probabilística global de las disposiciones. Por “global” quiero decir que intentaba combinar todas las incertidumbres para responder los siguientes interrogantes sin tapujos: Si uno utiliza estas disposiciones para diseñar 100 edificios y acaece el terremoto de diseño que tiene cierta

probabilidad de ocurrir, ¿cuántos de esos edificios colapsarán? ¿Y qué pasará si los movimientos del terremoto son dos veces más intensos que los movimientos a nivel del diseño? ¿Ese riesgo es igual a través de los distintos niveles de riesgo sísmico o zonas geográficas? Era una presentación inusualmente clara del riesgo global. Oí decir que Jack Benjamin tuvo algo que ver con eso.

Tabla 3: Selección de Ingenieros Profesionales de EE. UU. con quienes Trabajó Bertero		
H. Bauman	Ron Hamburger	Chris Rojahn
K.L. Benuska	Bill Holmes	Charles Scawthorn
John Blume	Ron Mayes	Roger Scholl
Boris Bresler	Frank McClure	Dan Shapiro
P. Crosby	McCreary-Koretsky Engineers	Roland Sharpe
Henry Degenkolb	Jack Meehan	J.P. Singh
Eric Elsesser	Farzad Naeim	Charles C. Thiel
Eduardo Fierro	Joe Nicoletti	Tom Tobin
Nick Forell	Cynthia Perry	Loring Wyllie, hijo
Sig Freeman	Clarkson Pinkhan	Peter Yanev
William Gates	Chris D. Poland	Nabih Youssef
Ben Gerwick	Robert Preece	Ed Zacher

**Bertero:** Y también Rosenblueth y Newmark. Su libro *Fundamentals of Earthquake Engineering*<sup>38</sup> (Conceptos Básicos de la Ingeniería Sísmica) fue

publicado unos años antes y sigue siendo un buen libro de texto. Rosenblueth añadió un elemento muy contundente al libro: el razonamiento probabilístico.

**Reitherman:** Déjeme que le haga algunas preguntas sobre algunos nombres de la lista (Tabla 3). ¿Recuerda quién fue el primer ingeniero consultor con quien colaboró tras su llegada a Berkeley, en 1959?

**Bertero:** Mencioné, anteriormente, que, al llegar a Berkeley, me indicaron que asistiera a algunos instructores. Uno de ellos resultó ser Henry Degenkolb, que dictaba un curso de diseño sismorresistente aplicado a estructuras

de madera. Así que él fue el primero. Eso fue dentro del entorno académico, pero Henry me enseñó mucho sobre la práctica de la ingeniería sísmica. Más tarde, en las reuniones de código, vi que, en ciertos puntos, Henry era conservador. A veces, una actitud conservadora es positiva. Nos preocupaba que la implementación de cambios muy drásticos de diseño resultara en peores – y no mejores – construcciones. Degenkolb era muy

---

<sup>38</sup> Nathan M. Newmark y Emilio Rosenblueth, *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1971.

directo al expresar sus opiniones y llevaba un tiempo acostumbrarse a su modo de ser.

**Reitherman:** Frank McClure aparece en lista. ¿Cómo lo conoció?

**Bertero:** Él tomó un curso corto de verano sobre dinámica que dicté en los años sesenta. Después de trabajar con David Messinger, él trabajó para la Universidad de California en el laboratorio Lawrence Berkeley. Tras el terremoto de México de 1985, trabajamos juntos en varias actividades del EERI, mientras él era presidente.

**Reitherman:** ¿Y qué me puede decir de estas dos personas, Nicholas Forell y Eric Elsesser,<sup>39</sup> socios de Forell-Elsesser Engineers?

**Bertero:** La mirada de Eric siempre se ha enfocado en el futuro, siempre piensa cómo mejorar la ingeniería y la arquitectura, en particular en lo referido al diseño sismorresistente. Conocí a Eric en la Universidad de California en Berkeley. ¿Sabía que Eric daba clases en el Departamento de Arquitectura?

**Reitherman:** Fue mi profesor de dibujo durante la maestría. Es muy creativo e inspirador. Hace bocetos y piensa como arquitecto, pero también tiene una inteligencia cuantitativa y analítica que le permite resolver velozmente los aspectos

esenciales de los problemas de ingeniería.

**Bertero:** Con Eric empezamos a trabajar juntos pensando cómo mejorar la educación de los estudiantes de arquitectura en el área del diseño estructural. Esto fue a fines de los sesenta. Luego, en los setenta, trabajamos en el proyecto ATC 3-06. En cuanto a Nick Forell, lo conocí después del terremoto de El-Asnam en Argelia, en 1980. Fui co-editor de ese informe de reconocimiento junto a Hareesh Shah.<sup>40</sup> Después de eso nos hicimos muy amigos. Al igual que Degenkolb, a veces, Nick podía ser inflexible, pero tenía un modo muy agradable de explicar sus razones para disentir con algo. Después del terremoto de México de 1985, nos reunimos para hablar sobre el terremoto y las primeras ideas del diseño basado en desplazamiento. En este reducido grupo estaban Forell, Elsesser, Chris Arnold, Sig Freeman, Nabih Youssef y Rol Sharpe. La iniciativa *Visión 2000* de la SEAOC surgió de ese grupo de discusión. Después, a fines de la década de los ochenta, Forell-Elsesser contrató a un joven estudiante mío, Andrew Whittaker. Cada vez que me encontraba con Nick Forell me decía “¡Vitelmo! ¡Nos enviaste al ingeniero con más energía del mundo emtero! ¡Ya estoy viejo para seguirle el ritmo!”

---

<sup>39</sup> Eric Elsesser falleció en 2007.

<sup>40</sup> Hareesh Shah y Vitelmo Bertero, *Informe Preliminar de Reconocimiento: El-Asnam*,

*Terremoto de Argelia del 10 de octubre de 1980.* Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, Oakland, California, 1983.

La firma Forell-Elsesser Engineers siempre ha estado dispuesta a explorar las ideas más innovadoras. Sus diseños son confiables, pero también exploran lo nuevo.

**Reitherman:** John Blume es otro ingeniero destacado que aparece en la lista.

**Bertero:** Blume era un innovador y estaba muy bien formado. En su ejercicio profesional, enfrentaba problemas realmente inusuales. Fue uno de los cinco fundadores del EERI. En 1936, Blume ya había publicado una investigación basada en sus ensayos de vibración forzada para aprender sobre la dinámica de las estructuras en diseño sismorresistente.<sup>41</sup> Conocí su trabajo a fines de los cincuenta. En 1956, en la Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, presentó una investigación muy importante. Había pasado muchos años estudiando un edificio de quince pisos en San Francisco – era un trabajo que se remontaba a su maestría en Stanford.<sup>42</sup> Una de sus primeras investigaciones versó sobre su concepto de energía de reserva;<sup>43</sup> otro ejemplo de que John Blume era un adelantado a su época. A mediados de los setenta, ambos

integramos el Grupo de Revisión de Diseño Sismorresistente del equipo del proyecto ATC-3. Los Profesores Housner, Newmark, Whitman y Clough también integraron esa comisión de diseño. Como mencioné anteriormente, el Dr. Blume me ayudó a organizar el Taller de Construcción Sismorresistente con Hormigón Armado y dictó la conferencia magistral del taller: un repaso sobre el estado del arte.

Como usted sabe, John Blume encabezó la consultora John A. Blume y Asociados que, más tarde, cambió su nombre a URS/Blume. Publicó muchos trabajos importantes junto a otros ingenieros de la firma e implementó un diseño sismorresistente de avanzada en sus proyectos. Ya expliqué que, inicialmente, solo había “construcción sismorresistente”, el énfasis estaba en ciertas reglas generales que no involucraban demasiada ingeniería. Luego, a medida que la ingeniería civil se fue desarrollando, en la segunda mitad del siglo veinte, la disciplina evolucionó para convertirse en “ingeniería sísmica”, una disciplina que aplica los principios modernos de la matemática, la física y la ingeniería estructural. John Blume fue

---

<sup>41</sup> John A. Blume, “The Building and Ground Vibrator”, *Earthquake Investigations in California, 1934-1935*. Publicación Especial N° 201, U.S. Coast and Geologic Survey.

<sup>42</sup> John A. Blume, “Period Determinations and Other Earthquake Studies of a Fifteen-Story Building”, *Actuaciones de la Conferencia Mundial sobre Ingeniería Sísmica*, Berkeley, California, junio de 1956. Instituto de

Investigación en Ingeniería Sísmica, Oakland, California

<sup>43</sup> John Blume, “A Reserve Energy technique for the Design and Rating of Structures in the Inelastic Range”, *Actuaciones de la Segunda Conferencia Mundial sobre Ingeniería Sísmica*, Tokio y Kioto, Japón, 1960. Sociedad Internacional de Ingeniería Sísmica, Tokio, Japón.

una figura muy importante en esa evolución.

**Reitherman:** Entre los ingenieros que han protagonizado la Serie de Relatos Orales del EERI está Clarkson Pinkham, un nombre que también aparece en su lista. ¿Lo conoció durante el proyecto ATC 3-06?

**Bertero:** Sí, pero llegué a conocerlo mejor durante la fase de acero del Programa Estadounidense-Japonés de Cooperación para la Investigación Sísmica en Laboratorios para Ensayos a Gran Escala. Sus aportes siempre eran muy valiosos.

Otro profesional con quien trabajé fue Ed Zacher. Tal vez nunca recibió suficiente reconocimiento por sus aportes. Tenía una gran intuición para la física y era un caballero. Fue muy grato trabajar con él. Actualmente, la SEAONC (la Sociedad de Ingenieros Estructurales del Norte de California, por sus siglas en inglés) otorga un premio que lleva su nombre, el Premio Edwin G. Zacher.

A lo largo de los años, Bill Holmes ha participado en muchos proyectos de ingeniería sísmica, pero tuve la oportunidad de trabajar con él en el Proyecto "Hacia una Universidad Resistente a los Desastres" de la Universidad de California en Berkeley, dirigido por Mary Comerio, de la facultad de Arquitectura. Participaron varias consultoras – Rutherford & Chekene, Forell-Elsesser, Degenkolb. El objetivo era predecir, en forma realista, el comportamiento de los edificios. Bill

tenía una comprensión muy profunda de la ductilidad. Ha sido uno de los mejores ingenieros consultores.

Chris Poland es un personaje interesante. ¿Sabía que, a nivel de grado, no estudió ingeniería sino matemática? Llegué a conocerlo bien durante las tareas de reconocimiento del EERI tras el Terremoto de magnitud 7,4 que ocurrió en Cauçete, Argentina, en 1977. También trabajé con él mientras presidía el proyecto *Visión 2000* de la SEAOC. Es muy buen ingeniero; es capaz de ver los problemas del futuro. Actualmente, está impulsando un concepto conocido como resiliencia. Para mí el término resiliencia describe una propiedad mecánica, pero creo que él lo usa de otra forma, para describir cómo recuperarse rápidamente de un terremoto. Como presidente de la empresa Degenkolb, Chris se ha convertido en un muy buen ejecutivo, capaz de lograr que las cosas se hagan.

**Reitherman:** Chris es el presidente del EERI que autorizó la fase actual del programa de Relatos Orales, tras el fallecimiento de Stan Scott en 2002. Me dijo que, si yo quería seguir con el programa, él me daría su apoyo. De vez en cuando iba a verlo, para ver si todo seguía en pie. Lo único que me preguntaba era si había algo que pudiese hacer por mí o por el nuevo Comité de Relatos Orales para allanar los obstáculos y seguir adelante con el proyecto. Es muy eficiente.

**Bertero:** Exactamente. Chris sabe qué hacer para que una tarea se complete.

Otro ingeniero destacado de Degenkolb Engineers es Loring Wyllie – y, por supuesto, el mismísimo Henry Degenkolb, de quien ya hablamos. Conocí a Loring mientras daba clases en Berkeley. Entonces, él era un estudiante de grado. Al igual que Chris, Loring fue presidente del EERI. Se parece a Henry Degenkolb en que se mantiene muy aferrado al camino que traza. Ambos han tenido muchos logros gracias a esa gran determinación. Loring presidió un panel de revisión por pares sobre edificios altos del que participé; su trabajo fue excelente.

**Reitherman:** Su lista también incluye a Ron Hamburger y a Peter Yanev. Hábleme de ellos.

**Bertero:** Cuando Ron vino a San Francisco a trabajar para la empresa EQE, fundada por Peter Yanev, creo que no tenía demasiada experiencia ni formación en ingeniería sísmica. Sin embargo, una vez que llegó, ¡aprendió tanto! A Peter Yavev lo conocí mucho antes, cuando estudiaba ingeniería civil en Berkeley. Después, hizo una maestría en el MIT y, luego, trabajó en la firma Blume. Era sobrino del Profesor Frank Baron, un colega y buen amigo de la División de Ingeniería Estructural y Mecánica Estructural de la Universidad de California en Berkeley. Peter contrató a Ron aquí en San Francisco, después de fundar EQE. Yo integré un panel de

revisión por pares junto a Helmut Krawinkler, Joe Nicoletti y Egor Popov para analizar un edificio que EQE iba a reforzar. Ron se mostró muy receptivo al escuchar nuestros comentarios y críticas. Aprende muy rápido. Cuando Frank Heger de Simpson, Gumpertz y Heger me llamó – yo lo conocía de mis años en el MIT –, les recomendé contratar a Ron para su oficina en San Francisco. En esa época, ABS había adquirido EQE y creo que los ingenieros que hacían diseño estructural en EQE estaban un poco insatisfechos. Ron sabe de ingeniería sísmica y sabe explicar muy bien. Se parece un poco a Chris Poland; sabe gestionar proyectos y diseñar.

**Reitherman:** Usted y T.Y. Lin integraron el mismo cuerpo docente, pero usted también lo menciona como profesional. ¿Podría decirnos algo de él como diseñador?

**Bertero:** Fui consultor de T.Y. en algunos de los proyectos de su empresa, por ejemplo, en el edificio de pórticos de hormigón armado de Emeryville, junto al puente Bay Bridge, el que tiene forma de “Y”, justo al lado de la autopista (tierra adentro). Creo que era el edificio de pórticos de hormigón armado más alto en la zona de mayor actividad sísmica de Estados Unidos. Ray Clough hizo el análisis. A mi me encargaron la consultoría del trabajo de detalle. Hacer el detalle de la gran cantidad de armadura necesaria era complejo. Recuerdo que cuando contratamos a Jack Moehle como docente y vio el edificio en

construcción, ¿preguntó si era un edificio de hormigón armado o de acero! Era importante poder contar con esa gran armadura. Tras escuchar lo que nuestro equipo tenía para decir, T.Y. supo tomar decisiones de diseño importantes muy rápidamente. Tenía una gran intuición para el diseño de estructuras con hormigón pre-comprimido. Su creatividad se puede apreciar en el diseño del puente Ruck-A-Chucky, un puente que nunca llegó a ser construido en California pero que tenía un diseño muy innovador: tensores sosteniendo un tablero que se curvaba en el plano a medida que cruzaba un cañón.

**Reitherman:** Como profesor, en Berkeley, para explicar cómo responde a un terremoto un edificio más bajo de mayor frecuencia y uno más alto de menor frecuencia, T.Y. Lin no se limitaba a hacer una exposición teórica: sacudía vigorosamente su cuerpo para ilustrar el primer caso y, luego, lo hacía ondular con gracia, moviendo los dedos con fluidez, para demostrar los modos más altos de vibrar. Después supe que él y su esposa eran muy buenos bailarines; ¡hasta habían hecho colocar el piso que se usa en los salones de baile en su propia casa! Al recordar cómo se movía frente a la clase, todo encajaba.

**Bertero:** Una vez hizo una exhibición de baile de salón en su casa para varios invitados. ¡Sí que sabía bailar!

**Reitherman:** Hábleme de otro ingeniero de la lista, Bill Gates.

**Bertero:** Bill fue uno de mis primeros alumnos. Cuando ocurrió el terremoto de San Fernando, era uno de los pocos ingenieros que podían hacer análisis dinámico por computadora para comparar la respuesta analítica con la medida por los registros de grandes movimientos. Más tarde, trabajó con Dames & Moore en Los Ángeles. Luego, la empresa fue adquirida por URS Corporation. Como ingeniero en estructuras, Bill ha sido muy metódico y exitoso. En 1977, integró el Comité Organizador del Taller sobre Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Hormigón Armado que organicé.

**Reitherman:** A Charlie Scawthorn, ¿lo conoció cuando trabajaba en la oficina de Dames & Moore en San Francisco?

**Bertero:** Sí y, además, vivía a pocas cuadras de mi casa en Berkeley. Trabajamos varios años en una comisión del EERI que colaboraba con Japón en refuerzo sismorresistente. Era la época en que los japoneses creían que el próximo gran terremoto ocurriría en la Prefectura de Shizouka. Usted sabe que Charlie se doctoró en la Universidad de Kioto. Creo que la nostalgia de esa época siempre lo inclinó a querer ayudar a los japoneses. Y lo ha logrado, como profesional y como profesor de la Universidad de Kioto. Su conocimiento de la ingeniería sísmica moderna es realmente muy amplio y es muy buen escritor.

**Reitherman:** Se ha referido varias veces al ATC y veo que Chris Rojahn está en su lista. ¿Cómo lo conoció? Chris es director ejecutivo de ATC desde 1981. ¿Conoció a Chris antes de que trabajara en ATC? Él era el ingeniero especialista en movimientos fuertes del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) cuando ocurrió el terremoto de Nicaragua de 1972, mucho antes de ingresar a ATC.

**Bertero:** Sí, tuve algún contacto con él mientras trabajaba en el Servicio Geológico, antes de su llegada a ATC. Trabajé con Chris en el equipo de reconocimiento del EERI para el terremoto de Cauce (Argentina) de 1977. Chris fue el sucesor de Rol Sharpe y Ron Mayes como director ejecutivo del ATC. Después de haber investigado los movimientos fuertes, se convirtió en un excelente administrador. El ATC ha crecido muchísimo bajo su dirección. El proyecto se llamaba ATC-3 porque era el tercer proyecto de este Consejo. Hoy ya llevan más de setenta proyectos y hay varios que son enormes, proyectos de varios años que involucran a muchas personas e implican la redacción de muchos informes. Generalmente, cada proyecto tiene uno o más líderes técnicos y una comisión de revisión. Yo he integrado varias de esas comisiones.

El atentado del 11 de septiembre de 2001 desvió la atención de la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA) del tema sísmico, demorando uno de los proyectos de ATC, el ATC-58. Quisiera

que ese proyecto se completara lo antes posible, ya que su objetivo es generar guías de diseño basadas en desempeño para los profesionales.

**Reitherman:** Qué me dice del ya fallecido Roger Scholl, otro de los nombres que aparece en su lista.

**Bertero:** Trabajamos juntos en algunos proyectos. Yo era parte del grupo de expertos a cargo de la revisión por pares de un proyecto de diseño de Roger Scholl y el Profesor Bob Hanson. Era el edificio de un banco. Roger era un gran ingeniero, serio y responsable. Hizo muchos trabajos excelentes para el EERI. Yo trabajé en uno de los estudios del EERI sobre el terremoto de Michoacán de 1985. Eran estudios que se hacían en colaboración con los colegas mejicanos.

**Reitherman:** Otro nombre que aparece en su lista de ingenieros con quienes ha trabajado es J.P. Singh, pero no sé bien a qué tipo de ingeniería se dedica.

**Bertero:** Se dedicaba a la ingeniería geotécnica; es una especie de sismólogo-ingeniero. Tiene algunas ideas muy buenas y útiles a ambas disciplinas. Trabajamos muy bien juntos en algunos casos y, cuando cambió su consultora, tuvimos algunas diferencias. Antes del terremoto de Loma Prieta de 1989, trabajamos juntos en el proyecto de un hotel con forma de rosca cerca del aeropuerto.

**Reitherman:** ¿El Hyatt que está al sur del aeropuerto de San Francisco?

**Bertero:** Sí. Como mencioné anteriormente, el diseño no sería capaz de resistir un terremoto moderado o fuerte.

**Reitherman:** ¿Usted sacó esa conclusión antes del terremoto?

**Bertero:** Sí. Durante la fase de diseño, J.P. Singh se dedicó al estudio de movimiento de suelo y al diseño de las fundaciones. También dijo que necesitaba conocer la respuesta del edificio, algo lógico. Analicé el diseño y les dije que no podía aprobarlo. Lo que yo quería hacer con las fundaciones hubiese costado \$100.000 o \$150.000 más. No tenían suficientes pilotes. El propietario decidió no incurrir en ese gasto. Cuando ocurrió el terremoto, las pérdidas económicas por los daños al hotel fueron muy superiores al costo que hubiese sido necesario invertir para evitar el daño.

Recuerdo que Bob Preece tenía un laboratorio experimental llamado Testing Engineering. Sus aportes al taller de hormigón armado que organicé en 1977 fueron muy valiosos, así como sus aportes al estudio del terremoto de México de 1985.

Creo que Tom Tobin es experto en políticas públicas. Por muchos años, Tom fue director ejecutivo de la Comisión de Seguridad Sísmica de California. Entiende bien los asuntos políticos. Trabajé con él buscando una solución a los problemas sísmicos del viejo edificio municipal de Berkeley. Ese caso fue un

ejemplo de un problema que requiere equilibrar muchos intereses y considerar múltiples aspectos.

También conozco y he trabajado con varios ingenieros de Wiss, Janney, Elstner desde que Boris Bresler se fue de Berkeley a trabajar con ellos y organizó su oficina de estructuras. La empresa realiza muchos estudios especiales de ingeniería, trabajo forense, etc. Eduardo Fierro y Cynthia Perry son ex alumnos míos. Son excelentes ingenieros. Hace poco abrieron su propia empresa. Si bien mi nombre está vinculado a la firma como asesor, les he dicho que no quiero hacer trabajo forense. He tenido malas experiencias con los abogados y los tribunales y no quiero repetirlos.

Además de la mala experiencia que relaté sobre el terremoto de Loma Prieta, también me vi involucrado en el caso del hotel Royal Palm que se dañó con el terremoto de Guam de 1993. Fue un caso que involucró a muchos ingenieros – ¡y, sobre todo, a muchos abogados! La pregunta técnica era si el colapso parcial de un edificio que era nuevo se había debido a una configuración de columnas cortas o al detalle de la unión viga-columna. Sin embargo, desde el punto de vista legal, solo importaba quién estaba demandando a quién y quién sería el culpable del daño y tendría que pagar por ello. Fue un juicio muy largo.

Conversando sobre el aislamiento sísmico, llegué a conocer mejor a Ronald Mayes. Ronald ha dictado conferencias

sobre ese tema a mis estudiantes de posgrado. También ayudó a organizar una de las primeras reuniones anuales de la SEAOC fuera de Estados Unidos, en México.

P. Crosby y su hermano diseñaron el Centro de Operaciones de Emergencia para la ciudad de Berkeley. Revisé el diseño en nombre de la ciudad y vi que habían hecho un trabajo excelente. También diseñaron un edificio en la Universidad de San Francisco — el primero en usar la malla de Bauman. Es un producto que utiliza jaulas soldadas prefabricadas para confinar el hormigón. Hice algunos ensayos sobre ese método. Ese edificio estuvo implicado en un juicio entre el contratista y la universidad. Así que, una vez más, me presenté ante el tribunal. Fui “testigo por accidente”, como suelo decir.

Lee Benuska. Su nombre me remonta al pasado; fue uno de mis primeros estudiantes. Trabajé mucho con él en el uso del hormigón expansivo, especialmente. Él había empezado a trabajar con una empresa que estaba interesada en aplicar hormigón expansivo a sus proyectos de construcción.

**Reitherman:** En el Simposio CUREE-Caltech celebrado en honor de Wilfred Iwan en 2006, Lee relató su visita a Alaska tras el terremoto de 1964. Al visitar el edificio *Four Seasons* (“Cuatro Estaciones”, en inglés), Lee dijo, en broma, que debería haberse llamado

*Three Seasons* (“Tres Estaciones”) porque ese fue el tiempo que duró.

Afortunadamente, todavía no se había mudado nadie a ese edificio de seis pisos que estaba prácticamente terminado al momento del colapso. Creo que hasta el colapso completo de algunos grandes edificios de estacionamiento en el terremoto de Northridge de 1994, el edificio *Four Seasons* había sido la estructura más grande en colapsar totalmente por un terremoto en Estados Unidos.

**Bertero:** La construcción del edificio *Four Seasons* fue muy económica, pero su sistema estructural, particularmente el detalle de la armadura, no era adecuado. Primero se construyó el núcleo central de tabiques de hormigón armado, luego, las losas de piso construidas en el suelo fueron elevadas, colocadas en posición y postensadas. Esta catástrofe ilustra el problema que puede generar el uso de un sistema basado en un núcleo central sin suficiente resistencia lateral alrededor del perímetro y conexiones de losas precomprimidas delgadas a los tabiques centrales y un mal detalle de armadura. Desafortunadamente, actualmente se están diseñando y construyendo edificios altos con sistemas estructurales similares. No estamos aprendiendo de nuestros errores.

**Reitherman:** Usted también dice haber conocido a Dan Shapiro. SOHA, la sigla que da nombre al estudio de ingeniería estructural del cual él era socio, en San Francisco, proviene de los nombres de

los socios: Shapiro, Okino y Hom. Creo que la “A” es por *asociados*.

**Bertero:** Dan Shapiro ha contratado a algunos de mis ex alumnos. Recuerdo cuando lideró la parte de refuerzo sismorresistente del proyecto ATC 33. La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE) también tuvo cierta participación en la iniciativa y yo hice parte de la revisión. Dan no solo es muy capaz como ingeniero, sino que es un verdadero caballero. Es un placer trabajar con él.

**Reitherman:** La lista de profesionales con los que ha trabajado también incluye a Chuck Thiel, conocido por su trabajo en el gobierno federal.

**Bertero:** Chuck es muy inteligente. Ha trabajado mucho en el campo de la ingeniería sísmica. Pasó por la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) y presenció el comienzo del Programa Nacional de Reducción de la Amenaza por Terremoto (NEHRP). Antes y, sobre todo, después del terremoto de Northridge, estuvo muy ocupado como consultor del sistema de universidades públicas. Hemos tenido discusiones muy interesantes sobre ingeniería sísmica, particularmente, tras el terremoto de Northridge.

**Reitherman:** Recuerdo cuando visité las instalaciones de la facultad de ingeniería de la Universidad Estatal de California en Northridge, tras el terremoto de 1994. Estaba estudiando los planos para hacer el relevamiento y el reconocimiento para el EERI, cuando entró Chuck. Tenía

puesto un casco y estaba cargando la barreta más grande que yo haya visto. Casi sin detenerse, tomó un gran rollo de planos y se fue. Me sorprendió ver esa otra faceta de Chuck Thiel – la mayoría solo conoce al caballero inteligente y sofisticado que siempre viste saco y corbata.

**Bertero:** Sí, su carrera lo ha llevado por caminos diversos, desde sus primeros días en la NSF, donde lideró el programa de terremotos y fue clave para la formación del NEHRP a su paso por la FEMA y, más tarde, su trabajo como consultor.

También conocí a Jack Meehan. Trabajó muchos años en la oficina gubernamental de arquitectura. En los años sesenta, en Berkeley, hicimos algunos ensayos para ese organismo. Estudiamos los paneles de madera que se usaban para construir escuelas. Era muy detallista y riguroso. Quería garantizar la seguridad en los edificios escolares. Hizo varios viajes de reconocimiento tras distintos terremotos para ver qué podía aprender y aplicar en las escuelas de California.

### **El Inicio de la Era de la Computación en el Trabajo de Consultoría**

**Bertero:** Ya comenté que conocí a varios profesores jóvenes del MIT que abrieron consultoras muy importantes: Howard Simpson, Werner Gumpertz y Frank Heger; Robert Hansen, John Biggs y Myle Holley, hijo y William LeMessurier. Más tarde, estando en Berkeley, también yo incursioné en la consultoría.

Al llegar a Berkeley, mi primer trabajo como consultor fue para una torre arriostrada con cables de acero. Era una torre de comunicaciones muy alta en la isla de Guam. Las cargas de diseño para viento eran enormes en Guam y la estructura era compleja. El reticulado de la torre y los cables de las riostras están diseñados para permanecer elásticos, pero bajo la acción del viento, la deflexión es no lineal. Es un problema complejo sobre el que había trabajado en el MIT durante un proyecto donde los consultores eran los profesores Holley y Biggs. Así que, hasta cierto punto, estaba familiarizado con el tema y, por eso, me buscó la consultora McCreary-Koretsky Engineers. Ellos estaban desarrollando el proyecto de la torre para la Armada estadounidense.

Desarrollamos un programa informático. ¡Qué cantidad de tarjetas perforadas! Necesitábamos una computadora muy potente para hacer todos los cálculos. Después de las seis de la tarde, tenía que ir hasta San Francisco, donde la consultora tenía acceso a una gran computadora que, durante el día, era usada por la asociación de seguros médicos Blue Cross Blue Shield. Eso fue en 1959.

**Reitherman:** ¿En 1959, ni la Universidad de California ni las firmas consultoras tenían una computadora potente propia?

**Bertero:** No, teníamos que usar la que Blue Cross Blue Shield tenía en San Francisco y, para eso, debíamos trabajar

de noche. Teníamos que preparar las tarjetas perforadas de IBM. ¡Eran tantas! Y si algo salía mal... ¡Santo Dios! Eran horas y horas de trabajo por rehacer.

**Reitherman:** ¿Ve alguna desventaja en el hecho de que la ingeniería moderna confíe tanto en las computadoras?

**Bertero:** El gran problema se dio hace unos años. Los estudiantes de ingeniería tenían que dedicar tantas horas a programar y aprender a usar los programas que no tenían tanto tiempo para otras clases importantes en la formación de un ingeniero. Probablemente hubiésemos necesitado que la carrera se extendiera un año más. Hoy, los avances en hardware y software han reducido este problema y los alumnos pueden dedicarse más al tema de estudio que les compete. Lo mismo ocurre con los consultores. Sin una computadora, los profesionales no podrían hacer el tipo de análisis que usan hoy; llevaría demasiado tiempo. En parte, tiene que ver con el desarrollo del hardware y la mayor sofisticación del software y, también, con la facilidad con que el ingeniero los puede usar. Hoy, no hace falta hacer un curso de programación ni convertirse en un empleado administrativo como cuando teníamos que manejar todas esas tarjetas perforadas. Es un gran avance.

Sin embargo, para responder su pregunta, sí, confiar tanto en una computadora tiene aspectos negativos que deberían preocuparnos. La tendencia

actual es lamentable. Cada vez más, los ingenieros jóvenes que hacen análisis estructural, diseño y detalle por computadora creen que usar una computadora es sinónimo de confiabilidad. Las presiones económicas y los plazos ajustados agravan el problema. Rápidamente se selecciona un sistema, se diseña y se hacer construir el edificio al menor costo posible, sin hacer el trabajo conceptual: pensar cómo se desempeñará realmente el edificio en su conjunto. Esta tendencia permite revisar cada requerimiento del código de

edificación, uno por uno, pero se pueden pasar por alto problemas mucho más importantes. Los ingenieros necesitan comprender el comportamiento físico real de sus estructuras: cuál será el comportamiento mecánico y dinámico cuando la totalidad del sistema se vea sometido a demandas inusuales pero esperables a lo largo de su vida útil. Al hablar de la totalidad del sistema, me refiero al edificio en su conjunto, no solo a la estructura sino a la estructura y todo lo que está conectado a ella.

## Capítulo IX

# Ingeniería Sísmica en América Latina

*En general, en las universidades latinoamericanas, en el Departamento de Ingeniería Civil hay muy pocos profesores de tiempo completo. Para que sus ingresos alcancen el nivel de un trabajo de tiempo completo, los profesores necesitan trabajar como consultores privados.*

**Reitherman:** En su currículum, veo que ha recibido varios premios de colegios profesionales y universidades latinoamericanas.

**Bertero:** Esos premios no solo tienen que ver con mi trabajo de investigación en Estados Unidos. He dictado conferencias y muchos cursos cortos en esos países – incluso, a pesar de que la mayoría de ellos no contaba con fondos suficientes para pagarme. Me han otorgado esos premios por los cursos cortos de ingeniería sísmica que dicté en América

Latina y las discusiones sobre la investigación de conceptos básicos de ingeniería sísmica tan necesarias para esos países.

### **Argentina**

**Bertero:** Hasta donde tengo conocimiento, actualmente, en Argentina, solo hay tres o cuatro universidades que enseñan ingeniería sísmica: Córdoba, Mendoza y San Juan. Cuando yo era estudiante, solo había cinco universidades en todo el país. Hoy

hay cientos, pero ingeniería sísmica no es una disciplina muy popular. Excepto Córdoba, Mendoza y San Juan, las demás universidades no tienen un curso en ingeniería sísmica, pero sí forman ingenieros que luego diseñan estructuras que deberían ser sismorresistentes. En la Argentina, el diploma otorgado por una universidad habilita para el ejercicio de la profesión en todo el territorio del país. La universidad más grande y más conocida del país es la Universidad de Buenos Aires, que no enseña ingeniería sísmica, pero sí forma a muchos ingenieros profesionales que, más tarde, participan del diseño y/o la construcción de edificios y otras instalaciones ubicadas en zonas altamente sísmicas. Por lo tanto, sería fundamental que los alumnos de esa universidad aprendan ingeniería sísmica.

En general, en las universidades latinoamericanas, en el Departamento de Ingeniería Civil hay muy pocos profesores de tiempo completo. Para que sus ingresos alcancen el nivel de un trabajo de tiempo completo, los profesores necesitan trabajar como consultores privados. El profesor de ingeniería suele estar a cargo de una o más materias que dicta una y otra vez sin introducir cambios. Muchos de los mejores ingenieros son profesores. En Estados Unidos, en general, los ingresos de un profesor sí equivalen a un trabajo de tiempo completo. No obstante, lo que ocurre en América Latina puede terminar siendo una ventaja porque no

hay una separación tan marcada entre profesión y academia.

**Reitherman:** Su currículum deja muy claro que los argentinos no envidian su éxito ni que los haya dejado para triunfar en Estados Unidos y convertirse en un ingeniero famoso. Sé que a usted no le gusta hacer alarde de sus honores, así que seré yo quien mencione algunos premios que le han otorgado sus compatriotas argentinos: es miembro electo de la Academia Nacional de Ciencias (1971), Profesor Honorario y Asesor Honorario en Investigación de la Universidad de Rosario (1983), recibió el premio Ingeniero Enrique Butty (1988) de la Academia Nacional de Ingeniería, es miembro electo de la Academia Nacional de Ingeniería (1989), Profesor Honorario de la Universidad de Buenos Aires (1991); Miembro Honorario de la Asociación de Ingenieros Estructurales (1992), Profesor Honorario de la Universidad Tecnológica de Mendoza (1992), recibió el Diploma al Mérito de la Fundación Konex como uno de los cinco ingenieros civiles argentinos más destacados de la década (1993), es Doctor Honoris Causa en Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza; Ciudadano Ilustre de la Ciudad de Esperanza (2006) y Académico Honorario de la Academia Nacional de Ingeniería (2006).

## **Ecuador**

**Reitherman:** Las universidades y los ingenieros ecuatorianos también

reconocen y valoran ampliamente su trayectoria. Según su currículum, en 1979, la Universidad de Guayaquil lo nombró Profesor Honorario y, ese mismo año, fue nombrado Miembro Honorario de la Sociedad de Ingenieros Estructurales de Guayas. Recientemente, del 13 al 17 de agosto de 2007, la Tercera Conferencia en Ingeniería Sísmica de la Sociedad Ecuatoriana de Ingeniería Sísmica fue bautizada en su honor.

**Bertero:** He dictado cursos cortos en Quito, la antigua capital, y también en la más moderna ciudad de Guayaquil. Como ya dije, valoro mucho estos honores, pero no los veo como premios, sino como expresiones de gratitud por el trabajo de docencia que hice en América Latina.

## Colombia

**Bertero:** He dado clases en la Universidad Nacional de Bogotá, Colombia. Allí, la figura clave de la ingeniería sísmica ha sido el Profesor Alberto Sarria, quien, en 1990, publicó un libro excelente titulado *Ingeniería Sísmica*. El Profesor Sarria empezó a escribir ese libro en 1970 a partir de las notas de un curso de ingeniería sísmica que dictó en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes, en Bogotá. Conocí al Profesor Sarria y a otros ingenieros colombianos en un seminario en español sobre diseño para cargas laterales que dio el ACI en Miami en 1985. En esa oportunidad, presenté un resumen titulado *El*

*Comportamiento de las Estructuras de Hormigón Armado ante un Sismo.*

Actualmente, Colombia cuenta con un grupo excelente de profesores y consultores abocados a la ingeniería sísmica. Entre ellos están Omar D. Cardona y Luis E. García. García fue profesor en la Universidad de los Andes, donde cursó sus estudios universitarios antes de hacer su Maestría en la Universidad de Illinois. Hoy dirige una empresa consultora. Fue electo vicepresidente del ACI en 2006. Los colombianos han desarrollado disposiciones excelentes en su código de edificación, especialmente para lidiar con los efectos de las irregularidades en las estructuras.

## México

**Reitherman:** ¿Cuándo conoció a Emilio Rosenblueth?

**Bertero:** En una reunión en 1964—en Perú, no en México. Nos hicimos muy amigos con el Profesor Rosenblueth. Emilio era inteligente, muy inteligente. Se podría decir que era un científico. Fue él quien formó un muy buen grupo en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Luis Esteva, por ejemplo, trabajó con Rosenblueth. Se doctoró después de hacer una Maestría en el MIT.

Rosenblueth estaba tan por encima del ingeniero común que creo que, a veces, no entendía lo que los ingenieros necesitaban de él y de la universidad. Cuando ocurrió el catastrófico terremoto

de Ciudad de México, en 1985, me llamó por teléfono: “Vitello, ahora entiendo por qué ustedes, los académicos de California, organizan tantas actividades conjuntas con los ingenieros consultores. Ahora entiendo por qué la SEAOC creó una nueva organización, el ATC, para tomar las últimas investigaciones y aplicarlas al desarrollo de guías para el ingeniero consultor.” En mi trabajo, siempre intenté ver a través de los ojos del consultor para comprender los problemas que enfrenta y ayudarlo. Pensar en el profesional es muy distinto a preparar un alumno de doctorado.

Emilio ejerció una gran influencia en los primeros trabajos de ATC. Cuando la mayoría de nosotros trabajábamos en ATC 3-06, de 1972 a 1978, él estaba en la comisión de movimientos de suelo.

Rosenblueth tuvo un gran impacto en muchas personas del campo. Anil Chopra, docente de Berkeley, se hizo muy amigo de Emilio. Usted sabe que el Profesor Chopra se doctoró aquí, con el Profesor Clough. Después, dio clases un tiempo en la Universidad de Minnesota. ¡Nos escribió para contarnos cuánto frío hacía allá! Lo trajimos de regreso a Berkeley y ha integrado nuestro cuerpo docente desde entonces.

**Reitherman:** ¿Rosenblueth participó del diseño de la Torre Latinoamericana de

Ciudad de México? Creo que ya había terminado el doctorado en la Universidad de Illinois para cuando se empezó a diseñar el edificio.

**Bertero:** No, creo que no. Los ingenieros que diseñaron ese edificio fueron los hermanos Zeevaert, Adolfo y Leonardo. Nathan Newmark fue el consultor de la parte sísmica.

**Reitherman:** Durante muchos años, ese edificio de cuarenta y cuatro pisos fue la estructura más alta construida en una zona sísmica; mucho más alto, por ejemplo, que cualquier edificio de California o Japón. La Torre Latinoamericana es conocida por su buen desempeño en los terremotos de Ciudad de México de 1957 y 1985.

**Bertero:** Rosenblueth era un hombre extremadamente inteligente. El libro que escribió, *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*,<sup>44</sup> con Nathan Newmark, que fue su profesor en Illinois, sigue estando entre los mejores.

**Reitherman:** Ese es un gran elogio, considerando que el trabajo más actualizado de recopilación de textos de referencia que usted coeditó con Yousef Bozorgnia es tan reconocido.<sup>45</sup> En la descripción de su curso de posgrado de Diseño Estructural para Cargas Dinámicas (vi una copia de 1974), vi

---

<sup>44</sup> Nathan M. Newmark y Emilio Rosenblueth, *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1971.

<sup>45</sup> Vitello Bertero y Yousef Bozorgnia, editores, *From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004.

que, además de entregarles sus propios apuntes, usted les daba a los estudiantes unas veinte referencias bibliográficas, pero la única que usted recomendaba expresamente era el libro de Newmark y Rosenblueth. De hecho, es difícil saber la cantidad exacta de referencias bibliográficas que recomendaba consultar porque veo que “una” de las referencias era “Informes del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica (EERC)”. En su relato oral para el EERI, Joe Penzien calculó la cantidad de informes publicados anualmente por el EERC e, incluso para 1974, ya se habían publicado noventa y cuatro.<sup>46</sup> La última referencia de su lista era “selección de artículos de publicaciones técnicas, actuaciones de simposios e informes de terremotos destructivos recientes”. ¡Ninguno de sus ex alumnos se ha quejado jamás de no tener suficiente trabajo o material de consulta!

**Bertero:** Para armar el libro *From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering* (De la Sismología para Ingenieros a la Ingeniería Basada en Desempeño), primero tuve que revisar unas cinco veces los capítulos presentados por nuestros co-autores para poder orientarlos. Después, tuvimos algunos problemas con la editorial y tuve que repasar los capítulos tres veces más en la etapa final.

En Ciudad de México, dicté cursos cortos en la UNAM, la universidad pública; y la UAM, que es la Universidad Autónoma Metropolitana. Hoy, con la UAM, la UNAM tiene cierta competencia. Pero, antes de la UAM, solo estaba la UNAM. Estuve en Ciudad de México para el vigésimo aniversario del terremoto de 1985 y me sorprendió ver qué poca comunicación había habido entre la universidad y los ingenieros consultores. Los ingenieros se quejaban por la falta de transmisión de conocimientos, especialmente fuera de Ciudad de México. También he dictado varias conferencias en distintas universidades en Guadalajara.

**Reitherman:** Argentina, por supuesto, le ha rendido tributo en muchas ocasiones, pero hay que destacar también que usted se ha ganado el profundo respeto de México. Según su currículum, en 1983, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica le otorgó una mención de honor y un Diploma de Reconocimiento por sus logros. En 1986, la UNAM lo distinguió con una Cátedra Extraordinaria en la Facultad de Ingeniería y, en 2002, fue nombrado Miembro Honorario de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

**Bertero:** Tras el terremoto de México de 1985, asumí la responsabilidad de publicar el informe del EERI sobre las investigaciones realizadas a partir de ese

---

<sup>46</sup> Connections: The EERI Oral History Series – Joseph Penzien, entrevistas a cargo

de Stanley Scott y Robert Reitherman. EERI, Oakland, California, 2004, p. 42.

terremoto en Estados Unidos, México y Japón.<sup>47</sup> Tuve la impresión de que las lecciones aprendidas mediante esos estudios no recibieron la debida atención. Principalmente, porque, antes de que pudiésemos completar la discusión sobre los estudios, ocurrió el terremoto de Armenia de 1988. Luego, cuando, finalmente terminamos y el EERI publicó el informe, ocurrió el terremoto de Loma Prieta de 1989. Cada vez que ocurre un sismo importante, los investigadores se desplazan inmediatamente al lugar de los hechos, es decir, al verdadero laboratorio experimental, y comienzan a investigar las causas del daño. Sin embargo, en el caso del terremoto de México, los sismos de Armenia y Loma Prieta desviaron la atención de las lecciones que deberían haberse aprendido. Los japoneses, que habían investigado mucho el terremoto de México, ni siquiera asistieron al debate final. También ellos terminaron distrayéndose.

La investigación sobre el terremoto de 1985 de Ciudad de México arrojó algunas recomendaciones importantes. Uno de los grandes problemas era la magnitud del daño causado por un terremoto ocurrido a 300 kilómetros de la ciudad – algo que también podría suceder en otras partes del mundo.

Otro problema era la contigüidad. Ciudad de México tenía muchos edificios construidos muy cerca unos de otros y los edificios se golpearon entre sí. Incluso si no se hubiesen tocado, al colapsar un edificio podrían haberse derrumbado sobre los edificios del frente, ya que las calles que los separaban eran muy angostas.

**Reitherman:** ¿Como la caída de una de las torres del complejo Pino Suarez sobre un edificio contiguo?

**Bertero:** Sí, ese es un ejemplo dramático: un edificio de acero de veintiún pisos que colapsa sobre uno de catorce. Los escombros se expandieron a través de la calle y llegaron hasta la otra cuadra.

## Perú

**Reitherman:** ¿Y qué me dice de Perú?

**Bertero:** Los peruanos están muy orgullosos de una de sus bebidas típicas, así que le contaré una anécdota que recuerdo de 1966, durante un congreso de ingeniería en Perú. Yo estaba con un profesor de Estados Unidos que había bebido bastante más de la cuenta de esta bebida local: el pisco. A pesar de no tener un sabor fuerte, el pisco tiene mucho alcohol. La graduación alcohólica puede llegar a 90°. El profesor estuvo descompuesto dos días enteros.

---

<sup>47</sup> Vitelmo Bertero, editor, *Lessons Learned From the 1985 Mexico Earthquake*. EERI, Oakland, California, 1989.

**Reitherman:** Esas bebidas fuertes de sabor suave son como serpientes de cascabel sin cascabel.

**Bertero:** El pisco te puede subir rápidamente a la cabeza sin que lo notes.

El líder clave en la ingeniería sísmica de Perú ha sido Julio Kuroiwa. Fue uno de los mejores estudiantes del Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica de Japón.

El gran problema de Perú es la construcción informal, gente que construye sus propias viviendas y comercios sin la intervención de un ingeniero y sin cumplir con las normas del código. Algunos se refieren a este fenómeno como *arquitectura típica o autóctona*, pero yo lo llamo construcción informal. Simplemente apilan cualquier material disponible sin tener en cuenta los sismos u otras potenciales amenazas. El Dr. Marcial Blondet, que estuvo aquí, en Berkeley, y ahora trabaja en la Pontificia Universidad Católica del Perú, ha hecho un muy buen trabajo sobre el refuerzo de construcciones de adobe y la transformación de construcciones de mampostería en estructuras sismorresistentes. El gran problema, sin embargo, es cómo capacitar a las personas para que utilicen estas técnicas.

He dictado cursos cortos en la Universidad Católica, la Universidad Nacional de Lima y la de Chiclayo, cerca de la frontera con Ecuador, una ciudad antigua con ruinas incaicas.

## Chile

**Bertero:** Ya que conté una anécdota del pisco peruano, debería contar otra sobre el chileno. Al igual que los peruanos, los chilenos están muy orgullosos de su pisco — una especie de brandy fuerte — y se enfrascan en discusiones acaloradas sobre cuál es el mejor. Es una disputa internacional entre ambos países. En Perú, el Pisco Sour es un trago que se prepara con pisco, jugo de lima, jarabe, unas gotas de licor amargo y claras de huevo. El Pisco Sour de Chile no lleva licor amargo ni claras de huevo y usan limón en vez de jugo de lima. Es un trago muy refrescante en los días de calor. Viajé a Chile en 1969 para la Cuarta Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica. Recuerdo que estaba sentado en el lobby del hotel, cerca de la recepción, saludando a los colegas estadounidenses que iban llegando. Estaba tomando pisco, no mucho — la mayor parte del vaso tenía hielo, por lo que el trago estaba bastante diluido.

Mientras tanto, los colegas que iban llegando pedían Martini. Otros, al ver mi trago, quisieron probarlo, pero insistían en que les sirviesen un vaso más grande. Les gustó mucho. De ahí fuimos a cenar a un hotel muy lindo en la montaña. Mis amigos siguieron pidiendo pisco y se fueron poniendo alegres. El mozo, que hablaba español, me pidió que les dijera que bajaran la voz y no hicieran tanto ruido. ¡Se habían puesto a cantar!

A esta altura, ya habíamos perdido a uno de los ingenieros consultores; estaba profundamente dormido sobre la mesa. Lo subimos al taxi y, al llegar al hotel, yo y otro profesor de Berkeley lo ayudamos a subir a su habitación y lo acostamos. Al día siguiente, me preguntó cómo había vuelto al hotel, no recordaba nada.

**Reitherman:** ¡Ahí tiene otro ejemplo de cómo usted y sus colegas de Berkeley siempre han estado prestos a ayudar a los ingenieros consultores! En Chile, ¿existe una relación cercana entre el mundo académico y el ejercicio profesional?

**Bertero:** Sí, especialmente porque hay muy pocos cargos universitarios de tiempo completo para los profesores de ingeniería civil. Al igual que en el resto de América Latina, para poder vivir, los docentes también tienen que ejercer la profesión. Esto dificulta la investigación, pero favorece la proximidad entre la universidad y la práctica profesional. H. Bertling, profesor de sismología aplicada de la Universidad de Chile, en Santiago, redactó un trabajo muy útil para la Conferencia Mundial de 1956, que resumía la historia de las distintas modalidades y estilos de construcción, paralelamente al desarrollo de los códigos de construcción sismorresistente en Chile.<sup>48</sup>

En 1960, cuando ocurrió el gran terremoto que devastó Concepción y Valdivia, conocí el trabajo del Profesor Rodrigo Flores, quien, entonces, estaba a cargo de la Cuarta Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica que se realizó en Santiago en 1969. ¿Ha escuchado hablar del Profesor Flores?

**Reitherman:** Sí, debe ser uno de los ingenieros chilenos más conocidos y es reconocido como uno de los fundadores de la era moderna de la ingeniería sísmica en Chile.

**Bertero:** Sí, nosotros lo conocemos como un excelente profesor y profesional, pero, además, era el mejor jugador de ajedrez de Chile. El primer campeonato mundial lo jugó en 1931 y, desde entonces, siguió ganando torneos a nivel nacional e internacional por décadas.

La verdad es que el gran terremoto de 1960, en Chile, fue un conjunto de varios sismos importantes. La magnitud del movimiento más fuerte fue mayor a nueve, pero, en realidad, ese movimiento fue una réplica. El día anterior había habido otro movimiento importante. Hubo varios terremotos en serie, incluyendo ese fuertísimo movimiento que sigue siendo un récord: fue el terremoto de mayor magnitud que se ha registrado. Ese terremoto provocó un tsunami con víctimas fatales en

---

<sup>48</sup> H. Bertling, "Development of Earthquake-Proof Construction in Chile," *Actuaciones de*

*la Cuarta Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica*. EERI, Oakland, California, 1952.

Hawái e impulsó el avance de las alertas por tsunami en el Pacífico.

Alrededor de 1965, el rector de la Universidad Católica de Chile en Santiago visitó la Universidad de California en Berkeley. Un día me llamaron del rectorado para comunicarme que recibiríamos la visita del rector, quien se comunicaba mejor en español. Cuando nos reunimos, me dijo que no quería que lo llevara a almorzar ni a pasear; quería saber cómo podía modernizar la sección de ingeniería estructural del Departamento de Ingeniería Civil de su universidad. Quería becar a sus mejores estudiantes para que vinieran a estudiar a Berkeley y llevar docentes de Berkeley a Chile para que dictaran cursos cortos durante el verano. Le dije que el presupuesto de Berkeley no cubriría los gastos para que un profesor viajara a Chile, pero que sabía de otras universidades estadounidenses que tenían otros programas de financiación. Bob Whitman del MIT, por ejemplo, estaba investigando en Venezuela. Había una especie de fondo para que los profesores del MIT pudieran viajar a América Latina.

**Reitherman:** ¿La Fundación Ford?

**Bertero:** Exacto. La Fundación Ford permitió que C. Martin Duke y profesores de la Universidad de California en Los Ángeles viajaran a la Universidad de Chile en Santiago. Pero los profesores de la Universidad de

California en Los Ángeles ya estaban abocados a esa otra universidad chilena, así que sugerí al rector de la Universidad Católica de Chile que se acercara a la Fundación Ford a contarles su proyecto. Si la fundación aceptaba cubrir los gastos para que los profesores de Berkeley pudiesen viajar a Chile, su plan podía llegar a funcionar. Consulté con el Rectorado en Berkeley y nuestro rector estuvo de acuerdo. El rector de la Universidad Católica se dirigió a la Fundación Ford y ellos acordaron aportar parte de los fondos.

Después de eso, muchos estudiantes chilenos muy buenos vinieron a Berkeley a hacer sus doctorados para luego volver a Chile y unirse al cuerpo docente de la Universidad Católica. Uno de ellos fue alumno del Profesor Penzien, Patricio Ruiz, quien, más tarde, organizó el programa de ingeniería de estructuras de la Universidad de Santiago. Más adelante, vino Jorge Vásquez, quien nos tuvo al Profesor Popov y a mí como directores de su tesis de doctorado. Luego, Pedro Hidalgo hizo su doctorado bajo la supervisión del Profesor Clough y, más tarde, Ernesto Cruz se doctoró bajo la supervisión del Profesor Chopra. El último que recuerdo fue Juan de la Llera.

El primer docente de Berkeley en viajar a Chile fue el Profesor Clough. Clough me consultó sobre la modalidad de cursado en Chile. Le dije que, si planeaba dictar su curso después del

almuerzo, debía saber que los chilenos acostumbran a tomarse dos horas para almorzar. Como, en Chile, el almuerzo es la comida principal del día y, a veces, se acompaña con vino u otras bebidas, si no tenían tiempo para dormir la siesta, los estudiantes no podrían concentrarse y la enseñanza se dificultaría.

Al regresar, me dijo “Vitelmo, ahora entiendo a qué te referías. Yo iba a almorzar con ellos y las clases de la tarde se me hacían muy difíciles”.

**Reitherman:** ¿Con qué chilenos ha trabajado?

**Bertero:** Rodolfo Saragoni, por ejemplo, de la Universidad de Chile en Santiago. Saragoni estudió en Los Ángeles y uno de sus colegas, Arellano Sarrazini, hizo una maestría y un doctorado en el MIT. Ya nombré a Rodrigo Flores, quien puede ser considerado el padre de la ingeniería sísmica moderna en Chile. He dictado cursos cortos en la Universidad Nacional de Chile; la Universidad Técnica Federico Santa María, en Valparaíso; la Universidad Católica y la Universidad de los Andes, en Santiago.

**Reitherman:** ¿Por qué los chilenos han logrado que sus arquitectos incluyan tantos tabiques estructurales en sus diseños? Como documentó Sharon Wood, en el terremoto de Viña del Mar de 1985, por ejemplo, el comportamiento

de los edificios de hormigón de media altura fue inusualmente bueno<sup>49</sup> y se atribuyó a la gran cantidad de tabiques estructurales.

**Bertero:** En Chile, los arquitectos respetan más al ingeniero. Hay muy buenos arquitectos, pero eso no impide que se respete al ingeniero. Son conscientes de la gravedad del problema sísmico y lo toman en serio.

**Reitherman:** ¿Los estudiantes de arquitectura tienen más materias de ingeniería estructural que los estadounidenses?

**Bertero:** Así es. Ya mencioné que, en Berkeley, se han reducido los contenidos de estructuras que reciben los estudiantes de arquitectura. Hay varios otros países donde los arquitectos tienen una mejor formación en los aspectos técnicos de la construcción.

**Reitherman:** ¿El hecho de que los países latinoamericanos tengan diferentes códigos de construcción, dificulta la enseñanza de temas como construcción sismorresistente de hormigón armado?

**Bertero:** Actualmente, las disposiciones del código chileno se basan en el enfoque estadounidense. El código de hormigón armado, por ejemplo, sigue el enfoque del ACI. Hay varios otros países que se basan más en el enfoque

---

<sup>49</sup> Sharon Wood, “Performance of Reinforced Concrete Buildings in the 1985 Chile Earthquake: Implications for the Design of

Structural Walls”, *Earthquake Spectra*. Vol. 7, N° 4, noviembre de 1991. EERI, Oakland, California.

europeo. Las disposiciones de diseño para los materiales no son tan diferentes, pero la normativa sísmica sí difiere, al igual que las prácticas, especialmente en cuanto a la forma de construir. Por ejemplo, la calidad de la construcción sismorresistente en Chile es mejor que la de Argentina —excepto por las provincias argentinas de Mendoza y San Juan, donde los sismos son frecuentes. En Buenos Aires han colapsado algunos edificios de varios pisos sin que ocurra ningún sismo. Eso se debe a la mala calidad de la construcción, no a falta de conocimientos sobre cómo hacer que un edificio se mantenga erguido bajo cargas gravitatorias predecibles.

**Reitherman:** Un edificio que ha sido diseñado para resistir sismos, ¿es más resistente, también, en términos generales, como, por ejemplo, para resistir las cargas gravitatorias cotidianas?

**Bertero:** Sí. El diseño sismorresistente tiende a incrementar la fiabilidad de la estructura en general. Es un diseño que vincula y une los elementos estructurales, considera la ductilidad, se esfuerza por obtener una construcción de buena calidad y se preocupa por las incertidumbres.

### Costa Rica

**Bertero:** En Costa Rica, el líder de la disciplina fue el ya fallecido Franz Sauter. Era muy buen ingeniero y muy buen escritor. Costa Rica es uno de los países latinoamericanos con mejor

ingeniería sísmica, a pesar de que, en San José, hay algunas estructuras vulnerables. Viajé varias veces a dictar conferencias a San José. Jorge Gutiérrez, quien se doctoró en Berkeley, es el líder actual de la ingeniería sísmica costarricense. Yo diría que los ingenieros mejor formados de Costa Rica, México y Chile son de primera categoría. Sin embargo, una sociedad con buena ingeniería que no plasma estos conocimientos en los códigos, la práctica y la construcción enfrentará graves problemas ante un sismo. El gobierno tiene la obligación de acompañar el proceso.

**Reitherman:** Su currículum dice que, en 1994, recibió un Diploma de la Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica. ¿Cómo describiría esa organización?

**Bertero:** Ha sido una organización muy progresista. Creo que Franz Sauter desempeñó un rol muy importante en la asociación para mejorar las disposiciones del código en materia de diseño y construcción sismorresistente. Hay un grupo de académicos y profesionales relativamente jóvenes que saben cómo adaptar la información disponible en un diseño sismorresistente simple pero confiable que satisface las necesidades del país.

### Venezuela

**Bertero:** En Berkeley, tuve cinco estudiantes de maestría: Irragoni Montero, Juan Pereda, A. Cova, I.

Uzcátegui y L.J. Alonso. Para cuando ocurrió el terremoto de Caracas de 1967, ya habían regresado a Venezuela. ¿Usted conoce Caracas?

**Reitherman:** Sí. El aeropuerto está a nivel del mar. Después, hay que ascender hasta la primera cadena montañosa donde se ubica la gran ciudad que ocupa todo el valle.

**Bertero:** Ese gran valle de terreno blando fue uno de los grandes problemas en ese terremoto. Tras el terremoto de Alaska de 1964, el Profesor Harry Bolton Seed ya había empezado a estudiar la influencia de los tipos de suelo en los movimientos sísmicos. Caracas fue un caso de estudio perfecto. Ese tema avanzó mucho gracias al trabajo de Seed.

Viajé a Caracas después del terremoto y... ¡Dios mío! ¡No aprendieron la lección! Siguen construyendo la misma clase de estructuras que colapsaron en 1967.

Recuerdo que estudié el caso del Hotel Sheraton de Macuto, con sus grandes columnas de hormigón que quedaron aplastadas por un mecanismo de piso débil en ese nivel. También estudié en detalle el edificio Charaima, junto a Joe Penzien y Steve Mahin.

**Reitherman:** ¿Es verdad que incluso algunos años después del terremoto de 1967, el UBC vigente en California seguía sin incluir requerimientos de ductilidad para la construcción con hormigón armado?

**Bertero:** Así es. Llevó varios años. Ya se había publicado el libro de Blume, Newmark y Corning que hablaba de la importancia de la ductilidad, pero la norma y las prácticas aún no habían incorporado la información nueva. Ese fue el otro gran impacto que tuvo el terremoto de Caracas de 1967. Eso y las lecciones sobre el efecto del suelo local en la sacudida y la vulnerabilidad de las construcciones con sistemas de tabiques discontinuos en planta baja por razones arquitectónicas.

**Reitherman:** Recientemente, uno de sus ex alumnos de maestría, Eduardo Fierro, fue co-autor de un artículo<sup>50</sup> que presenta una visión bastante pesimista. Habla de cuán vulnerable es la construcción actual en Venezuela y qué poco se interiorizaron las lecciones del terremoto de 1967. Según el relevamiento, en Venezuela se están repitiendo errores que debieron aprenderse hace años, como el mecanismo de piso débil en planta baja. Se usan tabiques rellenos de mampostería en pórticos de hormigón en planta baja, pero prescinden de ellos

---

<sup>50</sup> Gary Searer y Eduardo Fierro, "Criticism of Current Seismic Design and Construction Practice in Venezuela: A Bleak Perspective,"

*Earthquake Spectra*. Vol. 20, N° 4, noviembre, 2004. Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, Oakland, California.

justamente allí donde más los necesita la estructura, ya sea para crear espacios de estacionamiento en planta baja o para tener grandes galerías abiertas u otros espacios amplios al nivel de ingreso.

**Bertero:** En las sierras que rodean Caracas, hay casas nuevas con mecanismo de piso flexible en planta baja. También vi una en voladizo que sobresale de la pendiente. Frente a un terremoto, ese diseño conduce a dos problemas graves: el problema de la configuración vertical del piso débil y el problema de la torsión en planta. Otra de mis ex alumnas, Teresa Guevara-Perez, quien se doctoró en arquitectura en Berkeley, me envió algunas fotos de estructuras que desafían los conceptos más básicos del diseño sismorresistente. Francamente, las fantasías de los arquitectos son increíbles. Hace poco, Teresa me envió una copia de la versión final de un voluminoso libro en español de su autoría titulado *Introducción al Estudio Sistemático de las Configuraciones Arquitectónicas Modernas en Zonas Sísmicas*. La Editorial Gustavo Gili publicará parte del trabajo en España. Es un libro excelente. El abordaje de la información compilada y los resultados obtenidos son muy buenos. Además, los conceptos están muy bien ilustrados con figuras, diagramas y fotos. Sería muy interesante que lo leyeran los arquitectos, los urbanistas y todo

profesional involucrado en la implementación de las prácticas de la ingeniería sísmica moderna.

Teresa Guevara-Perez empezó a trabajar en el tema mientras hacía su doctorado en el Departamento de Arquitectura en Berkeley, con la asistencia de Henry Lagorio y Christopher Arnold. Ella menciona el libro que usted escribió con Chris Arnold sobre la especial influencia de la configuración estructural. Es un libro pionero en su campo.<sup>51</sup>

**Reitherman:** Creo que el hecho de que fuera traducido al español, el italiano y el ruso lo hizo más conocido. La idea fue de Chris Arnold y Eric Elsesser —el consultor del proyecto de investigación, financiado por la NSF, que derivó en la publicación del libro.

**Bertero:** He viajado varias veces a Venezuela desde principios de los sesenta para dictar cursos cortos en la Universidad Central de Venezuela en Caracas y la que está en Barquisimeto. El nombre de esta última ciudad hace referencia al cemento y es un gran centro industrial de ese material. También he dictado cursos cortos en la Universidad de los Andes en Mérida, en la montaña. Es una hermosa ciudad antigua llena de tradición.

---

<sup>51</sup> Christopher Arnold y Robert Reitherman, *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*. Limusa, México, 1987.

**Reitherman:** Yo también estuve en Mérida. ¿Qué tipo de transporte usó para llegar a la ciudad?

**Bertero:** ¡Mi Dios! Un avión. Pero no era un vuelo ordinario de aerolínea. Se veía el valle cercado por montañas a ambos lados durante el vuelo. ¡Es toda una aventura!

**Reitherman:** Y la pista de aterrizaje está sobre una subida bastante pronunciada. Al principio, resulta raro que una pista de aterrizaje no esté nivelada, pero, luego, uno se da cuenta de que es lo mejor, porque ayuda a frenar al avión — un avión a reacción común, no a hélice. De hecho, el avión frena casi justo antes de tocar la cerca que está al final de la única pista de aterrizaje. Dicen que la tripulación de ese vuelo recibe un bono extra por asumir ese riesgo.

Por lo que veo en su currículum, usted no solo estuvo allí en 1977, cuando la ciudad le otorgó una mención como invitado de honor y la Universidad un diploma honorífico, sino que tuvo el valor suficiente para regresar en 1987, cuando la Universidad de Los Andes le concedió una Medalla del Bicentenario y, luego, en 1993, fecha en que la Universidad le otorgó el título de *Doctor Honoris Causa* en Ingeniería. Luego, más adelante, ese mismo año, usted volvió para recibir el título de Presidente Honorario de la Sociedad Latinoamericana de Ingeniería Sísmica y una medalla del gobierno de Mérida. También, en 1993, recibió la Medalla

Institucional de la Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado de Barquisimeto.

Usted aún es Presidente Honorario de la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sísmica (AIIS). ¿Cómo compararía esa asociación con una entidad como el EERI?

**Bertero:** Así es, sigo siendo Presidente Honorario de la Asociación. La AIIS se creó en 1992 durante la X Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica celebrada en Madrid, gracias a la iniciativa del Profesor Rafael Blázquez, quien encabezada el Comité Directivo del 10WCEE. La iniciativa surgió de la necesidad de coordinar los esfuerzos de la ingeniería sísmica con los de otras disciplinas relacionadas. La primera reunión se celebró con ocasión del Octavo Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente realizado en Mérida, en 1993. Realizamos estos seminarios cada cuatro años, pero es difícil obtener fondos para las conferencias. La AIIS tiene aproximadamente diez países miembros, pero, actualmente, no hay un consenso sobre quién está a cargo de tomar las decisiones. Por lo tanto, la AIIS no se puede comparar con el EERI, un instituto que desde hace muchos años está muy bien organizado. Espero que esta situación se resuelva.

### **República Dominicana**

**Bertero:** Las primeras conferencias en Santo Domingo las dicté en los años

setenta. Eran conferencias sobre las actividades del ACI en diseño sismorresistente de estructuras de hormigón armado, particularmente edificios. Después participé de una conferencia organizada en Santiago de los Caballeros. Desde 2002, con Eduardo Fierro hemos dictado cursos cortos de ingeniería sísmica. República Dominicana cuenta con un grupo de ingenieros muy capaces.

**Reitherman:** ¿La mayor parte de los cursos que dictó en América Latina fueron sobre diseño sismorresistente de edificios de hormigón armado?

**Bertero:** Sí, porque el acero suele ser muy caro. Pero en República Dominicana, alrededor del año 2000, la industria de la construcción empezó a usar más acero. No usan secciones de acero laminado, sino acero liviano conformado en frío. Están haciendo edificios de cuatro o cinco pisos diseñando y construyendo el sistema estructural con estos elementos livianos.

**Reitherman:** ¿Ellos conectan ese tipo de material con muros de corte de paneles metálicos?

**Bertero:** No, están acostumbrados a hacer pórticos.

**Reitherman:** Pero esas secciones delgadas no se pueden soldar, ¿o sí? ¿Cómo hacen las conexiones resistentes a momento?

**Bertero:** Ese es el problema. Aunque he visto pórticos de hasta dos pisos de altura con las vigas soldadas a las columnas. Espero que no estén usando ese tipo de construcción para los edificios más altos. Me recuerda a Argentina, a fines de los años cuarenta, cuando se comenzó a utilizar acero de refuerzo de mayor resistencia. La resistencia se lograba deformándolo por torsión, pero a expensas de reducir la ductilidad. Creo que estas construcciones de acero liviano de varios pisos de República Dominicana no son dúctiles.

**Reitherman:** Aquí tengo otra prueba de cuánto lo conocen y aprecian en América Latina: en 2006 usted recibió un premio de la Sociedad Dominicana de Sismología e Ingeniería Sísmica.

**Bertero:** Como dije antes, estos premios son una muestra de agradecimiento por mi tarea de docencia, por los cursos cortos que dicté en esos países. Disfruto la docencia. Creo que es importante que aclaremos que no recibí todos esos honores por haber hecho aportes científicos concretos a esos países.

## Capítulo X

# Los Principales Problemas por Resolver en la Ingeniería Sísmica.

*El ingeniero debe visualizar el significado físico de los resultados del análisis numérico*

### Entendiendo la Reología

**Bertero:** La reología es la ciencia que estudia cómo se deforma un material bajo tensión. Para algunas disciplinas, la reología se relaciona con el flujo de fluidos. Para el ingeniero estructural, la reología es la ciencia que estudia cómo se deforma un material sólido, como el hormigón o el acero. El comportamiento real de una estructura durante un sismo es un fenómeno extremadamente complejo. Para hacer un proyecto, los ingenieros necesitan saber simplificar. Necesitamos simplificar. Pero es necesario entender por qué se puede

confiar en una simplificación. Uno debe poder *sentir* el comportamiento físico.

Por ejemplo, tomemos un elemento estructural de hormigón armado en una estructura sujeta a un sismo. Incluso una deformación relativamente pequeña del hormigón por tracción durante un sismo equivale a una fisura, es decir, a cierto daño. Los movimientos del suelo continúan y aparece una fisura en dirección contraria. Durante el terremoto van apareciendo más y más fisuras y luego hay descascaramiento. También podría haber un comportamiento inelástico más allá del

recubrimiento de hormigón: la fluencia de las barras de acero de la armadura en tracción y compresión. El ingeniero debe visualizar el significado físico de los resultados del análisis numérico.

**Reitherman:** Para que los lectores que no son ingenieros tengan una idea de lo que significa que el hormigón se fisure bajo tracción, ¿podríamos decir que, habitualmente, una deformación unitaria de 0,001 es suficiente para provocar una fisura? Es decir, si el hormigón se estira 1/1000 respecto de su longitud inicial. Entonces, si una columna de un piso de altura (digamos, tres metros) se extiende tres milímetros, ¿habrá una pequeña fisura? Hablamos del espesor de tres o cuatro hojas de papel. Si una columna de hormigón se estira esa pequeña cantidad, se fisura. ¿Es correcto?

**Bertero:** Sí. Deformaciones que pueden parecer insignificantes en otros ámbitos de la vida cotidiana son importantes en una estructura. El diseñador debe poder imaginar cómo se comportarán los materiales cuando ocurran esas deformaciones.

Hoy, las computadoras nos han hecho perder dos formas de aprendizaje. Una es la elaboración de bosquejos. Cuando había que hacer bocetos de los elementos y los detalles a medida que se los iba concibiendo y pensando, había más reflexión en la toma de decisiones. El dibujo con programas informáticos es más veloz, pero da menos lugar a la

reflexión. La otra es el ensayo de materiales, la comprensión del comportamiento real de los materiales a partir de los ensayos. El ensayo como algo adicional al análisis. El ingeniero necesita ver y *sentir* cómo se comportará la estructura. No creo que los programas informáticos puedan resolver el problema de los terremotos por sí solos.

Pensemos lo siguiente: los ingenieros conocen el gráfico que ilustra cómo se deforma el acero cuando se le aplica una fuerza a medida que uno tracciona una probeta en una máquina de ensayo. Por lo general, se coloca un deformímetro eléctrico en el testigo y se obtiene un valor. Si se colocan varios deformímetros a intervalos cortos se obtienen más valores, pero algunas diferencias. ¿Por qué?

Una medición de la deformación representa lo que está sucediendo en una porción de la barra de acero. Pasado el límite de fluencia, la curva se aplana antes de trepar un poco más debido al endurecimiento y, luego, finalmente, falla. La parte plana de la curva implica que el módulo de elasticidad es cero. Si esto es cierto para una sección entera y para la longitud de la barra de acero, es imposible que la estructura resista. Si la barra no tiene rigidez, se pandeará bajo cualquier carga de compresión. Lo que ocurre es que esto no es verdad. No es verdad que el cien por ciento del acero de una porción determinada de la barra pase al rango inelástico. Cuando se observa detalladamente un ensayo de

barras de acero, por ejemplo, al examinar las líneas que aparecen en la pintura tipo *whitewash* aplicada a la barra, se ve que solo unas bandas finas de material pasaron al rango inelástico. Estas líneas se conocen como líneas de falla o bandas de Lüders.

Pero, junto a esos signos de inelasticidad, se ve material que sigue siendo elástico. Al medir la deformación a través de esas pequeñas regiones elásticas e inelásticas, se obtiene un promedio que se grafica como un aumento en la deformación sin aumento de la fuerza. Hubo un gran avance en el conocimiento del comportamiento de los elementos de acero en base a las relaciones tensión-deformación reales — más que en base a las curvas de tensión-deformación nominales, a partir del trabajo de investigación realizado en la Universidad Lehigh a fines de los cuarenta y durante la década del cincuenta.

Todo esto forma parte de la reología de los materiales en que se basan los ingenieros al diseñar. El ingeniero debe entender cómo se están comportando sus materiales.

### **El Riesgo de Terremotos Remotos**

**Bertero:** Ayer [2007] me llamaron de la Argentina para consultarme sobre un edificio para un hotel que será construido en la ciudad de Mendoza. Están usando tabiques estructurales acoplados. El diseño se está haciendo en Buenos Aires. Las vigas de conexión son

delgadas, solo tienen unos 25 o 30 centímetros de ancho. Tienen aproximadamente un metro de alto y luces muy cortas. Sabemos que se deberían colocar barras diagonales en la viga para conectarla a cada lado de los tabiques. Esto proviene del trabajo realizado por el Profesor Tom Paulay en los sesenta.

Quienes han estudiado ingeniería sísmica lo saben, pero los ingenieros de Buenos Aires querían aplicar la recomendación de la armadura diagonal inclinando las barras diagonales hasta una posición prácticamente horizontal, porque hay mucha congestión de las barras de acero en esas vigas relativamente delgadas. “No va a funcionar”, dije. “Simplemente, no va a funcionar.” Si el diseñador no entiende por qué las barras de acero deben colocarse de una determinada forma para lograr la ductilidad deseada ante un movimiento sísmico, puede tomar estos atajos que, si no se tiene mucho cuidado, terminan debilitando la estructura. En Buenos Aires, son sordos a estos planteos, no les dan importancia. Simplemente responden: “Los terremotos son un problema del oeste del país, de San Juan y Mendoza, no de Buenos Aires”. Ciertamente hubo terremotos en las zonas de San Juan y Mendoza en 1861, 1894 (el de mayor magnitud) y 1944. El último terremoto en la zona de San Juan fue el de Caucete de 1977. Si la ingeniería sísmica no se enseña bien a nivel universitario, será

difícil que el profesional promedio tenga conocimientos suficientes.

**Reitherman:** Otro edificio de América Latina con tabiques estructurales acoplados que me viene a la memoria es el Banco de América durante el terremoto de Managua (Nicaragua) de 1972.

**Bertero:** Sí, el edificio diseñado por T.Y. Lin. La planta era cuadrada y tenía diecisiete pisos de altura. El sistema sismorresistente es un sistema dual. Es una combinación de un núcleo central de tabiques acoplados de hormigón armado con un pórtico de hormigón armado en el perímetro que funciona como un tubo. El núcleo central cuadrado está compuesto por cuatro tabiques estructurales de hormigón para las escaleras y otros servicios ubicados en las esquinas del cuadrado central. Conectando los cuatro núcleos, había ocho vigas de unión principales sobre los pasillos de circulación. La diagramación era lógica; evitaba la torsión. Y como los núcleos más rígidos resistieron las fuerzas del terremoto y pasaron al rango inelástico, hubo daño, pero controlado. Además, el edificio tenía un sistema doble, por lo que podía reducir las fuerzas sísmicas que se desarrollaban a medida que el periodo se alargaba.

Justo enfrente estaba el Banco Central. Tenía un núcleo en el extremo de un rectángulo largo, así que introducía torsión. Ese edificio se dañó mucho.

En Argentina, aún no se han comprendido plenamente las lecciones del terremoto de Cauçete de 1977. Cauçete (San Juan) está a unos 950 kilómetros (550-600 millas) de Buenos Aires. Buenos Aires es una gran ciudad. Tiene muchísimos edificios de entre diez y doce pisos. Generalmente, los edificios tienen el estacionamiento en la planta baja y hay columnas que sostienen el primer piso donde están los departamentos con tabiques estructurales. Cuando ocurrió el terremoto de Cauçete de 1977 hubo personas que salieron corriendo de esos edificios porteños y los evacuaron. En los últimos pisos los muebles se movían de un lado a otro. A unos 50 kilómetros de allí, un poco más cerca del epicentro, había un gran tanque de agua nuevo para un complejo industrial. Era una estructura de acero en forma de hongo. El tanque colapsó, se abrió y el agua que salía empujó los vehículos estrellándolos contra una fila de eucaliptos. En otras palabras, fue como un tsunami. Pero aún hoy, la Universidad de Buenos Aires no enseña ingeniería sísmica.

**Reitherman:** ¿La distancia entre Buenos Aires y las zonas sísmicas del país, es tan crítica como lo fue para Ciudad de México en 1985?

**Bertero:** Exactamente. La Ciudad de México estaba a 350 o 400 kilómetros de la costa donde ocurrió el terremoto. Sin embargo, colapsaron edificios similares a los que describí al hablar de Buenos Aires. Eran construcciones edificadas

sobre terrenos blandos, sobre el lecho lacustre. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) está construida sobre un suelo más firme, por lo que la gravedad del movimiento fue mucho menor. No se puede trazar una línea alrededor de una zona sísmica y dejar de preocuparse por las zonas que quedan por fuera de la línea. En 1994, por ejemplo, en Bolivia hubo un terremoto con una magnitud superior a ocho que tuvo un epicentro muy profundo y, sin embargo, se sintió en toda América Latina e, incluso, en Estados Unidos. Hay algunas estructuras y algunos lugares que se pueden ver muy afectados por estos terremotos distantes. Sin embargo, la gente parece no percibir el riesgo. En Argentina y otros países es difícil que quienes están alejados de las zonas más sísmicas reconozcan la gravedad del peligro. Aquí, en Estados Unidos, ocurre lo mismo. Fuera del lado oeste, es difícil lograr que los ingenieros se tomen en serio el riesgo sísmico.

En 1957, la Ciudad de México se dañó a causa de un terremoto que fue suficientemente intenso como para hacer colapsar algunos edificios de varios pisos. Sin embargo, la catástrofe no recibió suficiente atención. Ese sismo fue una advertencia. Sucedió casi treinta años antes del terremoto de 1985.

Yo estuve en la Ciudad de México en 2005, para las reuniones que se celebraron con motivo del vigésimo aniversario del terremoto y vi que aún

hay gente muy buena investigando y tratando de llevar más información a los profesionales como, por ejemplo, Jesús Aguirre Cardenas, un profesor de arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### **Las Presiones Económicas en la Selección de los Sistemas Estructurales**

**Bertero:** Por razones económicas, la gente prefiere construir edificios altos con la estructura concentrada en el medio, en los tabiques del núcleo que rodean las áreas de servicio para los ascensores, los ejes de las tuberías, las escaleras, etc. Y quieren dejar las zonas perimetrales abiertas para que entre la luz y tener mejores vistas. Sin embargo, para resistir un sismo, lo mejor sería hacer justo lo opuesto: colocar los elementos estructurales por fuera en vez de concentrarlos en el centro. Lo ideal sería colocar los tabiques estructurales en las esquinas o tener un pórtico sismorresistente alrededor del perímetro o, incluso, ambas opciones. De esta forma, la estructura es más eficiente para resistir la torsión y los momentos de vuelco. Históricamente, dado que, de todas formas, es necesario tener un núcleo y sus tabiques, se terminó con el sistema doble de un pórtico resistente a momento que rodea el perímetro y un núcleo conformado por tabiques estructurales dúctiles en el centro, un sistema básico y redundante que es confiable si se diseña y construye adecuadamente.

Hoy, sin embargo, se están construyendo edificios altos – incluso en una zona sísmica como San Francisco – cuya resistencia lateral al sismo se basa únicamente en los tabiques del núcleo. El perímetro está rodeado por un pórtico de gravedad diseñado únicamente para resistir fuerzas gravitatorias. Ahora tenemos diafragmas que tienen que transferir todas sus fuerzas laterales al núcleo, pero, nuevamente, por motivos económicos, estos pisos son losas de hormigón armado post-tensadas muy delgadas. Estas losas delgadas solamente se apoyan en las columnas perimetrales y en los tabiques del núcleo central y esas conexiones son difíciles de hacer, especialmente por la incompatibilidad de las deformaciones verticales entre las columnas del perímetro y los tabiques del núcleo durante sus deformaciones laterales. A medida que el edificio es sometido a deflexión lateral, hacia adelante y hacia atrás, terminamos con un complejo patrón de tracción, compresión y tensión de corte en el diafragma y el hormigón se fisurará por las tensiones de corte, a la vez que las tensiones por compresión provocan descaramiento y aplastamiento.

Dado que la resistencia a la fuerza lateral de los elementos verticales solo está en los tabiques del núcleo, el uso de un Factor R como 4,5 o 5,5 – como el que permite actualmente el código de edificación – implica un comportamiento inelástico significativo

en esa zona. El Factor R que hace que el diseño sea más económico, también es una señal de daño por fisuras, descaramiento y aplastamiento del hormigón y de que las barras de acero fluirán y se pandearán en las regiones críticas de rotulación plástica, a través de toda la sección transversal de los tabiques del núcleo. Esto puede provocar lo que se conoce como deslizamiento por corte, un problema que no siempre se aborda adecuadamente en la práctica. Recuerde que si una barra de acero se estira de modo inelástico durante un terremoto, solo se recupera una pequeña cantidad de deformación elástica a medida que continua el ciclo de carga y deformación. La barra se alarga. De hecho, mantiene la grieta abierta prácticamente a través de toda la sección transversal comprimida del tabique. Así, a medida que las fuerzas delatan lateralmente al tabique, este empieza a perder los mecanismos de resistencia de reticulado al corte del hormigón armado y el corte, en cambio, es resistido únicamente por la acción de dovola de las barras de armadura vertical que atraviesan las fisuras.

Otro problema es el comportamiento inelástico en las zonas críticas de los tabiques que podría derivar en que el centro de rigidez del núcleo se mueva bastante y, por lo tanto, podría aumentar significativamente la torsión inelástica de todo el edificio. Recuerde que el perímetro, la zona donde la resistencia a la torsión sería más

efectiva, no se ha vinculado al sistema para resistir las fuerzas laterales.

El típico problema del diseño sismorresistente con hormigón armado es poder construir, efectivamente, lo que se ha diseñado. Hay una tendencia a usar la menor cantidad de hormigón posible y tener losas más delgadas, por ejemplo. Sin embargo, el cálculo puede requerir una gran cantidad de refuerzo, especialmente en conexiones críticas. Esto puede presentar un gran desafío para el contratista: colocar el hormigón armado con precisión justo en el lugar necesario, como para hacer encajar las barras, pero dejando una separación mínima para colar el hormigón. Dibujar la barra de refuerzo en la computadora es fácil, pero construirla en forma adecuada no lo es tanto y, a fin de cuentas, el diseño solo sirve si se plasma en la forma de construir.

En el laboratorio del MIT, mientras cursaba mis estudios de posgrado ensayando vigas y tabiques, pedía una mezcla específica para tener hormigón de 28 MPa. A veces, la hormigonera mandaba hormigón de 35 MPa. Yo les explicaba que necesitaba hormigón de 28 MPa porque los modelos estaban diseñados para ese valor y ese era, justamente, el objetivo del ensayo. “¿De qué se queja?”, respondían, “le estamos ofreciendo mayor resistencia”. Lo mismo pasa en la construcción de edificios reales. Recibir materiales más resistentes de lo que se ha asumido puede afectar el comportamiento de la

estructura negativamente, puede modificar la ubicación de las regiones plásticas y reducir la ductilidad asumida por el ingeniero o el código.

El suministro de materiales de construcción con una resistencia mayor a los supuestos de diseño no es un problema de esta época solamente. En Argentina, de 1950 a 1953, cuando tenía mi consultora (Weder-Bertero), había escasez de acero. Una empresa empezó a producir barras de acero torsionadas. La barra era sometida a una torsión tal que la deformación alcanzada la endurecía. La empresa estaba muy orgullosa del producto porque tenía una mayor resistencia de fluencia, pero ya habían utilizado parte de la ductilidad física original en la que yo deseaba confiar para mis estructuras.

### **Interacción Estructura-Suelo/Estructura Adyacente**

**Bertero:** Además del impacto lateral entre edificios o la posibilidad de que un edificio colapse sobre otro, en las zonas urbanas existe otro problema relacionado con la adyacencia o la proximidad entre estructuras. Tendemos a analizar la interacción suelo-estructura de los edificios a construir como si fuesen a ser construidos en el medio de un gran campo baldío, cuando, en realidad, estarán rodeados por otros grandes edificios sujetos a una interacción suelo-estructura. El ingeniero que analiza esos edificios también lo hace en forma aislada, sin

considerar los efectos probables que la respuesta de los edificios cercanos puede tener sobre el edificio a construir. El movimiento del edificio adyacente lo hará interactuar con el suelo y, por lo tanto, afectará el movimiento del suelo con que tendrá que interactuar nuestro edificio. Hoy, un ingeniero sismólogo y/o geotécnico calcula el mismo movimiento de suelo para cada uno de los edificios en una zona urbana sin considerar que la interacción suelo-estructura de cada uno de los demás edificios afecta ese valor de movimiento que están calculando.

**Reitherman:** ¿Se podría establecer una analogía con un bote que, al ponerse en movimiento, interactúa con el agua que lo rodea haciendo mover el agua y, luego, haciendo mover al bote que está amarrado junto a él?

**Bertero:** Sí, los edificios adyacentes afectan el movimiento del suelo. El movimiento de las fundaciones de un gran edificio que se mece imparte su propio movimiento al suelo sumándose al movimiento original proveniente del terremoto.

**Reitherman:** ¿Qué se podría hacer para tener en cuenta la interacción suelo-estructura a escala urbana, especialmente si no sabemos qué se construirá en el lote de al lado en el futuro? Cuando se diseña para viento, por ejemplo, existen distintas categorías de exposición. La categoría B se aplica a los lugares donde la fuerza del viento se

ve aminorada por los edificios y los árboles aledaños, la C cuando esto ocurre en menor medida y la D cuando en los alrededores no hay nada. ¿Le parece posible hacer una zonificación de este tipo en las zonas urbanas, como para dar cuenta de los efectos de la interacción suelo-estructura que rodean un edificio?

**Bertero:** Es un problema muy complejo. Solucionarlo requeriría la cooperación y la colaboración de expertos de diversas áreas de la ingeniería sísmica — sismólogos, ingenieros geotécnicos, ingenieros estructurales y expertos en planificación urbana. Hay que hacer algo para cambiar la práctica actual que se basa, únicamente, en especificar los movimientos del suelo del terremoto de diseño en base a registros obtenidos en campo libre. Este enfoque descuida los efectos de la interacción suelo-estructura que se pueden dar en las manzanas de una ciudad llena de edificios con características mecánicas totalmente diferentes y fundaciones a distintas profundidades. Tomemos el ejemplo de un edificio de dos o tres pisos con fundaciones prácticamente al nivel del suelo. Imaginemos que este edificio está rodeado por otros más altos con varios niveles de estacionamiento subterráneo. ¿Cuál debería ser el movimiento de suelo provocado por el terremoto para ser utilizado en el diseño de estos edificios? ¿Debería estar basado en registros de campo libre, como se hace habitualmente? Yo creo que no. Hay que considerar los efectos de la interacción

suelo-estructura de cada uno de los edificios, pero también los efectos que dicha interacción puede tener en todos los edificios aledaños. Entiendo que el Profesor Jonathan Stewart de la Universidad de California en Los Ángeles y el Profesor Jon Bray de la Universidad de California en Berkeley han empezado a investigar los efectos de este tipo de interacción.

**Reitherman:** ¿Podría dar un ejemplo de lo que sería una buena y una mala combinación en cuanto a la interacción suelo-estructura y su efecto en la respuesta del edificio?

**Bertero:** Cuando se piensa en un edificio en forma aislada, en general se considera que la interacción suelo-estructura es algo bueno. El amortiguamiento de la radiación, por ejemplo, como cualquier otro tipo de amortiguamiento, reduce la respuesta de la estructura. Pero tomemos el caso que mencioné anteriormente de edificios altos con varios niveles subterráneos alrededor de una estructura de dos o tres pisos. ¿A dónde irradia la energía desde los tabiques perimetrales y las fundaciones? Irradia alejándose de las fundaciones y los tabiques del edificio hacia las fundaciones enterradas de los edificios contiguos. Los edificios altos con períodos largos pueden dañar a los más bajos. Deberíamos haber aprendido más sobre este problema y aplicar lo aprendido a partir del terremoto de Ciudad de México de 1985.

## Diseño para Réplicas

**Bertero:** Deje que le cuente otra lección sobre el movimiento de suelo que deberíamos haber interiorizado a partir de dos grandes sismos: Chile 1960 y México 1985. Creo que Allin Cornell ha empezado a investigar este problema, pero los códigos, la mayoría de los estudiosos de la sismología de grandes movimientos y los ingenieros profesionales no consideran el hecho de que los edificios sometidos a grandes sacudidas durante un terremoto posiblemente también estén sometidos a grandes réplicas. De hecho, el terremoto de Ciudad de México de 1985 no fue un único suceso. Incluso antes de pensar en las réplicas, lo que se conoce como el movimiento principal también puede consistir en múltiples deslizamientos con pocos segundos de separación entre uno y otro; movimientos de suelo que se superponen. Las réplicas del terremoto de Chile de 1960 fueron muy fuertes. Sin embargo, incluso hoy, el sismólogo y/o el consultor en geotécnica le siguen dando al ingeniero un terremoto de diseño que representa solo la parte principal de lo que podría ser un terremoto formado por varios movimientos.

**Reitherman:** ¿Qué enfoque de diseño sugeriría usted? Hay un enfoque de diseño, que ya lleva varios años, que sugiere hacer un diseño en dos niveles. Por un lado, se considera un sismo menos intenso y de mayor frecuencia y se busca que el edificio lo resista

principalmente en forma elástica y; por el otro, se hace un análisis diferente para el sismo mayor, con la estructura movilizandole su ductilidad disponible. ¿Usted propondría un análisis complementario de dos pasos, uno para el terremoto principal, por un lado, y otro para la o las réplicas? Es decir, que se analice la estructura intacta en función del movimiento más intenso y, luego, la estructura ya dañada en función de una o más réplicas. No solo modificaría los terremotos de diseño, sino el modelo estructural para considerar la deformación y el daño residual experimentado.

**Bertero:** Sí, hay que considerar los cambios en las características mecánicas del modelo utilizado a partir del daño que ya ha ocurrido. Esta preocupación es la que dio origen al actual interés por los sistemas estructurales que pueden volver a centrarse y recuperarse tras un sismo, como las columnas pre-comprimidas que después de mecerse vuelven a su posición original. El desafío es diseñar no solo la estructura sino todo el sistema edilicio con suficiente resiliencia hiperelástica para evitar deformaciones residuales.

Hace poco, aquí en el simulador sísmico de la Estación de Richmond, se hizo un ensayo de columnas pre-comprimidas que representaban parte de un viaducto. Tras la primera simulación del movimiento sísmico — un movimiento máximo creíble, según el código —, el daño parecía aceptable. Sin embargo,

cuando, posteriormente, se las sometió a un movimiento de menor intensidad, las columnas colapsaron. Usted recordará que hubo que llevar una grúa al laboratorio para poder sacar el modelo. El buen desempeño de las columnas durante el primer terremoto no era garantía de que pudiesen resistir un segundo movimiento, ni siquiera uno de menor intensidad.

### **Factores R**

**Bertero:** El código de construcción especifica un factor de reducción constante o factor R independiente del periodo de la estructura, lo cual no tiene sentido. Además, en general, se ha considerado que este representa los beneficios de reducir la resistencia elástica requerida debida al efecto de ductilidad porque la razón de ductilidad,  $\mu$ , frecuentemente se considera equivalente a la ductilidad física, lo cual no es cierto.

**Reitherman:** ¿Cuál es la diferencia entre ductilidad física y una razón de ductilidad?

**Bertero:** Tomemos un caso simple: dos edificios idénticos que tendrán prácticamente la misma masa reactiva. Se construirán muy cerca uno del otro, por lo que asumimos las mismas condiciones de suelo y el mismo espectro de diseño. Supongamos que el espectro tiene la misma demanda máxima en el periodo que va de 0,25 a 0,50 segundos. Supongamos que se decidió usar el mismo sistema

estructural, pero con diferente rigidez lateral. La estructura más rígida tiene un periodo de vibración,  $T_1$ , de unos 0,25 segundos. En la estructura menos rígida,  $T_2$ , el periodo equivale a 0,50 segundos – lo que indica que es cuatro veces más flexible que la otra, porque si la masa se mantiene constante, el periodo varía en forma inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la rigidez. De esto se sigue que la deformación lateral de fluencia para la estructura más flexible es cuatro veces mayor a la de la estructura más rígida. No obstante, la razón de ductilidad,  $\mu$ , de la cantidad de deformación al límite último de deformación comparada con la deformación de fluencia puede ser cuatro en ambos casos.

El desarrollo de la ductilidad física conduce al daño de la estructura. A mayor ductilidad física, más daño. Para controlar el nivel de daño, debemos controlar la cantidad de ductilidad física. Sin embargo, aquí tenemos un caso donde la razón de ductilidad,  $\mu$ , es igual para ambas estructuras, mientras que la ductilidad física y, por lo tanto, el daño, es cuatro veces mayor para la estructura con el periodo más largo. Esto puede engañar al diseñador. El factor R es igual para ambas estructuras, la  $\mu$  o la razón de ductilidad es la misma, pero el nivel de daño esperado difiere considerablemente.

Cuando alguien habla de ductilidad, hay que preguntarle a qué se refiere exactamente y lo mismo se aplica al

factor R. Debemos preguntarnos qué entendemos exactamente por factor R. El código debe ser simple, es cierto, pero también debe ser confiable.

Cuando se desarrolló ATC 3-06 (ATC 3-06 estaba prácticamente listo en 1975), yo tenía mis reservas respecto del concepto de factor R que se desarrolló en ese proyecto. En diseño sismorresistente, cuando uno escucha la palabra “equivalente” hay que analizar cuidadosamente a qué se refiere. Es cierto que una estructura puede desarrollar su ductilidad y amortiguamiento para resistir fuerzas de un terremoto que parecerían excesivas en un contexto elástico. Sería bueno tener un análisis simple del comportamiento elástico que sea equivalente al comportamiento inelástico real. Al aumentar el amortiguamiento en el análisis elástico, se reducen las fuerzas calculadas. Pero hay que entender el comportamiento físico; no se trata de combinar distintos factores para obtener los resultados que queremos. No se puede decir que el amortiguamiento es “equivalente” solo porque ajusta las fuerzas calculadas para reducirlas aproximadamente al rango adecuado en comparación con la capacidad de la estructura.

Al observar las ecuaciones de energía, hay amortiguamiento viscoso (*fluid damping*), pero también hay amortiguamiento dependiente de la velocidad – son dos cosas distintas. Un análisis de *push-over* no incluye

velocidad, pero sí incluye condiciones para el amortiguamiento. Un análisis de *push-over* es un análisis del tipo no lineal estático donde se asume que la estructura experimenta una deriva determinada, como si la *empujaran* y el comportamiento de los componentes de la estructura se compara con ese nivel de movimiento. En un análisis *push-over* el ingeniero busca seleccionar valores de amortiguamiento para que la fuerza total sea la apropiada, pero debería poder darse cuenta cuándo los métodos de cálculo se están alejando del comportamiento real de la estructura.

### Ingeniería versus Economía

**Bertero:** Suele haber un conflicto entre alcanzar un alto nivel de tenacidad y resiliencia hiperelástica, por un lado, y mantener un nivel de costos bajo, por el otro.

Claramente, cada edificio es diferente y hay que analizar este dilema caso por caso. En los años setenta, empecé a observar los edificios ubicados en la zona de la Bahía de San Francisco y advertí que había un patrón que se repetía. Ante un terremoto, no me preocupaban los edificios bajos ni los más altos, sino los de mediana altura, los de cuatro, cinco, seis o hasta ocho pisos, tal vez. Muchos de esos edificios se habían diseñado como se diseñaba cualquier otro tipo de producto, con un objetivo meramente comercial. Pasa mucho con los condominios, por ejemplo. En general, quienes diseñan

esos edificios no se avocan al diseño como cuando diseñan edificios corporativos o gubernamentales, es decir, edificios que pertenecerán al mismo dueño o a la misma empresa por décadas o hasta un siglo. La economía y la ingeniería pueden entrar en conflicto. Se puede bajar el costo inicial, pero, ante un sismo, los costos escalarán de golpe cuando haya que reparar o reemplazar el edificio. Los desarrolladores no conservan mucho tiempo los edificios que construyen y, por lo tanto, no serán ellos quienes paguen los daños provocados por los terremotos que puedan ocurrir en el futuro. Lo único que les interesa, por lo tanto, es aminorar su costo inicial.

Actualmente, en varias ciudades, existe una tendencia a construir condominios de edificios altos. Se genera un conflicto entre los intereses comerciales y el trabajo de ingeniería para protegerlos adecuadamente ante posibles terremotos.

Otro problema es la presión económica que aqueja a los consultores profesionales. Lo que posibilitó el desarrollo del proyecto ATC 3-06 fue la gran cantidad de tiempo aportado, voluntariamente, por varios ingenieros. Ese tipo de proyecto hoy es impensable. Los consultores están bajo una gran presión competitiva. No pueden darse el lujo de colaborar en proyectos sin fines de lucro.

## Diseño Basado en Desempeño

**Reitherman:** En teoría, el diseño basado en desempeño es una técnica para diseñar un edificio o una estructura como para que pueda satisfacer cualquier nivel de desempeño, desde cumplir con un objetivo mínimo (ej. evitar el colapso) hasta evitar daños menores. En la práctica, no obstante, tanto los investigadores como los profesionales que hacen diseño sismorresistente basado en el desempeño buscan – y, cada vez más, logran – prometer diseños sismorresistentes capaces de alcanzar objetivos muy altos de manera previsible – como, por ejemplo, mantener el estado funcional del edificio y un nivel de reparación nominal. Más allá del costo extra que supone alcanzar un mayor nivel de desempeño, ¿qué opina de las complejidades analíticas que implica predecir esos mayores niveles de desempeño?

**Bertero:** Creo que no hay muchos diseñadores capaces de hacer buen diseño basado en desempeño, diseño confiable. En 1995, calculé que llevaría unos 15 años alcanzar ese objetivo. En 2002, cuando revisé el trabajo realizado sobre este tema por el Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER), volví a calcular que serían necesarios otros 15 años para alcanzar ese objetivo. No se puede cambiar la profesión de un día para el otro. El diseño de base elástica con un buen detalle y ductilidad puede ofrecer

una seguridad estructural confiable, pero no es lo mismo que predecir exactamente cómo se va a comportar todo el sistema del edificio.

Se puede pedir al ingeniero a diseñador que seleccione cuatro o cinco niveles de movimientos sísmicos con sus correspondientes niveles de deformación, por ejemplo. Se complica, pero, aun así, sigue siendo un atajo. Es necesario elevar considerablemente el nivel de conocimiento de la profesión.

## Probabilidad

**Reitherman:** Usted dijo que es necesario que los estudiantes de ingeniería se familiaricen con los materiales en el laboratorio de ensayos. ¿Brindarles ese tipo de experiencia también implica ayudarlos a comprender el nivel de incertidumbre relacionado con la capacidad de las estructuras que diseñan?

**Bertero:** El espectro de diseño encierra incertidumbres. El terremoto que sacuda el edificio puede ser muy diferente a lo esperado. El espectro de diseño es un cálculo aproximado, no una predicción exacta. Hay incertidumbre en el comportamiento dinámico de los diferentes componentes de la estructura en su conjunto y sus conexiones. También hay mucha incertidumbre en cuanto al comportamiento de los elementos estructurales del sistema, y todo lo que está dentro del edificio también es muy importante.

Cuando empecé a dictar *Hormigón Armado* en la universidad, les hacía ensayar tres pequeñas vigas a los alumnos. Tenían que diseñar las vigas, hacer la armadura y el encofrado, diseñar la mezcla del hormigón y prepararlo combinando los distintos ingredientes para, luego, colarlo y curarlo. Los alumnos ya habían cursado una materia de materiales de ingeniería estructural, pero yo sentía que, para poder aprender a diseñar con hormigón armado, debían saber cómo pueden cambiar las propiedades del material. Un pequeño cambio en la precisión del encofrado, por ejemplo, puede afectar la resistencia. Este enfoque les permitía ver más claramente el origen de las incertidumbres del diseño.

Primero, tomaban muestras de los materiales y los ensayaban. Después de armar las vigas, las ensayaban para cargas muy concentradas y predecían su respuesta. La respuesta era en función de las fuerzas en la viga versus cargas estáticas aplicadas lentamente. Tenían que considerar los diferentes niveles de deformación o daño que soportarían las vigas: primera fisura por flexión, primera fisura por corte diagonal, primera respuesta por fluencia del acero de la armadura, primer descascaramiento del hormigón, deformación a la máxima fuerza de resistencia y deformación máxima al inicio del colapso. Debían presentar un informe final donde demostraran que habían aprendido a comparar los

predictores analíticos con los comportamientos observados.

Me preocupa mucho cómo se están construyendo los exteriores de los edificios. No quisiera que un terremoto me sorprenda caminando por las veredas de San Francisco. En la estructura, reconocemos la necesidad de redundancia: ¿Qué pasa si falla esta columna o aquella? Algunos paneles de los revestimientos han sido colocados por mecanismos con muy poca redundancia y pocas conexiones. No se han realizado suficientes ensayos del comportamiento de los paneles y los vidrios de las esquinas. Hay que prever que habrá desplazamiento en la esquina del edificio y que el desplazamiento a lo largo de un lado del edificio será incompatible con el desplazamiento del otro lado.

### **Análisis Sísmico Basado en Energía**

**Reitherman:** Los ingenieros casi siempre calculan las cargas sísmicas en unidades de aceleración por masa. Pero, en 1956, George Housner formuló claramente la base energética de la respuesta sismorresistente de una estructura en su nivel más fundamental: "El efecto del movimiento del suelo es llevar energía a la estructura. Parte de la energía se disipa por un efecto de amortiguamiento y el resto se almacena en la estructura como energía cinética (el movimiento de la masa) y como energía de deformación (la deformación de los elementos de la estructura). Si la

estructura está diseñada como para que pueda haber deformaciones permanentes sin que falle ningún elemento, entonces, en cualquier momento, la suma de la energía cinética, la energía de deformación, la energía adicional disipada por el amortiguamiento normal y la energía disipada a través de la deformación permanente será igual a la energía total de entrada.”<sup>52</sup>

Al pensar en las primeras investigaciones sobre el uso de la energía como parámetro esencial del diseño sismorresistente, siempre surge su nombre y el de Housner. ¿Cómo llegó a estudiar ese concepto?

**Bertero:** El Profesor Housner era un adelantado. Se puede hacer una conversión directa de la ecuación de movimiento a la ecuación de energía para tener el panorama completo. A veces, los profesionales dicen, erróneamente, que el comportamiento plástico equivale al amortiguamiento. En el método *push-over*, conceptualmente, es importante saber que hay una cierta cantidad de energía que se disipa y es importante saber cómo ocurre.

En diseño sismorresistente hay dos formas de innovar. Una es tratar de comprender el comportamiento plástico – la ductilidad real, no la razón

de ductilidad, como ya expliqué anteriormente; la otra es comprender el amortiguamiento. O se reduce la respuesta a través del comportamiento dúctil del material o a través del amortiguamiento (ej. añadiendo dispositivos de amortiguamiento). Son dos conceptos diferentes que se basan en comprender el comportamiento real de la estructura. Actualmente, el nivel de comprensión es inferior porque las facultades de ingeniería tienen menos práctica de laboratorio. Una deformación que se aplica lentamente difiere de una que se aplica rápido. El concepto de la energía lo explica claramente. Aplicar factores R con fuerzas de nivel elástico no es realista.

**Reitherman:** ¿Cuándo empezó a investigar la energía como concepto central?

**Bertero:** Mi segundo alumno de doctorado fue James Anderson. Actualmente, es profesor en la Universidad de California del Sur. Jim terminó su doctorado en 1969, así que fue en esa época. Él ha seguido trabajando sobre esa línea de investigación.

**Reitherman:** ¿Cree que el método de diseño sismorresistente basado en energía evolucionará y que los

---

<sup>52</sup> Housner, George, “Limit Design of Structures to Resist Earthquakes”, *Actuaciones de la Conferencia Mundial en*

*Ingeniería Sísmica*, junio de 1956. Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, Oakland, California, 1956, p. 5-4.

profesionales lo aplicarán en forma generalizada?

**Bertero:** Sí, con el tiempo. Tendrá que evolucionar como para ser muy efectivo porque los profesionales de hoy están bajo muchas presiones de competitividad. Las consultoras necesitan resolver los diseños más rápido. Empezar un cambio de

método siempre implica más trabajo que hacer lo que estamos acostumbrados a hacer.

Desafortunadamente, lo que no está en el código no se hace. Hay que formar a los profesionales en los nuevos métodos y luego, gradualmente, se irán poniendo en práctica.

## Capítulo XI

# La Familia y los Amigos

*En la Argentina, estábamos acostumbrados a que los padres tuvieran mayor control sobre sus hijos. No sé si era mejor o peor, pero, ciertamente, en Berkeley, nos encontramos con un mundo muy diferente.*

**Reitherman:** En distintos puntos del relato ha nombrado a varios miembros de su familia, pero ¿podría decirme, nuevamente, los nombres de sus hijos para este capítulo sobre la familia?

**Bertero:** Con Nidia tenemos seis hijos. La mayor es María Teresa, le decimos Teresita. Trabaja para el Senado Académico de la Universidad de California en la sede principal de Oakland que une todos los campus. Luego, le sigue Edward, a quien le decimos Eduardo. Él estudió administración de empresas y trabaja en el sector del reaseguro. María Teresa y

Edward ya habían nacido cuando nos mudamos de Argentina a Massachusetts para que yo estudiara en el MIT.

El tercero es Robert. Robert tiene una maestría en salud pública y es un experto en para-medicina. Mary Rita estudió administración de empresas. Adolf tiene una maestría en educación pública. Richard, el menor, cursó algunas materias de ingeniería, pero, finalmente, ninguno optó por la ingeniería. Todos cursaron sus estudios universitarios en Estados Unidos.

Ahora tenemos diez nietos y un biznieto. Mi esposa les dedica mucho tiempo.

**Reitherman:** ¿Cómo eran sus vacaciones familiares?

### **Un Año en Italia, Vacaciones**

**Bertero:** De 1964 a 1965 tuve un año sabático. Lo pasé en Europa, con mi familia. Hicimos base en Italia, ya que fui a trabajar con el Profesor F. Levi, el Director del Instituto de Ciencias de la Construcción de la Universidad de Venecia, la *Università Ca' Foscari Venezia*. El Profesor Levi estaba trabajando en la fluencia lenta del hormigón, la reología de los materiales – un tema que me interesaba. En 1964, durante el Simposio Internacional del ACI y el ASCE sobre Mecánica de Flexión del Hormigón Armado que se celebró en Miami, Florida, conocí al Profesor Giorgio Macchi. Macchi estaba trabajando con el Profesor Levi en la redistribución de los momentos en las estructuras de hormigón armado derivadas de su comportamiento inelástico. El Profesor Macchi me ayudó para que el Profesor Levi aceptara que lo acompañara en su trabajo durante un año, en Venecia.

Uno de los asistentes del Profesor Levi me llevó a ver varios edificios de Venecia con departamentos en alquiler. Los edificios eran bellísimos. La mayoría habían sido palacios; tenían murales pintados en el cielo raso y las paredes. Sin embargo, cuando mi esposa veía los baños y las cocinas... Nos dimos cuenta

de que sería muy difícil vivir ahí con nuestros seis hijos, así que terminamos alquilando un departamento en un edificio nuevo en Vicenza, a cuarenta minutos en tren de Venecia. Yo tomaba el tren a Venecia todos los días. Creo que el asistente del Profesor Levi nos creyó incapaces de apreciar el arte y la arquitectura. Yo le expliqué que, en Estados Unidos, no teníamos empleada doméstica. Mi esposa se ocupaba de la casa y de los niños y necesitaba vivir en un lugar que le facilitara esas tareas.

**Reitherman:** La estación de trenes de Venecia termina en la orilla del agua. Cuando llegaba a la estación, ¿iba a la Universidad caminando, cruzando por los pequeños puentes, o tomaba el *vaporetto* para ir por los canales?

**Bertero:** Si estaba apurado tomaba la embarcación. Costaba 100 liras. Un día el barquero quiso cobrarme 500 liras, pero, cuando le respondí en italiano, se dio cuenta de que yo sabía que intentaba estafarme. Eso era lo que no me gustaba de vivir en Italia. Con mi esposa, cada vez que íbamos a una tienda a comprar ropa para los niños, los vendedores esperaban que regateáramos los precios. Nunca sabíamos cuál era el verdadero precio de las cosas.

Desde Italia, viajé a visitar a algunos miembros del cuerpo docente de la Universidad de Cambridge, los Profesores J.F. Baker, M.R. Horne y Jacque Heyman, expertos en acero. Fuimos a almorzar al sector de

profesores. ¡No podía creer lo que veía!  
Tuve que pedir prestada una toga.

**Reitherman:** ¿Necesitaba un atavío más elegante que un traje y una corbata para ir a almorzar?

**Bertero:** Sí, era un ambiente muy conservador. Para sentarse a la mesa, había que esperar el momento indicado por el protocolo. ¡En 1967, las cosas eran muy diferentes en Berkeley!

Fuimos a Torino, o Turín, el lugar de origen de mi familia paterna, y al pueblito donde nació mi abuelo. Esto es en el Piamonte italiano. Nada había cambiado en esos pueblitos de Italia. Los domingos, las mujeres iban a la iglesia y los hombres a los bares a jugar a las cartas y a las bochas. Me recordaba a las costumbres argentinas, ya que los inmigrantes italianos habían llevado esas prácticas con ellos al emigrar. También visitamos a los parientes de mi abuelo materno que vivían en la casa donde nació mi abuelo. La casa quedaba en un pueblo cerca de la frontera entre Italia y Yugoslavia, cerca de Udine y Trieste. Incluso entonces, la gente se adentraba en la montaña y volvía cargada con enormes cantidades de leña para prepararse para el invierno.

Ese año, con mi familia, recorrimos toda Italia: sur, norte, este y oeste. Creo que fue una experiencia muy constructiva para mis hijos. Aprendieron mucho y algunos cambiaron su forma de pensar la escuela. Comprendieron la importancia de aprender idiomas. Los

dos mayores, Teresita y Eduardo, hablaban italiano bastante bien.

En 1971 y 1972, cuando me nombraron Consultor Técnico Jefe de la misión de la UNESCO en el IISEE (Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica), en Japón, parte de la familia viajó conmigo. Fue otra experiencia muy interesante e instructiva para ellos. Mis tres hijos mayores se quedaron en Estados Unidos porque ya estaban en la universidad.

Estando aquí, en Estados Unidos, generalmente, nuestras vacaciones consistían en tomarnos una semana para ir a Yosemite o al lago Tahoe o, a veces, a México o Canadá.

### **La Vida en Berkeley**

**Reitherman:** Además del año que pasó en Italia y su viaje a Japón, desde que se incorporó al cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley, ha vivido en Berkeley, ¿no es así?

**Bertero:** Sí. En los sesenta, en Berkeley, se consumía mucha droga en las escuelas públicas. Para evitar ese ambiente, enviamos a nuestros hijos a la Escuela de Madeleine y a secundarios católicos, en Berkeley. En Argentina, estábamos acostumbrados a que los padres tuvieran mayor control sobre sus hijos. No sé si era mejor o no, pero, ciertamente, en Berkeley, nos encontramos con un mundo muy diferente.

Para quien no vivió en Berkeley antes de que se produjeran los grandes cambios políticos de los sesenta, es imposible imaginar lo que era la Avenida Telegraph en esa época. Era una calle muy agradable para recorrer en familia. Mi esposa llevaba a los amigos que venían de visita a tomar un café y recorrían los locales de la avenida. No sé

si a otro nivel el cambio fue positivo o no, pero para los niños fue negativo. Éramos muy estrictos con los lugares a los que podían ir. Cuando me pedían permiso para ir a un baile o una fiesta, siempre les preguntaba con quién iban. Cuando eran más jóvenes, si no conocíamos a sus compañeros de salida, no los dejábamos salir.

## Capítulo XII

# Diálogo con Ex Alumnos

*Me alegra ver que todos se han convertido en líderes. Por ello, confío en la generación que ustedes han formado. Ellos darán continuidad al trabajo.*

[El 28 de abril de 2008, un grupo reducido de ex alumnos del Profesor Bertero se reunió en el Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica de Richmond de la Universidad de California en Berkeley, para tener una charla informal como parte de este proyecto de Relatos].

### James Anderson

**Anderson:** Llevaba más o menos un año de cursar mis estudios de posgrado en Berkeley cuando conocí al Profesor

Bertero. Tomé su curso de cargas dinámicas; todo un clásico.<sup>53</sup> Cuando llegó la hora de elegir a un director de tesis, pensé en él y, finalmente, fui a buscarlo. En aquella época, él estaba en una de las oficinas del fondo del edificio de madera del Departamento de Arquitectura, en el lado norte del campus. Había que atravesar uno o dos pasillos, un gran salón de clases y una galería vidriada para encontrar al

---

<sup>53</sup> James Anderson fue alumno de doctorado del Profesor Bertero de 1966 a 1969. El tema de su tesis fue Comportamiento Sísmico de pórticos de varios pisos diseñados según filosofías diferentes. Su tesis fue publicada en el Informe 69-11 del EERC, U.C. Berkeley.

Actualmente, James Anderson es profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Sur de California.

Profesor Bertero tras una gran pila de libros.

Después, se mudó a Davis Hall. Recuerdo haber pasado mucho tiempo afuera de esa oficina, esperando mi turno para verlo. Teníamos que reunirnos con él una vez por semana. Prepararnos para esa reunión nos mantenía motivados. Yo no soy tan exigente con mis alumnos.

La idea de mi tesis era analizar distintas técnicas de diseño sismorresistente. En ese entonces, el método estándar era el método del código, basado en las tensiones admisibles. Luego, había un método que usaba el análisis plástico y otro basado en el peso mínimo, que derivó en el diseño basado en energía. Uno de los mejores métodos era el que llamábamos diseño de columna fuerte-vida débil. Usé un viejo software, desarrollado originalmente por los profesores Ray Clough y Ed Wilson, creo, para analizar algunos de los edificios dañados por el terremoto de Alaska de 1964. Le hice algunas modificaciones para adaptarlo a un tipo de análisis más general. Hicimos bastante análisis no lineal.

**Reitherman:** ¿Entonces, usted, se abocó al diseño basado en energía durante su doctorado? ¿El tema que ha seguido profundizando hasta la actualidad?

**Anderson:** Sí, pero, en mi doctorado, la parte dedicada al enfoque basado en energía fue mínima. Usábamos ecuaciones de balance energético. No

para diseñar, sino para verificar el análisis y garantizar que no se fuera por las nubes. Tratábamos de llevar un registro de las cantidades de energía y de equilibrarlas. Difiere un poco de lo que hacemos hoy.

Creo que es poco probable que los enfoques basados en energía se implementen en la práctica a corto plazo, pero sí está creciendo la cantidad de investigadores que se dedican a esa área, especialmente desde el 2000, aproximadamente. Es un método que presenta varias ventajas. Por ejemplo, permite dar cuenta de la duración.

**Reitherman:** Al empezar a dar clases en la Universidad de California del Sur, ¿aplicó métodos “berterescos” en el aula?

**Anderson:** No sé si existe alguien capaz de hacerlo... Sería muy difícil tratar de imitarlo. Pero sí impuse una de sus técnicas. Bertero solía entregar sus propios apuntes a la clase. Él tuvo que luchar con los viejos mimeógrafos. Yo hago lo mismo en mis clases, pero tengo acceso a una buena fotocopidora que no me hace perder tiempo. Otra técnica suya que he implementado es tener siempre a mano una lapicera roja. [Risas. Anderson saca una lapicera roja del bolsillo de su camisa]. El Profesor Bertero es conocido por usar tinta roja para corregir o hacer anotaciones en sus transparencias.

**Reitherman:** Jim, usted estuvo en la universidad mientras Helmut

Krawinkler hacía su posgrado. ¿Lo conoció?

**Anderson:** ¡Claro que sí! Pasamos mucho tiempo juntos esperando en el pasillo [risas].

### **Helmut Krawinkler**

**Krawinkler:** Llegué a Berkeley en 1966.<sup>54</sup> Durante los primeros seis meses, aproximadamente, no tuve contacto con el Profesor Bertero. Después, me inscribí en el curso de dinámica del Profesor Clough, pero resultó ser que, ese año, lo dictaba el Profesor Bertero. Llegué puntual — lo cual resultó ser un grave error, porque si uno llega puntual a una clase de Bertero, llega tarde. A la hora exacta de inicio, el pizarrón — un gran pizarrón negro — ya estaba todo lleno, de punta a punta, con diagramas y palabras escritas con tiza blanca en letra diminuta. Uno empezaba a copiar todo inmediatamente, pero, a la hora prevista para el inicio de la clase, Bertero empezaba a hablar, por lo que también había que tomar apuntes de sus explicaciones y era imposible seguirle el ritmo.

Ese fue mi primer error: llegar puntual a una clase del Profesor Bertero. Mi segundo error — que no fue realmente un

error, pero muchos de mis compañeros, en ese momento, lo consideraron un *gran* error — fue tomar una ayudantía con el Profesor Bertero. “Te hará trabajar hasta que mueras,” me decían. Por fortuna, logré sobrevivir. Mis amigos también me habían dicho que Bertero elevaría mucho la voz al hablarme y me asustaría. Descubrí que la forma de manejar la situación ante asuntos sin importancia era dejarlo gritar; y, si era algo realmente importante, le respondía gritando yo también. Resultó ser una buena relación.

Como contó Jim Anderson, pasamos mucho tiempo juntos en el pasillo esperando nuestro turno para ver al Profesor Bertero. Parte de estas largas esperas se debían a que Bertero siempre llegaba tarde. Estaba acostumbrado a los tiempos de América Latina, tiempos muy alejados del concepto de puntualidad [risas].

Tuve la gran suerte — aunque mis compañeros creyeron que era otro gran error — de ser asistente de investigación de dos profesores: primero, del Profesor Bertero y, luego, del Profesor Popov — mi segundo asesor.

Estos dos profesores tenían una relación muy interesante. Profesor Bertero, ¿me

---

<sup>54</sup> Como estudiante de posgrado, Helmut Krawinkler fue asistente de investigación para los profesores Bertero y Egor Popov de 1967 a 1971. Terminó sus tesis de doctorado en 1971, la cual se publicó como informe del EERC 71/07, *Inelastic Behavior of Steel Beam-to-Column Subassemblages*, con Vitelmo V.

Bertero y Egor Popov como co-autores. Luego, hizo un año de trabajo posdoctoral, nuevamente con los profesores Bertero y Popov. Helmut Krawinkler es Profesor Emérito del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Stanford.

permite contar una anécdota? Bueno, en realidad, es algo que pasó varias veces. Ambos tenían una personalidad muy fuerte, pero eran muy distintos y, a veces, no se llevaban bien. Se suponía que yo era un estudiante de doctorado, pero, a veces, también hacía de “consejero matrimonial.” El Profesor Popov, me decía “Dígale al Profesor Bertero que esta investigación debe hacerse de este modo.” Entonces, yo iba a hablar con el Profesor Bertero, quien respondía “Dígale al Profesor Popov que tenemos que hacerlo así.” Ir de uno a otro llevando mensajes me mantenía en forma, jera como hacer ejercicio! Formaban un gran equipo, pero, en ocasiones, sus personalidades chocaban. Eran mejores amigos, pero, a veces, igual que las parejas, discutían.

**Bertero:** El Profesor Popov hacía trabajo analítico-experimental en acero; todo al mismo tiempo. Cuando Helmut hizo su trabajo con nosotros, primero tuvo que revisar todo lo que ya se sabía sobre el tema. Después vino el análisis. Análisis, análisis, análisis. Primero el análisis, luego la instrumentación y recién después los ensayos. El trabajo de Helmut duplicaba – triplicaba – las formas de medición. Tenía que hacer distintas mediciones de lo mismo para verificar los resultados. Y, después, al final, se repetía el análisis.

**Krawinkler:** Eso fue en 1968, 1969 y 1970. Existían los electrones, pero la era electrónica aún no había empezado. Los datos se registraban punto por punto.

Teníamos pedazos de papel donde graficábamos puntos para hacer lazos histeréticos. No salían directamente de la computadora. Había que digitar cada dato individualmente. La instrumentación presentaba un desafío, la adquisición de datos, otro. Los ensayos eran un desafío porque no teníamos actuadores con sistema MTS. Teníamos tres sistemas manuales de bomba. Al preparar un ensayo, debíamos aplicar en forma sincronizada una carga axial a la columna de acero, simulando una carga gravitatoria que, por supuesto, debía mantenerse constante a medida que todo se movía. No había un dispositivo MTS que hiciera esto por nosotros. El manejo de cada una de las estaciones de bombeo hidráulico estaba a cargo de dos o tres buenos estudiantes de posgrado. Mirábamos un registrador de coordenadas  $x$ - $y$  y les gritábamos: “¡Arriba!” o “¡Abajo!”

Al final de cada ensayo, el Profesor Bertero era el primero en acercarse al modelo en busca de fisuras en el acero, incluso usando una lupa para ver si había señales de distorsión en las uniones viga-columna. Mientras tanto, los estudiantes estábamos ocupados presionando botones para registrar datos en 200 canales. Teníamos más de 60 deformímetros en la unión viga-columna.

**Bertero:** A veces había siete u ocho personas trabajando bajo el mando de Helmut.

**Krawinkler:** Usábamos un teodolito — un instrumento de agrimensura — para tomar fotos con placas de vidrio porque la película fotográfica se distorsiona con la temperatura. Teníamos entre cincuenta y cien placas de vidrio de unos diez por quince centímetros. Pasé muchos días y muchas noches yendo a Menlo Park, donde el servicio geológico (el USGS) tenía un comparador — un instrumento pequeño donde se colocaban las placas de vidrio con la fotografía mostrando la grilla marcada sobre el modelo. Luego, uno por uno, digitaba los puntos sobre el comparador. Cuando terminamos, volvimos a dibujar todo para la publicación.

**Anderson:** Probablemente el suyo fue uno de los últimos proyectos en incluir a un agrimensor en el equipo de ensayo.

**Krawinkler:** Mi trabajo de posgrado fue la piedra angular de mi carrera durante muchos años. El foco no estaba tanto sobre las columnas o las vigas de acero, sino su intersección, la unión viga-columna. Era un tema controvertido en la profesión. La práctica habitual era diseñar para que la unión fuera más fuerte que la viga y que la columna, por lo que se necesitaba una gran placa en la unión. Este era uno de los aspectos más costosos de construir un pórtico de acero sismorresistente. Era un tema delicado. Pasamos de uniones viga-columna muy fuertes a uniones más débiles.

La idea era distribuir las deformaciones inelásticas entre los elementos para que

no afectaran demasiado a ningún elemento en forma aislada. Otra alternativa es concentrar toda la deformación en un solo lugar, en la unión, en cuyo caso se convierte en un paralelogramo que genera muchísima distorsión y quiebres en las esquinas causando problemas en las conexiones soldadas. Se busca una solución equilibrada.

**Reitherman:** El terremoto de San Fernando del 9 de febrero de 1971 ocurrió temprano, en la mañana. Supongo que fue mientras usted hacía el doctorado. ¿Recuerda qué dijeron las noticias de la época sobre ese terremoto?

**Krawinkler:** Sí, hubo mucha agitación. Fui a San Fernando, pero tenía muy poco tiempo porque estaba en un punto crítico de la tesis. En esa época, la ingeniería sísmica no era muy popular como tema de investigación. Los terremotos eran algo que pasaba en otros lugares, no en Estados Unidos. El terremoto de San Fernando envió un mensaje de concientización.

Antes de ese suceso, no había fondos suficientes de la NSF, el Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC) o el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) para hacer investigación experimental en estructuras de acero — algo muy costoso. Después de San Fernando, hubo más fondos para ese tipo de investigaciones. La catástrofe quedó grabada en la memoria colectiva durante unos diez

años. Después, se fue desvaneciendo. En general, ha habido menos fondos desde entonces, con alguna que otra excepción.

Ni siquiera tenía pensado seguir en ingeniería sísmica. Vine de Austria con una beca Fullbright. Mi plan original era volver a Austria, pero Austria no presentaba demasiadas oportunidades para alguien con un doctorado en esta área. También debo reconocer la labor de mis profesores de la Universidad Estatal de San José, donde hice mi maestría. Ellos volvieron a despertar mi interés por la ingeniería estructural. En Austria, los profesores estaban tan desactualizados, que había perdido mi interés inicial por el tema.

El doctorado en ingeniería sísmica me permitió obtener un puesto en Stanford. Hace treinta y cinco años que estoy ahí. Me jubilo este año.

**Reitherman:** Cuando se incorporó a Stanford, ¿qué otros docentes dedicados a la ingeniería sísmica tenía la universidad?

**Krawinkler:** Principalmente, Haresh Shah. Jim Gere estaba haciendo algunos trabajos en dinámica, pero no estaban relacionados especialmente con los terremotos. Haresh era quien más se

dedicaba al tema. El puesto que me dieron había pertenecido a Jack Benjamin. Quedó vacante cuando él se fue de la universidad para trabajar como consultor. Siempre digo que yo “ocupé” su puesto, pero jamás diría que lo “reemplacé.”

### **Stephen Mahin**

**Reitherman:** Déjenme que le haga una pregunta a Steve Mahin.<sup>55</sup> De los ex alumnos, usted es quien ha pasado la mayor parte de sus años de estudiante en Berkeley, ¿no es así? Helmut, por ejemplo, cursó sus estudios universitarios en la Universidad Técnica de Viena e hizo una maestría en San José. Jim Anderson cursó sus estudios de grado y maestría en la Universidad de Michigan.

**Mahin:** Llegué en 1964, como estudiante de grado, y nunca me fui.

**Reitherman:** ¿Cuándo conoció al Profesor Bertero?

**Mahin:** Cursé Resistencia de los Materiales con él. He recibido influencias de Joe Penzien, Egor Popov y Boris Bresler, pero Vit es quien más ha influido en mi carrera. En esa primera clase que tomé con Vit, Helmut era su

---

<sup>55</sup> Stephen A. Mahin hizo su maestría entre 1968 y 1970 en Berkeley y su doctorado bajo la guía del Profesor Bertero entre 1970 y 1975. Luego, de 1975 a 1977, hizo un posdoctorado. Su tesis se publicó en el Informe 75/05 del EERC y se tituló *An Evaluation of Some Methods for Predicting*

*Seismic Behavior of Reinforced Concrete Buildings*, con Vitelmo V. Bertero como co-autor. Actualmente, es profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de California en Berkeley.

auxiliar. Pero, la verdad, no recuerdo demasiado ese momento.

**Krawinkler:** Yo sí lo recuerdo a usted, Steve — el del cabello largo y rizado [risas]. Lo que no sabía es que su apellido se pronuncia /May' — in/ porque la única persona a quien había escuchado decir su nombre era al Profesor Bertero, que lo pronunciaba /Mah-heen/ [risas].

**Mahin:** Yo siempre tomaba apuntes en esos cuadernitos que se usan en química. Ocupaba la mitad o dos tercios de las hojas por clase. Solo en las clases de Vit Bertero terminaba usando tres cuadernos completos. Bertero daba horas de consulta en la misma oficina que mencionó Jim Anderson, en el edificio que antes pertenecía a la carrera de arquitectura, cerca de Davis Hall. En esa época, se acababa de construir Wurster Hall, el nuevo edificio de arquitectura y el viejo edificio de madera al que me refiero pertenecía a arquitectura naval.

Yo había trabajado cuatro o cinco años en arquitectura y, luego, como diseñador de productos para Hewlett-Packard. Ninguno de esos trabajos me había gustado mucho. Fue entonces que conocí a Henry Degenkolb y trabajé un tiempo para su firma mientras iba a la universidad.

Empecé a trabajar para Degenkolb en el verano entre tercero y cuarto año. Después seguí trabajando con ellos medio tiempo, por dos años más. En

1967 pasé a trabajar en un proyecto de investigación de la SEAOC sobre el terremoto de Caracas. También participaban Paul Fratessa, Harry Seed y otros. Era un proyecto para ver si el nuevo análisis dinámico terminaba de imponerse y demostrar su valor. Era análisis forense para predecir por qué colapsaban las estructuras.

Cada vez que Henry necesitaba algo, salía de su oficina y nos miraba a mí y a otro empleado más joven y, por lo general, elegía al otro que era más rápido para preparar los planos. Finalmente, un día salió de su oficina con el cigarro en la mano y, probablemente, si fue a última hora, con una botella en la otra [risas] y me eligió. En cierta forma, me convertí en el conejillo de indias de Henry. Allí también trabajé para Loring Wyllie y otros en distintas cosas.

Yo estaba buscando algo a lo que pudiera volcar toda mi energía. Aprendí de Bertero que, si uno va a dedicarle tiempo a algo, debe ser algo importante, algo que nos apasione y a lo que podamos abocarnos de lleno. Yo admiraba la intensidad con que emprendía todo lo que hacía. Durante mi doctorado, aprendí el hábito del pensamiento crítico. Hoy, como docente, intento detenerme a pensar: ¿Qué está tratando de hacer este alumno? ¿Con qué supuestos está trabajando? ¿Por qué hace esto? ¿Cuál es el próximo paso?

Al igual que Vit, me gusta analizar varios aspectos pasando de lo general (el sistema) a lo particular (el comportamiento de los materiales en detalle).

Otra cosa que aprendí de usted, Vitelmo, fue a ir siempre un poco más allá, a dar ese paso extra. Recuerdo cuando hice mi tesis, cuando hacía los bocetos en tinta y hacía pasar a máquina la parte escrita. El día anterior a la presentación definitiva, usted me dijo que mi trabajo era aceptable, pero que sería mejor con una sección más. Así que redacté un apéndice. Aún hoy, sigo sintiendo esa inclinación a tratar de dar ese paso extra para ir más allá del mínimo necesario, incluso sobre la fecha del plazo final.

**Reitherman:** Creo haber escuchado una anécdota sobre un único ejemplar original, un manuscrito importante, que alguien tiró por accidente y terminó en un basurero en la ciudad de Berkeley. ¿Alguno de ustedes la recuerda?

**Krawinkler:** ¡Sí, me pasó a mí! Terminé metido en un basural buscando mi trabajo.

**Mahin:** ¡También tengo una de esas anécdotas! [Risas] Te contaré mi historia para que la compares con la tuya, Helmut.

Estamos hablando de la época en que todo se hacía a mano. Yo acababa de redactar un informe muy extenso sobre el Hospital Olive View.<sup>56</sup> Estaba en el cuarto piso del edificio Davis Hall esperando el ascensor junto a uno de esos papeleros con tapa giratoria. Mientras esperaba, apoyé el documento encima del papelerero y me distraje hablando con alguien. Cuando llegó el ascensor me apuré a subir. Luego me di cuenta de que había dejado el documento sobre el papelerero. Era el original y no tenía copias.

Cuando volví al cuarto piso, el documento ya no estaba. Habían sacado la basura del papelerero y la habían llevado al basurero de Berkeley. Así que fui allí, el que está junto a la Bahía. Resulta que al hombre de la basura le había parecido interesante y lo había rescatado. Cuando le pregunté por una carpeta verde muy gruesa, ¡dijo que la tenía!

**Reitherman:** Helmut, ¿dijo, usted, que también tiene una anécdota en el basural de Berkeley? Acabamos de escuchar el relato de Steve sobre su incidente con el manuscrito perdido y el basurero. ¿A usted le sucedió algo parecido?

**Krawinkler:** Es increíble cómo se cruzan los caminos de las personas. En mi caso

---

<sup>56</sup> Stephen A. Mahin, Vitelmo V. Bertero, Anil K. Chopra y Robert G. Collins, *Response of the Olive View Hospital Main Building*

*During the San Fernando Earthquake*, EERC 76/22, Universidad de California, Berkeley, 1976.

y el de Steve, nuestros caminos se cruzaron en el vertedero de Berkeley.

En los setenta, los datos de los experimentos se imprimían en tiras de papel. Esas tiras representaban, como mínimo, seis meses de trabajo en la vida de una persona. Todas las tiras de datos digitales — en ese entonces no había discos duros, ni copias de seguridad — se ponían en un gran libro. Había apoyado el documento sobre un tacho de basura, en uno de los pasillos de Davis Hall. Yo iba de traje porque íbamos a tener una reunión de proyecto. Cuando me percaté de mi olvido y regresé por la gran carpeta con todos los datos, ya no estaba. Fui al basural que está junto a la Bahía — de traje. Allí me informaron dónde tiraban la basura proveniente de la universidad. Encontré toda clase de investigaciones muy interesantes de profesores cuyos nombres no debería revelar [risas], pero no logré dar con mi carpeta. Había niebla. Las gaviotas se tiraban en picada sobre mí. Olía terrible. Fue una experiencia muy desagradable; daba miedo estar ahí. Después de tres horas de buscar, me di por vencido. Antes del anochecer, ya de regreso en Davis Hall, mientras le contaba lo sucedido al conserje, me dijo: “No se angustie, no se perdió. Yo lo tomé para dárselo a mis hijos. Se veía demasiado interesante como para tirarlo.” El conserje trajo la gran carpeta verde y me la entregó. Me salvó el doctorado, ¡y la vida!

**Mahin:** El trabajo sobre el terremoto de San Fernando de 1971 me mantuvo enfocado en el tema. Pronto, le siguieron los terremotos de Managua de 1972 y Guatemala en 1976. Recuerdo haber subido y bajado incontables veces las escaleras del edificio del Banco de América, en Managua. Solo tenía dieciocho pisos, pero yo tenía que subir y bajar por la escalera varias veces al día intentando seguirle el ritmo a Vitelmo — el ascensor estaba fuera de servicio, por supuesto. ¡Era agotador! Encima tuve disentería por comer comida de la calle. Vitelmo no se enfermó, pero yo estuve descompuesto dos semanas.

En mi examen de aptitud escribí casi 200 páginas para responder dos preguntas de Vit. Una era sobre pórticos con diagonales y la otra sobre cómo idear un programa de investigación a largo plazo para investigar estructuras de hormigón armado. A esta última pregunta, respondí proponiendo ensayos híbridos controlados por computadora. Si hubiésemos sido más inteligentes, lo hubiésemos publicado inmediatamente y hubiésemos obtenido mayor reconocimiento. Hoy, los ensayos híbridos son habituales, pero, en aquel entonces, era impensado. Fue muy innovador.

Mis primeros años de estudiante en Berkeley coincidieron con la guerra de Vietnam. Recuerdo estar en la clase de hormigón pre-comprimido de T.Y. Lin mientras pasaban helicópteros tirando gas lacrimógeno para sofocar las

protestas. En los años siguientes a mi doctorado, de 1975 a 1977, me dediqué a investigar y al trabajo de consultoría con Egor Popov. Trabajamos sobre las plataformas petrolíferas *off-shore* de Shell y Exxon. Me incorporé al cuerpo docente de Berkeley en 1977. Cuando ocurrió el terremoto del condado de Imperial, en 1979, trabajé en uno de los primeros proyectos de modelos computacionales de fibra para analizar el Edificio de Servicios del Condado Imperial. En los años setenta, hubo varios terremotos que mantuvieron muy ocupados a los investigadores.

Debo reconocer que, aun habiendo nacido y crecido en Estados Unidos, aprendí inglés de Vit [risas]. Yo tenía la visión informal del nativo: *si suena bien, debe ser correcto*. Al día de hoy, no puedo escribir “los resultados muestran que...” porque Vit me enseñó a expresarme mejor, diciendo: “La interpretación de los resultados permite inferir que...”

### **Eduardo Fierro**

**Reitherman:** Creo que, si seguimos un orden cronológico, es el turno de Eduardo Fierro.<sup>57</sup> ¿Qué recuerda de la primera vez que tomó una clase con el Profesor Bertero o del momento en que lo conoció?

**Fierro:** Cuando conocí al Profesor Bertero, él tenía 53 años. En ese

entonces, me parecía un hombre muy mayor. Hoy, a mis 55 y creo que una persona de esta edad aún es joven. El tiempo cambia nuestra forma de ver las cosas.

La maestría la hice en Notre Dame. Cuando llegué a Berkeley, apliqué solamente a esta universidad porque solo tenía dinero para pagar una solicitud de inscripción. Por suerte, me aceptaron, pero no tenía un centavo.

Necesitaba dinero para la matrícula. Empecé a averiguar, pero parecía que nadie tenía fondos para contratar a un asistente de investigación. Algunos alumnos dijeron que, tal vez, el Profesor Bertero tuviese fondos para pagarme como asistente, pero me recomendaban no trabajar para él. Dijeron que era una persona difícil, muy dura. “Te va a gritar”, me dijeron. “Te hará trabajar demasiado”.

Yo estaba desesperado, así que fui a verlo de todas formas. Entre los dos, Bertero y el Profesor Popov, me contrataron como asistente de investigación.

Hoy escuché anécdotas de cómo sus alumnos de doctorado tenían que esperarlo mucho tiempo en la puerta de su oficina. Yo soy latino, así que era yo quien llegaba tarde y, luego, el Profesor Bertero me elevaba mucho la voz

---

<sup>57</sup> Eduardo Fierro fue un estudiante de posgrado del Profesor Bertero en la U.C. en

Berkeley de 1978 a 1981. Luego, trabajó para Wiss, Janney, Elstner hasta convertirse en la “F” de BFP Engineers (Bertero Fierro Perry).

reprochando mi impuntualidad. A veces me reunía con los dos, con Bertero y Popov. En esos casos, a veces, el Profesor Popov era muy intenso, parecía que echaba rayos por los ojos, mientras que el Profesor Bertero estaba más calmado, pero, a veces, era a la inversa. ¡Pretendían que hiciéramos tantas cosas en una sola semana! Y, a la semana siguiente, nos exigían aún más. El tema de investigación era el comportamiento sísmico del subconjunto viga-columna-losa de hormigón armado. Me hacían leer, leer y leer y casi no había investigaciones previas que hubiesen incluido la losa en los ensayos. Se usaban reglas generales, como que la influencia de la losa se extendía ocho veces su espesor — lo que no era verdad, ya que la influencia es mayor. No había evidencia robusta que justificara las conclusiones sobre la influencia de la losa. Si era importante tener una columna fuerte y una viga débil, lo realista era incluir también la losa. He ido a observar los daños de muchos terremotos y, aunque me digan que pasa, nunca he visto que la viga se articule como se supone que debe suceder y puede que esto se relacione con la influencia de la losa.

En el laboratorio, una de las primeras cosas que hice fue romper un transductor de aluminio. Las soldaduras eran más débiles de lo que deberían. Aprendí a templar el metal lentamente en el horno. El Profesor Bertero me enseñó a sospechar de las soldaduras.

Me enseñó a observar muy cuidadosamente los modelos físicos antes y después de cada ensayo. Nadie mira con más atención que el Profesor Bertero.

Fue la primera vez que sentí que realmente estaba aprendiendo ingeniería sísmica. Yo había estudiado la asignatura en la mejor universidad de Perú, pero me di cuenta de que no sabía demasiado.

Cada vez que nos preguntaba algo, el Profesor Bertero, nos pedía que primero pensáramos si ya conocíamos la respuesta básica. Antes de iniciar cualquier cálculo numérico quería que nos preguntáramos qué tipo de resultado esperábamos obtener.

Cada semana, le tocaba a un alumno distinto dar una presentación frente a los demás estudiantes. La ronda se completaba cada seis o siete semanas para volver a comenzar. Esas presentaciones han sido de las mejores experiencias de aprendizaje que he tenido. Explicando los temas, íbamos ganando confianza en nosotros mismos y adquiriendo otras habilidades. Quien pueda hacer una presentación ante el Profesor Bertero, puede enfrentar cualquier audiencia.

También fue Bertero quien me tomó el examen para cumplir con los requerimientos de idiomas. Hablamos cinco minutos en español. Eso fue todo.

En 1999, el EERI quiso organizar un equipo de reconocimiento para estudiar el terremoto de Colombia. Yo acabé liderando el equipo. Todos los miembros tenían que hablar español con fluidez por dos motivos: primero, porque era útil para recolectar información, pero, por otro lado, se creyó que nos ayudaría a adaptarnos y mezclarnos mejor entre la población para tener menos probabilidades de ser secuestrados. El Profesor Bertero me sugirió que, cada noche, pidiera a los miembros del equipo que me dieran una lista de las cosas que habían aprendido. La lista tenía que incluir diez ítems. Me aconsejó que se la pidiera a todos los miembros del equipo: diez cosas, todos los días. “Así, al final del viaje, tendrás listo el informe”, dijo. Además, yo también me ocupaba de cocinar. Una noche, uno de los muchachos no me entregó la lista. Le dije que no le daría de cenar por su incumplimiento; así que la hizo y me la entregó.

**Reitherman:** Usted también lideró el equipo del EERI que estudió el terremoto de Pisco, Perú, de 2007. Cuando se publique este volumen de *Connections*, podrá leer un par de anécdotas sobre la bebida que lleva ese nombre que me contó el Profesor Bertero.

**Fierro:** Es cierto, el pisco es una bebida. ¡Y también el motivo de una gran polémica internacional!

**Reitherman:** ¿Qué recuerda que le haya enseñado el Profesor Bertero durante sus estudios de posgrado que siga siendo relevante para usted hoy?

**Fierro:** Me dijo que las mejores observaciones que se pueden hacer son las que se hacen en la escena de los terremotos reales. ¿Cuántos ensayos en mesa vibratoria ha visto usted en su vida? ¿Diez? ¿Veinte, tal vez? Quien va a la escena de un terremoto ve miles de ensayos realizados sobre una mesa vibratoria de cuarenta por cincuenta kilómetros.

Últimamente, con el Profesor Bertero hemos estado dictando cursos en el Caribe, en República Dominicana. En Turquía dimos el mismo curso en inglés. También trabajamos juntos en una pericia para un juicio. Al final, Bertero dijo: “Basta de litigios; nunca más”. El abogado intentaba insinuarle las respuestas continuamente, especulaba con preguntas hipotéticas mientras el Profesor Bertero repetía una y otra vez: “Explicaré, nuevamente, lo que ocurrió”. Actualmente, el Profesor Bertero es asesor de la consultora que tengo con Cynthia Perry.

**Reitherman:** ¿Cuánto tiempo transcurrió entre su partida de Berkeley y el momento en el que empezó a trabajar con el Profesor Bertero en estas actividades extracurriculares?

**Fierro:** Nunca perdimos contacto, ¿no es así, Profesor Bertero? Debe ser nuestra sangre latina. Los estudiantes

latinoamericanos lo veíamos como a un padre y lo visitábamos fuera de la universidad.

En América Latina, el Profesor Bertero no solo es respetado, es venerado. Una vez, en Chile, estaba en una reunión discutiendo un tema de hormigón armado. Los chilenos no podían creer lo que yo les decía. Levanté el teléfono y llamé al Profesor Bertero. Lo puse en altavoz y le dije: “Aquí tenemos una pregunta”. El Profesor Bertero respondió, yo le agradecí y colgué el teléfono. Hubo un gran silencio; los ingenieros chilenos estaban estupefactos. “¿Tu lo llamas directamente, así como así, y él te responde?”

### James Malley

**Reitherman:** Jim Malley,<sup>58</sup> creo que es su turno de incorporarse al relato. Cuéntenos sobre sus días en Berkeley.

**Malley:** Conocí a Bertero durante el semestre de otoño de 1979, cuando estaba en cuarto año. Durante las dos primeras semanas de clase habíamos tenido a un profesor joven en *Hormigón Armado*, el Profesor Mahin. Sin embargo, un día, cuando nos presentamos a una de las clases del Profesor Mahin, él no estaba. Otro profesor había venido en su

lugar y ya había llenado el pizarrón de notas y ecuaciones. Es tal como describieron Helmut y los demás. Quien llegaba puntual a una clase de Bertero, llegaba tarde. Como las notas parecían ser sobre hormigón, asumimos que estábamos en el aula indicada y que, seguramente, este profesor estaba reemplazando a Steve Mahin. Fue la semana siguiente al terremoto del Condado de Imperial y Mahin estaba ocupado en la escena del sismo estudiando el Edificio de Servicios del Condado Imperial.

Más adelante, en la maestría, tomé las clases de ingeniería sísmica que dictaba el Profesor Bertero. Empezaba hablando en un tono bajo y calmado y, noventa minutos más tarde, ya nos estaba gritando, transpirando y golpeando la mesa de tan compenetrado que estaba en el tema.

El día del examen final – un examen que llevaría un día entero resolver bien, pero que, nosotros, debíamos resolver en una hora – seguí lo que estaba seguro eran los pasos indicados para utilizar el espectro de respuesta inelástica. El resultado al que llegué estaba literalmente fuera de los límites del gráfico. Revisé todo el trabajo hasta que, finalmente, me acerqué para entregarle mi examen y preguntarle dónde me

---

<sup>58</sup> James Malley terminó su maestría en ingeniería civil en la Universidad de California en Berkeley en 1984. El tema de su tesis se publicó en el informe del EERC (83-24), *Design Considerations for Shear Liks in*

*Eccentrically Braced Frames*, con Egor Popov como co-autor. Después de recibirse comenzó a trabajar para Degenkolb Engineers, empresa de la que, actualmente, es socio.

había equivocado. Me miró y me dijo: “¿Qué significa esto?” [Risas]. Otra frase típica de Bertero, otro “*berterismo*”, por así decir. “Eso es justamente lo que quiero saber?”, respondí. “Recuerde el pulso de larga duración”, respondió. Era 1981 o 1982, antes de que se generalizara la aceptación del pulso de larga duración como un fenómeno de movimiento de suelo de campo cercano.

El Profesor Popov fue mi asesor principal. En ese momento, él estaba trabajando con usted, Profesor Bertero, en una propuesta de investigación sobre perfiles de acero como elementos de borde en los tabiques estructurales de hormigón armado, pero la propuesta no fue financiada por la NSF. De haber obtenido los fondos, yo hubiese hecho mi maestría trabajando para ustedes dos. Apenas puedo imaginar lo duro que hubiese sido. Al final, terminé trabajando bajo la dirección de Popov en pórticos con diagonales excéntricas.

En Davis Hall, estaban haciendo un ensayo con un profesor invitado de África. Era un ensayo de conexiones de hormigón-viga de poca altura. Tenía que pasarme todo el día trabajando como asistente en el laboratorio. Recuerdo como usted, Profesor Bertero, trepaba hasta la cima del modelo físico, mientras

el Profesor Popov nos hacía señas para que trajéramos la carretilla elevadora. Justo cuando el Profesor Bertero estaba por llegar a la cima del modelo, el Profesor Popov le sonreía y bajaba tranquilamente de la carretilla elevadora que lo había llevado al mismo lugar sin esfuerzo. Fue una época divertida.

**Reitherman:** Más adelante, después del terremoto de Northridge de 1994, usted fue director de investigación del Proyecto de Acero de la SAC<sup>59</sup> – cuando Steve Mahin era Director General y Ron Hamburger estaba a cargo de desarrollar las guías. Hoy, sentados a esta mesa, vemos a los Profesores Anderson, Krawinkler y Whittaker, que también trabajaron mucho en ese proyecto. Creo que el título exacto de su cargo, Jim, era Director de Investigaciones sobre Actualidad – título que, a sus espaldas, en la oficina del CUREE (el Consorcio de Universidades para la Investigación en Ingeniería Sísmica), cambiábamos por “Director de Investigaciones Tropicales” [*por la similitud, en inglés, de los términos “topical” y “tropical”*]. Bromeábamos imaginando que usted, en realidad, estaba disfrutando de la vida en Tahití. En ese proyecto usted estuvo en contacto con los dos – con el Profesor Bertero y el Profesor Popov – desde una

---

<sup>59</sup> SAC fue una unión entre la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), el Consejo de Tecnologías Aplicadas (ATC) y el Consorcio de Universidades para la Investigación en Ingeniería Sísmica (CUREE). El Proyecto de

Acero del SAC recibió fondos, principalmente, de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA).

posición más cercana a la de un jefe, en lugar de tener que rendirles cuenta a ellos, como cuando era estudiante.

**Malley:** El Profesor Bertero trabajó con Andrew Whittaker en una serie de ensayos en acero. En ese momento, Andrew era ingeniero investigador del EERC. El proyecto del SAC no era solo una iniciativa para dar una solución práctica a los problemas, sino que convocaba a todos los investigadores del acero que llevaban varias décadas estudiando ese material desde el punto de vista de la ingeniería sísmica. Todos los investigadores se reunían cada un par de meses. Las reuniones acabaron convirtiéndose en una especie de seminario donde participaban los profesores Bertero y Popov y ex alumnos como Helmut y otros investigadores de todo el país. Fue una experiencia muy instructiva.

**Reitherman:** Cuando fue a trabajar para el Estudio Degenkolb, ¿pudo poner en práctica lo que había aprendido en la universidad? ¿Fue una transición fácil o difícil?

**Malley:** El verano previo a mi graduación, Egor gastó todos sus fondos en un proyecto de investigación, así que

me dijo que me conseguiría un trabajo de verano. Llamó a Henry Degenkolb y, de pronto, me encontré trabajando allí.

Gran parte de lo aprendido en clase y en el laboratorio de la facultad encajaba perfectamente en lo que hacíamos en la práctica. El Estudio Degenkolb veía a los recién contratados, los recién graduados, como una oportunidad para mejorar el ejercicio de la profesión a través las nuevas técnicas e ideas que aportaban. Mucho de lo que aprendimos cerca de los ochenta en las clases de diseño sismorresistente del Profesor Bertero aún no se ha plasmado en los códigos. Somos varios los que llevamos mucho tiempo usando esos conceptos por fuera de lo que dice el código.

### **Andrew Whittaker**

**Reitherman:** Andrew, cuéntenos su historia. ¿Cuándo conoció al Profesor Bertero?<sup>60</sup>

**Whittaker:** Fue durante el primer semestre que pasé aquí, en Estados Unidos, en Berkeley. Me gradué de la Universidad de Melbourne. Antes de venir a hacer mi maestría y doctorado en Berkeley, trabajé unos años en Australia para el Grupo Connell Wagner. Era

---

<sup>60</sup> Andrew Whittaker fue estudiante de doctorado del Profesor Bertero desde 1984 a 1988. El tema de su tesis se publicó como informe del EERC 88/14, *An Experimental Study of the Behavior of Dual Steel Systems*, con Chia-Ming Uang y V.V. Bertero como co-autores. Después de trabajar como ingeniero de estructuras para Forell-Elsesser Engineers,

Whittaker fue Director Asociado del EERC y luego del PEER, antes de convertirse en profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Búfalo.

1984. Me sorprendió ver lo meticulosos que eran los profesores de Berkeley. El Profesor Graham Powell empezaba exactamente a los diez minutos de la hora en punto – que era el horario pactado. El Profesor Anil Chopra también comenzaba rigurosamente en horario. Recuerdo la primera vez que asistí a una clase del Profesor Bertero. Estaba sentado con Mike Engelhardt, hoy profesor de la Universidad de Texas. Habíamos entrado al salón unos minutos antes del horario de inicio y, para dar fe de la veracidad de los relatos que hemos oído, el pizarrón ya estaba lleno de anotaciones. Sin embargo, creo que puedo añadir algunos detalles al tema del pizarrón. En el margen superior izquierdo anotaba los temas de lectura de la semana y, en la mitad inferior del margen, las consignas asignadas como tarea. Esta distribución le dejaba mucho espacio para sus anotaciones, ecuaciones y diagramas que apretujaba en letra diminuta. Al horario oficial de inicio de la clase – diez minutos pasados de la hora en punto – este profesor ya estaba llamando a los estudiantes por su nombre y haciéndoles preguntas.

Sabe Vit, creo que aprendí más de usted ese semestre de lo que he aprendido de cualquier otra persona durante un periodo similar, desde entonces. No obstante, tengo que relatar algunos tropiezos en el aprendizaje. Uno fue la “seldo-aceleración” – término que desconocíamos. En la clase de Anil Chopra habíamos escuchado hablar de

*pseudo-aceleración y de aceleración espectral*, pero nadie había dicho nada sobre la “seldo-aceleración”. Nadie se animó a levantar la mano y preguntar. Teníamos miedo de que el examen incluyera alguna pregunta sobre eso. Nos llevó tres semanas caer en la cuenta de lo que era; cuando, finalmente, lo vimos escribir “pseudo-aceleración” en el pizarrón.

Recuerdo muy bien las presentaciones que teníamos que hacer cada seis o siete semanas. Nos aterraba. Pasábamos noches enteras sin dormir preparándolas.

Rendí mi examen de aptitud frente a los profesores Mahin, Powell y Bertero. Steve Mahin dijo que obtener la respuesta a su pregunta me llevaría medio día – y fue exactamente lo que me llevó. Graham Powell dijo lo mismo, y también fue así. Vit me dio su pregunta y dijo que me llevaría un día entero, más o menos. Pasé seis de los siete días asignados al examen resolviendo su pregunta – y eso que le dediqué casi quince horas diarias. Cuando presenté mis respuestas por escrito, había escrito unas cinco páginas para Steve, cinco para Graham y 120 para Vit.

El día anterior al examen oral discutí con el Profesor Bertero, en su oficina, sobre varios temas técnicos. Discutimos desde el mediodía hasta las cuatro de la tarde, cuando, agotados, ambos decidimos abandonar la pelea.

Al día siguiente, durante el examen oral, di mi presentación. Graham, el presidente del comité, preguntó a sus colegas si deseaban hacer alguna otra pregunta. Vit levantó la mano y retomó nuestra discusión del día anterior exactamente donde la habíamos dejado. Después de 45 minutos, Graham nos interrumpió. Dijo que ya había escuchado suficiente y pidió pasar a la siguiente pregunta. Fue una de las semanas más difíciles de mi vida, por mucho. Sin embargo, en retrospectiva, fue una época que disfruté mucho también. Lo que le debo a la suerte fue que, el día de mi examen oral, el Profesor Jim Kelly había organizado una degustación de vinos y quesos para los docentes a las cuatro menos cuarto. Mi examen había empezado a las dos. Kelly habló con Graham y me enviaron afuera a esperar el resultado. Treinta segundos después, me felicitaron por haber aprobado. Al salir, Jim dijo: “Fue una decisión fácil. O seguíamos hablando de usted dos horas más o nos íbamos a tomar vino”. [Risas]. Vit era conocido por exigir mucho y durante mucho tiempo a cada candidato, pero lo hacía para bien.

**Reitherman:** Durante los primeros años de la colonia, aquí, en Estados Unidos, los esclavos debían trabajar siete años para ganar su libertad. El Profesor Bertero era conocido por querer aplicar el mismo sistema con sus alumnos de doctorado. ¿Cuánto tiempo le llevó a usted?

**Whittaker:** Creo que tengo el récord de la maestría y el doctorado más cortos con Vit. Fueron solo cuatro años y cuarto.

**Reitherman:** Después de terminar su doctorado, creo que también siguió en contacto con el Profesor Bertero y que trabajó con él en algunos proyectos. Cuéntenos de esa etapa.

**Whittaker:** Sí, hubo muchas ocasiones de contacto y a todas las recuerdo con una sonrisa. Como estudiantes de posgrado, para recibir nuestra paga teníamos que llevar nuestras tarjetas con el registro de las horas trabajadas al Profesor Bertero, para que las firmara. Cada vez que íbamos a verlo con este propósito, él nos preguntaba qué habíamos hecho para merecer su firma. En el Proyecto de Acero del SAC fui Investigador Principal (IP) del ensayo en que trabajaba Vit. Como siempre, él trabajaba más que los demás. Un día vino a verme con una tarjeta que requería la firma del IP. Me dio mucha satisfacción poder preguntarle — con fingida seriedad — “Dígame, Vit, ¿Qué ha hecho usted exactamente esta semana?” Se quedó helado. La broma no duró más de un segundo porque no pude aguantar mucho sin que se me dibujara una sonrisa en el rostro.

Hay otra anécdota que se relaciona con el terremoto de Kobe de 1995. Vit y yo viajamos a Kobe con otros investigadores del EERC-Berkeley. Al regresar, el equipo del EERC daría una

presentación de una hora y media en el campus. Al Profesor Bertero, le había asignado los últimos quince minutos de esa hora y media. Enfatiqué que solo tenía quince minutos para presentar; quince minutos y diez diapositivas. Llegó al salón de actos con dos carretes de diapositivas. Recordarán que los carretes venían en dos tamaños. Él traía dos de los grandes, con 140 diapositivas cada uno, es decir 280 diapositivas. Lo presenté a la hora exacta cuando solo quedaban quince minutos para finalizar el evento. Quince minutos más tarde se abrieron las puertas del salón y empezaron a ingresar los alumnos que tenían clase en ese salón, poniendo fin a la presentación de Vit que iba por la cuarta diapositiva de una presentación de 280. Debemos dejar constancia, Vit, de que usted es famoso por sus dos carretes de hechos e imágenes. Las diapositivas de texto eran fotos de páginas impresas que llevaban su sello distintivo: círculos y anotaciones en tinta roja.

### **Eduardo Miranda**

**Miranda:** Mi primera reunión con el Profesor Bertero no fue en un salón de clases de Berkeley,<sup>61</sup> sino unos días después del terremoto de Ciudad de México, en 1985. Bertero apareció en el Instituto de Ingeniería con un casco y

dos cámaras Nikon. Tengo que aclarar que esas cámaras de 35mm no eran como las cámaras livianas de bolsillo que tenemos hoy. Eran muy pesadas, con muchas piezas de metal. Además, llevaba un maletín enorme. Yo estaba haciendo un trabajo estadístico de los daños y, como todos mis profesores estaban muy ocupados con el terremoto, y como sabía hablar inglés, me convertí en el guía turístico de los profesores recién llegados. Llevar a expertos a ver los edificios dañados debe haber sido el mejor trabajo de mi vida. Un día venía Helmut Krawinkler; al siguiente, Steve Mahin; luego, Mete Sozen, etc. Yo me limitaba a llevarlos, les preguntaba qué había sucedido en cada edificio y me dedicaba a escuchar. Cuando le hice esa pregunta al Profesor Bertero, vi, por primera vez, ese ademán que le es tan propio: se llevó la mano a la cabeza inclinada como si el acto mismo de pensar le resultara doloroso, mientras indagaba sus pensamientos buscando la respuesta más precisa. Pasamos tres días recorriendo la ciudad juntos. Lo hacía llamar en su hotel a la hora que él me había indicado: 6:30 de la mañana — demasiado temprano para los estándares mejicanos. En el hotel, su habitación estaba llena de papeles desparramados por todas partes sobre los que ya había estado trabajando.

---

<sup>61</sup> Después de graduarse de la Universidad Autónoma de México (UNAM), Eduardo Miranda dio clases allí antes de hacer su maestría y doctorado con el Profesor Bertero de 1986 a 1991. El título de su tesis fue

“Seismic Evaluation and Upgrading of Existing Buildings”. Actualmente, es Profesor en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Stanford.

Ya dije que tenía un gran maletín. Yo me ofrecía todo el tiempo a ayudarlo: “Profesor, ¿quiere que le lleve el maletín?”, pero siempre respondía que no. Los ascensores estaban fuera de servicio así que subíamos y bajábamos muchísimos escalones. Bertero subía las escaleras de dos en dos.

Un día, como a las cuatro de la tarde, fuimos a ver unos edificios de unos quince pisos, aproximadamente. Por supuesto, él insistía en ir por la escalera para poder recorrer todos los pisos. Le pregunté nuevamente si podía ayudarlo con el maletín y, finalmente, aceptó. El maletín estaba lleno de papeles. ¡Debe haber pesado unos 7kg o más! Terminé agotado y eso que yo solo lo cargué un rato.

Durante el tercer viaje que hizo a Ciudad de México, dio una conferencia en la universidad. Fue la primera vez que fui testigo de sus presentaciones de dos carretes completos de diapositivas. Lo recuerdo diciendo esa frase que usa ocasionalmente: “En otras palabras...” El salón estaba lleno de gente ansiosa por escucharlo. Fue en esos viajes del Profesor Bertero a México donde se gestó la relación que, más tarde, me llevó a hacer mi doctorado en Berkeley.

Cuando llegué a Berkeley, en 1986, el Profesor Bertero estaba trabajando en un proyecto sobre el terremoto de México financiado por la NSF. Particularmente, buscaba abordar el problema de cómo evaluar y mejorar los edificios

existentes. Mi primera tarea fue tomar algunos planos de edificios de escuelas de México para hacer un análisis no lineal. Nunca había hecho ese tipo de análisis, pero él me dio a entender que debía tenerlo listo en una semana.

Yo creía que mi tarea iba a ser analizar los edificios que habían colapsado para descubrir la causa del colapso, pero, en cambio, él me hizo estudiar los edificios que habían quedado en pie para descubrir por qué no habían colapsado, incluso si un primer análisis indicaba que deberían haber colapsado. Empecé a aprender de sobrerresistencia — algo que, a veces, puede contrarrestar situaciones de gran vulnerabilidad, como columnas cortas. Ese tema terminaría convirtiéndose en el tema de mi maestría.

El Profesor Bertero tiene una gran intuición, es decir, una gran capacidad para usar sus vastos conocimientos de ingeniería para ir directo al factor crítico. Yo le mostraba los resultados de semanas de trabajo y me respondía: “Eduardo, hay un error en tu análisis”, a lo que yo respondía: “No creo. Los he verificado varias veces”. Más tarde aprendí que al Profesor Bertero no se le responde de ese modo. Él se limitaba a fruncir el ceño y repetía el análisis él mismo, salteándose los procedimientos del código, para demostrarme que había un error.

Después del terremoto de Loma Prieta de 1989, empecé a investigar los

edificios instrumentados. Uno de ellos era el Pacific Park Plaza, en Emerville, tierra adentro respecto de la ruta I-80, junto al Puente de la Bahía. En ese momento, era el edificio de hormigón armado más alto del norte de California. Los de Berkeley ya lo habían analizado midiendo vibraciones ambientales y, creo que Ray Clough lo estudió con excitadores de vibración. Además, Ed Wilson había hecho un estudio analítico, cuyos resultados coincidían con los estudios de vibración. Tenía un periodo de 1,6 segundos – verificado por los tres tipos de estudio. Cuando analicé los registros de movimientos fuertes de Loma Prieta me dio 2,4 segundos. Llegué realmente asustado a mi reunión semanal con el Profesor Bertero. “Eduardo, ¿cómo puede ser?”, me dijo. Yo había aprendido de él que, además de un análisis detallado, uno debe basarse en los principios básicos. Observamos el registro de los desplazamientos y contamos la cantidad de segundos por ciclo. Vimos que, claramente, el periodo era más largo de lo que se había descubierto previamente. Aún hoy, sigue habiendo algo misterioso en ese asunto.

**Reitherman:** ¿Empezaron a pensar que habría un gran terremoto, como el de México de 1985 o el de Loma Prieta de 1989, que alimentaría sus investigaciones con nuevos datos cada cinco años o un periodo similar?

**Miranda:** En realidad, cuando ocurrió el terremoto de México de 1985, yo estaba

haciendo mi tesis de grado. El tema era ingeniería eólica e incluía una revisión de las disposiciones para viento del código de construcción de la Ciudad de México. Llevaba un año y medio trabajando en el tema. Al ocurrir el terremoto, me asignaron inmediatamente la tarea de guiar los recorridos por la zona y recolectar datos estadísticos sobre los daños. Seis meses después, mi director quiso que cambiara el tema de la tesis por uno relacionado con los sismos, pero logré convencerlo de que me faltaba muy poco para cumplir con los requisitos para graduarme con el tema del viento. Así que pude tomarme un descanso de los terremotos.

Cuando llegué a Berkeley, sucedió algo similar. Estaba trabajando en refuerzos – era un trabajo relacionado con el terremoto de México. Cuando ocurrió el terremoto de Loma Prieta, a eso de las cinco de la tarde, yo estaba aquí, en el EERC, en la Estación Richmond Field. Aquí no se sintió tanto. Pero, una vez más, me sacaron de la investigación que estaba haciendo. Primero, el Profesor Bertero nos envió a Andrew Whittaker y a mí a Santa Cruz. Demoramos cuatro horas en llegar, por los cortes de ruta. Después, pasamos varios días trabajando en el colapso del Viaducto Cypress, en Oakland – un tema que muchos estaban estudiando.

Mi primer curso con el Profesor Bertero, en Berkeley, fue el CE 243, Diseño Integral de Estructuras. Al día de hoy,

sigu pensando que es el título ideal para cualquier curso de ingeniería estructural que dicte el Profesor Bertero. La palabra “integral” lo habilitaba para incluir cualquier tema a su antojo: acero, hormigón, sismicidad, gravedad, diseño por estado límite.

Una vez tuvo que ausentarse y perdimos una clase —era una clase que duraba dos horas. Para recuperar el tiempo perdido, programó una clase de recuperación de tres horas. Así que ya nos había dado una hora de más. Sin embargo, al tiempo, nos dimos cuenta de que la clase de recuperación seguía dentro de la agenda, ¡se había convertido en una clase regular! Los alumnos nos mirábamos y nos preguntábamos entre nosotros “¿Clase de recuperación? ¿Recuperación de qué?”

Ya otros mencionaron su modo de usar el pizarrón. Se podía escuchar el ruido de la tiza contra el pizarrón mientras la apretaba con fuerza al escribir.

Recuerdo el día que firmó la carátula de mi tesis de doctorado. A su firma, le decíamos “la raíz cuadrada” porque se parece un poco a ese signo. Yo estaba terminando el resumen inicial del trabajo y el seguía haciéndole más y más modificaciones. Pude presentar la tesis recién el último día del plazo. Me hizo hacer cambios hasta último momento. Cuando, finalmente, me gané la “raíz cuadrada” crucé el campus a toda velocidad y alcancé a entregar la tesis

justo sobre el plazo límite. Estaba tan nervioso que cerré el auto dejando las llaves dentro.

Los demás también hablaron las presentaciones que debían dar los alumnos. En esa época, no se podían proyectar presentaciones, como los PowerPoint de hoy. Ian Aiken y Andrew Whittaker habían descubierto el modo de escribir en blanco sobre un fondo azul, tomando diapositivas de fotografía. Las tenían listas en un día. Sus presentaciones subieron el nivel de calidad esperado. Lo llamábamos “el momento de humillación pública”. Sin importar la calidad de la investigación y la presentación, de haber un error, sería expuesto frente a todos. Él interrumpiría diciendo “Números grandes, Eduardo, debes usar números grandes. Los de atrás no alcanzan a leer”. Recuerdo que el Profesor Bertero nos aconsejaba no colocar demasiada información en una misma diapositiva. [Risas].

**Whittaker:** ¡Miren quién habla! [Más risas].

**Miranda:** Exacto. Sus diapositivas estaban llenas de información apretujada, subrayados, círculos rojos, etc. Usted no sigue sus propios consejos, Profesor Bertero — aunque sus presentaciones siempre han sido memorables.

## Yousef Bozorgnia

**Reitherman:** Actualmente, Yousef Bozorgnia<sup>62</sup> está fuera del país y no pudo venir hoy. Él es otro de los ex alumnos en los que pensó el Profesor Bertero al reunir a este grupo. Cronológicamente, la relación de Yousef con el Profesor Bertero entra justo en este punto del relato. Yousef nos ha hecho llegar un texto que habla de los mismos temas que hemos tocado aquí hoy.

**Bozorgnia:** Conocí al Profesor Bertero cuando tomé sus cursos de Diseño Plástico de Estructuras y Diseño Sismorresistente. Ambos cursos demandaban mucho tiempo, pero valían la pena.

Hubo dos terremotos que influyeron enormemente en nuestro trabajo en conjunto: el terremoto de Loma Prieta de 1989 y el terremoto de Northridge de 1994. Tras el terremoto de 1989, hubo mucha actividad de diseño para reforzar los edificios y los puentes de California. Mientras trabajé como consultor, el Profesor Bertero participó en la revisión por pares de la mejora en la aislación de la base del Hayward City Center y el refuerzo de un edificio de gran altura en San Francisco. Nos llevó muchas horas

incorporar sus comentarios al diseño, pero, una vez más, el esfuerzo valió la pena.

A fines de los noventa, el Profesor Bertero y yo recibimos fondos para investigar el uso de los índices de daño para la evaluación de los daños en tiempo real tras un terremoto. Recuerdo que decidimos enviar un trabajo sobre el espectro de daños a la revista de Ingeniería Estructural del ASCE. Preparé el texto meticulosamente, lo pulí, lo revisé varias veces y se lo pasé para que lo revisara. Cuando nos reunimos nuevamente, unos días después, me dijo: "Su versión preliminar era muy buena, solo hice algunos comentarios menores". Me alegró sobremanera saber que mi trabajo era "muy bueno" y que solo tenía algunos "comentarios menores". Cuando me entregó la copia revisada con sus comentarios, vi que las notas en tinta roja superaban la cantidad de texto original en negro. Tuve que volver a redactar todo unas dos o tres veces. Tardé dos o tres semanas en incluir sus comentarios originales más los nuevos comentarios que fue haciendo a partir de mis nuevas redacciones. Sin embargo, cuando, finalmente, estuvo satisfecho, el trabajo pasó muy fácilmente el proceso de revisión y lo publicaron sin demoras.

---

<sup>62</sup> Yousef Bozorgnia hizo su maestría y doctorado en ingeniería civil y ambiental en la Universidad de California en Berkeley. Asistió a las clases del Profesor Bertero en 1978 y 1979. El director de su tesis de doctorado fue James Kelly y el tema fue

aislamiento sísmica. Antes de ocupar su actual puesto como Director Asociado del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica, ejerció la profesión en Exponent (Failure Analysis Associates) y otras empresas.

También he notado que el Profesor Bertero es igualmente riguroso y crítico al editar sus propios escritos.

Ese trabajo nos llevó a considerar (en el 2000) la redacción de un libro que incluyera las últimas ideas de la ingeniería sísmica. El resultado fue la antología que producimos en 2004.<sup>63</sup> El título expresa que se trata de un abordaje histórico. La expresión “sismología de la ingeniería” que aparece en el título se refiere a la expresión que se usaba originalmente para hablar de lo que más tarde se convertiría en *ingeniería sísmica*. Para referirnos a las tendencias actuales de la época en que publicamos el libro usamos la expresión “ingeniería basada en desempeño”. Nosotros escribimos el primer capítulo titulado “Los Primeros Años de la Ingeniería Sísmica y su Objetivo Moderno” – título que también indica el abordaje histórico del libro.

Convencer a los potenciales autores de que escribieran los distintos capítulos fue relativamente fácil. Todos querían participar al saber que el Profesor Bertero sería el editor del libro. Decidir el título, en cambio, fue difícil. El título original que le sugerimos a la editorial fue “Avances Recientes en Ingeniería Sísmica”. La editorial quería incluir la palabra “manual” en el título, pero el Profesor Bertero sentía que esa palabra

no reflejaba el contenido del libro y se negó.

Un sábado, durante el largo proceso para armar el libro y editar todo adecuadamente, el Profesor Bertero llamó por teléfono a mi casa. “Yousef, estoy muy preocupado por una ecuación que aparece en uno de los capítulos. Reunámonos”. Nos encontramos en la biblioteca del EERC. Él estaba seguro de que había un error de mecanografía en una de las ecuaciones, incluso a pesar de que la revisión de ese capítulo ya había sido aprobada. Ambos resolvimos la ecuación, cada uno por su lado, y, como siempre, el Profesor Bertero tenía razón.

### **Comentarios de Cierre del Profesor Bertero**

**Reitherman:** A sus estudiantes les ha ido muy bien, Profesor Bertero. Debe estar muy satisfecho con los resultados, por cómo se han desempeñado en sus carreras.

**Bertero:** Sí. Quisiera decir unas palabras. Como estudiante aprendí que se aprende más de los profesores que están verdaderamente dispuestos a escuchar y ayudar. Incluso si el profesor es muy exigente, eso termina beneficiando al alumno. Verlos ahora, sentados a esta mesa, como hombres exitosos, ver adónde han llegado en sus carreras – en

---

<sup>63</sup> Yousef Bozorgnia y Vitelmo V. Bertero, editores, *Earthquake Engineering: From*

*Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*. Boca Raton, LA, CRC Press, 2004.

la universidad o como profesionales – me alegra profundamente.

**Reitherman:** Todos sus ex alumnos coinciden en que usted fue un profesor muy exigente. ¿Tiene algo que refutar sobre las anécdotas y las bromas que ha escuchado hoy?

**Bertero:** Sí, fui severo con ellos, pero no porque me gustara verlos sufrir. El buen maestro es exigente. Sé que los he hecho trabajar duro, pero espero que sepan valorar lo que intentaba hacer por ellos.

Ahora que llevo varios años jubilado, puedo ver más claramente la historia de nuestra disciplina. Hoy, quienes fueron mis alumnos se están jubilando. Si hay algo que me preocupa es que, hoy, no se presta atención a la historia. No se aprende de lo que se hizo en el pasado. Se repiten los errores y eso es una pérdida de tiempo.

**Krawinkler:** Hay una parte suya en cada uno de nosotros, en nuestra forma de enseñar e investigar. Nos formamos con usted y eso se ve reflejado en nuestro trabajo y ahora se lo estamos transmitiendo a la próxima generación. Usted no conoce a todos nuestros alumnos, pero ellos sí lo conocen a usted.

**Mahin:** Es como la genealogía. Al ver a mis alumnos, a veces pienso que son los “nietos” de Bertero. El mensaje se sigue transmitiendo.

**Bertero:** Les agradezco por todo lo que dijeron aquí hoy. Me alegra ver que todos se han convertido en líderes y, por ello, confío en la generación que ustedes han formado. Ellos darán continuidad al trabajo.

# Fotos



*El Profesor Bertero creció en esta casa de la ciudad de Esperanza, Santa Fé (construida en 1928). Desde que fallecieron sus padres, la casa ha funcionado como instituto de inglés. La foto muestra a Bertero durante su visita a la ciudad en 2006.*



Los padres de Vitelmo Bertero retratados como una pareja joven de recién casados: Victorio Bertero y Lucía Gertrudis Riso Bertero.



Retrato de Vitelmo Bertero (izquierda) a la edad de dos años con su hermano Humberto de cuatro.



Los hermanos Humberto y Vitelmo Bertero con sus familias. Se indica el parentesco de cada uno con el Profesor Bertero. [Fila de atrás de izquierda a derecha:] Humberto Bertero (hermano), Vitelmo Bertero, Nydia Barceló (esposa), Victorio Bertero (padre). [Fila inferior:] Sara Bertero (sobrina), Nelly Bottai de Bertero (cuñada), María Teresa Bertero (hija), Marta Bertero (sobrina), Eduardo Bertero (hijo), Lucía Gertrudis Riso Bertero (madre), Tito Bertero (sobrino). 1953.



*Entrada principal del Colegio San José, el colegio donde Bertero hizo la primaria y el secundario.*



*Pensión en Rosario, Argentina, donde vivió Bertero mientras estudiaba en la Universidad Nacional del Litoral.*



*Facultad de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales Aplicadas a la Industria de la Universidad Nacional del Litoral en Rosario, Argentina. Bertero se recibió de ingeniero civil en esta universidad en 1947.*



*Foto grupal de los miembros del cuerpo docente de la Universidad de California en Berkeley durante el Simposio EERC-CUREE realizado en 1997 en homenaje al Profesor Bertero. De izquierda a derecha, sentados: Joseph Penzien, Egor Popov, Vitelmo Bertero, Boris Bresler, Hugh McNiven, Ray Clough. De pie: Gregory Fenves, James Kelly, Armen der Kiureghian, Alexander Scordelis, Filip Filippou, Anil Chopra, detrás de Chopra está Nikos Makris y, junto a él, Karl Pister, Edward Wilson, Stephen Mahin, Jack Bouwkamp, Jack Moehle, Adrew Whittaker.*



*En septiembre de 2006 fue uno de los invitados de honor durante las festividades para conmemorar el 150 aniversario de la ciudad de Esperanza. Aquí aparece reunido con el Intendente, Rafael A. DePace. Bertero recuerda: “El intendente y sus seis adjuntos empezaron a hacerme preguntas sobre mis actividades en Estados Unidos y, particularmente, sobre ingeniería sísmica. Tras dos horas de conversación, el Intendente me notificó que había sido declarado Ciudadano Ilustre de la ciudad e invitado especial para la ceremonia oficial del día siguiente, incluyendo el desfile”.*



*Nydia Ana Barceló Vilas y Vitelmo Victorio Bertero se casaron en 1949.*



*Vitelmo y Nydia y sus hijos con ocasión de su quincuagésimo aniversario de bodas. De pie, de izquierda a derecha: Edward, Richard, Mary Rita, Robert, María Teresa y Adolph. 1999.*



*Nydia y Vitelmo Bertero en 1999 durante su quincuagésimo aniversario de bodas.*

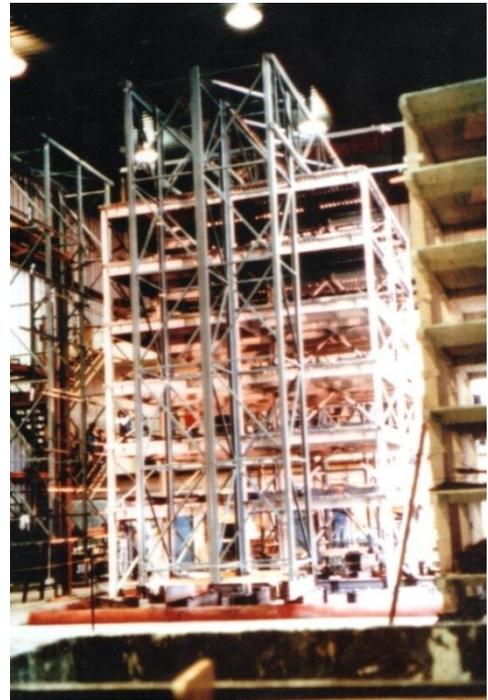
*El Profesor Bertero en la ceremonia de premios del Consejo de Tecnología Aplicada y Engineering News-Record de abril del 2006. Fue galardonado como uno de los mejores quince expertos en ingeniería sísmica de EE. UU. del siglo veinte. El Profesor Bertero había recibido el premio al Hombre del Año, otorgado por Engineering News-Record en 1990.*



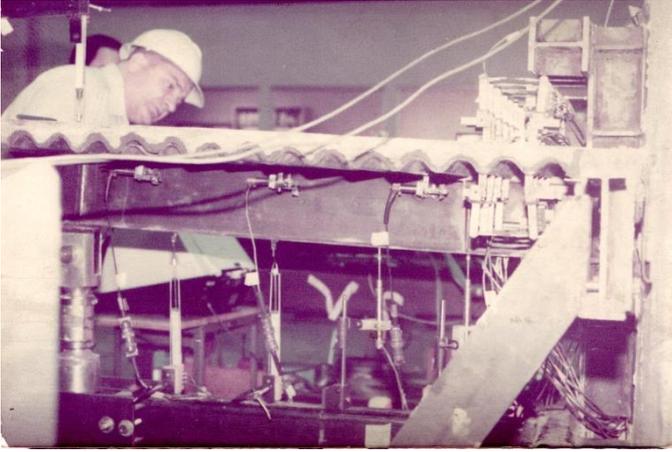


*El Profesor Bertero y parte del equipo del programa cooperativo de investigación EE. UU.-JAPÓN en grandes laboratorios. - Berkeley*

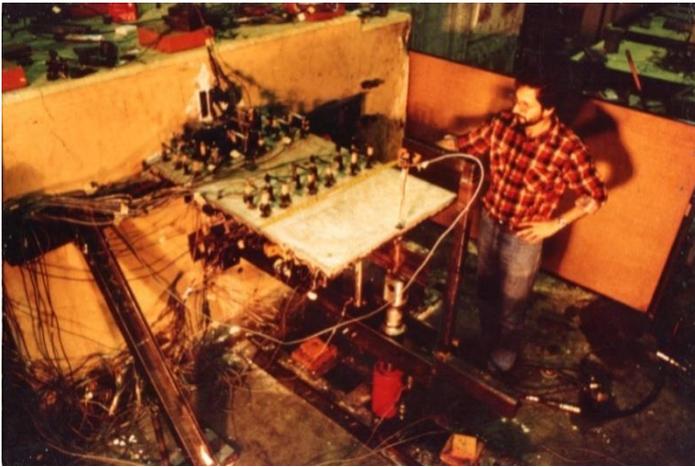
*De izquierda a derecha: V.V. Bertero, R. Sause, C. Llopiz, Finley Charney, D. Clyde, A. Chowdhury y Pat Quinn.*



*Los dos modelos completos sobre la mesa vibratoria de Richmond. A la izquierda, el modelo de hormigón armado, escala 1:5. Dimensiones en planta 3.40mx3.20m y altura total 4.35m. A la derecha el modelo de acero con losas de hormigón armado, escala 1:3.278. Dimensiones en planta 4.88mx4.575m. Altura total: 6.56m. En Japón se ensayaron los modelos en escala natural, 1:1.*



*Bertero inspecciona los modelos de construcción compuesta acero-hormigón armado, viga, columna y losa. Ensayos previos al ensayo de los modelos completos descritos previamente. Berkeley*



*Instrumentación para los ensayos en escala reducida de los ensambles sistemas de entrepisos de sección compuesta. Se investigaron diferentes formas de obtener adherencia entre chapa de acero y losa de hormigón. En la foto: Carlos Llopiz. – Berkeley.*



Visita en abril de 1996 a Mendoza. [De izquierda a derecha:] Ing. Elbio Villafañe, Ing. Ricardo Cuervo, Prof. V. V. Bertero, Prof. Francisco Sentinelli, Ing. C. R. Llopiz e Ing. López Triaca.

[Abajo] Foto tomada durante el Seminario de Ingeniería Sísmica. Bertero compartió muchas reuniones informales con profesionales e investigadores de Chile y Argentina. En la foto, de espaldas Ing. Juan Camps, luego Prof. Juan Carmona, Vitelmo V. Bertero, Prof. Patricio Bonelli, Ing. Ricardo Cuervo y Prof. Rodolfo Saragoni



*Durante el desarrollo del 3-EIPAC-1997 y en presencia del Profesor Bertero se colocó la piedra fundamental del IMERIS, Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico. Presentes en la ceremonia de izquierda a derecha Prof. F. Sentinelli, Prof. Alejandro Giuliano, Dr. Rodolfo Danesi, Prof. Bertero, Prof. Carlos Llopiz, y el decano de la F.I. Ing. Eduardo Manfredi.*



*El IMERIS fue construido a partir del 2006, e inaugurado en el 2008.*





*Almuerzo en casa de Carlos Llopiz el día previo al inicio del 3-EIPAC-97. En la foto aparecen junto al Prof. Bertero el Dr. Marcial Blondet, el Dr. Raúl Bertero y los ingenieros Norberto González, Agustín Reborado, Raúl Gimenez Mathus, Carlos Volpín (Bariloche), Alejandro. F. Llopiz y Carlos R. Llopiz. Las esposas de los organizadores nos acompañaron durante los eventos sociales.*



*Mendoza, abril 1996.  
[De izquierda a derecha:] Ing. Olivencia, Ing. Michelinini, Prof. Villafaña, Prof. Bertero, Ing. R. Cuervo, Oriana Vega Paeile y Prof. Patricio Bonelli.*



*Jornadas Chilenas de Ingeniería Antisísmica. 1986, Viña del Mar. Los Profesores V. V. Bertero y Nigel Priestley. Dos gigantes que siempre vinieron a Chile y Argentina y que tuvieron una influencia enorme en el desarrollo de la ingeniería.*



*El Profesor Bertero disfrutando de la bella costa de Viña del Mar junto al Ing. Patricio Bonelli y, seguramente, también buscando algún edificio que le llamara la atención. Era especialista en fotografiar edificios vulnerables ante potenciales terremotos. Muchas veces, el tiempo le dio la razón.*

*Cena de cierre de las Jornadas de Achisina 1986. Comparten la mesa con Bertero los profesores Rodrigo Flores, Luis Decanini, Mauricio Sarrazín y Patricio Bonelli.*



*Momento de relax. El Profesor Bertero en Viña del Mar, Chile.*

