

LOS CRUCES ENTRE EL CÁLCULO DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO Y LA ARQUITECTURA SISMORRESISTENTE A COMIENZOS DEL SIGLO XX EN CHILE^{1, 2}

CROSSING REINFORCED CONCRETE BRIDGES ENGINEERING AND ARCHITECTURAL PROOF BUILDING DESIGN AT THE BEGINNING OF XXTH CENTURY IN CHILE

MARCO BARRIENTOS*

Marco Barrientos³
Universidad Diego Portales
Santiago, Chile

Resumen

Los altos estándares de resistencia sísmica que presenta la edificación en Chile reflejan la eficiencia estructural y arquitectónica alcanzados durante las últimas décadas. Esto se observa en los acotados daños presentes (especialmente en construcciones recientes), con posterioridad a cada evento sísmico significativo. Lo que es menos evidente, sin embargo, son los fundamentos que han dado sustento teórico y empírico para la erección de edificios resistentes a grandes seísmos. Tales fundamentos remiten, a su vez, un proceso histórico desarrollado en el país de forma sostenida desde comienzos del siglo XX, y que explica en buena medida cómo se ha consolidado paulatinamente una edificación sísmicamente eficaz.

El trabajo examina los antecedentes que sirvieron de base al cálculo estructural centrado en la estabilidad de las construcciones y resistencia sísmica. Se sostiene que la inclinación por erigir edificios de hormigón armado a comienzos del siglo XX en Chile, se debió en parte a la experiencia previa adquirida en los estudios, diseño y ejecución de obras de infraestructura, particularmente, en puentes de hormigón armado. Desde un punto de vista historiográfico, el escrito propone contribuir a comprender una parte del desarrollo de la arquitectura del período, a la luz de los cruces y transferencias disciplinares provenientes del cálculo de puentes. Se examinan los antecedentes y fuentes científicas y técnicas que nutrieron las exploraciones teóricas y empíricas de resistencia sísmica en Chile y sus alcances en la edificación, bajo criterios estructurales fundados en el principio de resistencia por rigidez y monolitismo estructural.

Palabras clave

arquitectura; hormigón armado; puentes; resistencia sísmica

Abstract

Contemporary high standards in seismic building behavior in Chile, evidence structural and architectural design efficiency reached during the past few decades. Limited damages and building destruction after great earthquakes show some of this condition. In contrast, some other aspects, referred to theoretical and empirical approaches in which earthquake proof building design is based on, are less evident. Such basis refer to a historic process developed from the beginning of the XXth century in the country, which explains how earthquake proof buildings have been progressively consolidating all around the country, and consequently, reducing earthquake destruction.

This paper examines the structural engineering historical sources that provided some essential concepts related with stability and earthquake resistance at the beginning of the XXth century. It suggests that part of the tendency toward erecting reinforced concrete buildings can be explained by some critical studies, projects and construction processes of concrete bridges developed during this period. The article contributes to a better understanding of local architectural historiography, through the transferences between scientific and technological historical advances that provided theoretical and empirical approaches to seismic resistance in Chile, and its impact on buildings, and structural criteria based on monolithic and rigidity principles.

Keywords

architecture; bridges; earthquake proof building; reinforced concrete

REVISTA 180 (2018) 42 · MARCO BARRIENTOS

Cómo citar este artículo: Barrientos, M. (2018). Los cruces entre el cálculo de puentes de hormigón armado y la arquitectura sismorresistente a comienzos del siglo XX en Chile. *Revista 180*, 42, 68-75. [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-42.\(2018\).art-560](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-42.(2018).art-560)

DOI: [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-42.\(2018\).art-560](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-42.(2018).art-560)

INTRODUCCIÓN: ARQUITECTURA, EL CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS Y LA DESTRUCCIÓN SÍSMICA

Los aportes y transferencias que ligan las obras de infraestructura con la arquitectura no es un tema nuevo. Ejemplos de ello abundan en la historia de la arquitectura, como los avances tecnológicos alcanzados durante la revolución industrial (hierro, acero y hormigón armado), transferidos posteriormente a la construcción y la arquitectura.

Sin embargo, la historiografía de la arquitectura en Chile prácticamente no ha abordado la relación entre puentes y edificios en hormigón armado. Y buena parte de los autores que han tratado el desarrollo de la arquitectura moderna en el país, han atribuido una carga importante al influjo cultural proveniente de Europa, especialmente al alero de las vanguardias, sobre el cual se cimentaron las bases de la arquitectura en el período. Al respecto, Pérez (2017) releva ciertas figuras (S. Larraín; E. Costabal y A. Garáfulic; R. Dávila Carson; J. Martínez; o M. Despouy, entre otros) como actores relevantes que lideraron, en calidad de arquitectos, la transformación de la arquitectura en el país hacia el primer tercio del siglo XX. Aguirre (2012), en cambio, centra el análisis en las actividades productivas alojadas en las salitreras del norte de Chile, como el origen y motor que propició la instalación de una mirada moderna en el país y, posteriormente, en la arquitectura. Eliash y Moreno (1989) proponen que la modernización y modernidad del país fue posible por las formas de intercambio cultural con Europa, a través de algunos agentes que asimilaron —de forma parcial— dicho proceso mediante viajes a ese continente. Desde una perspectiva local latinoamericana, Fernández (1990) plantea una *"modernidad apropiada"* como actitud común de los arquitectos latinoamericanos (...) [en tanto] exigencia de diversidad apropiada a cada realidad (...) con resultados arquitectónicos concretos" (p. 56). Browne (1988), en cambio, recoge los planteamientos de buena parte de la historiografía latinoamericana, y le atribuye una cierta "incapacidad de ver la realidad a través de nuestras propias categorías" en alusión a lo que denomina más adelante "concepto imperial de la cultura arquitectónica" (pp. 10-11). Es decir, una cierta posición receptora de influencias externas. En contraste, Fuentes señala tres ejes centrales que permitirían comprender la "introducción del ideario moderno [en Chile] (...): la difusión de ideas (...), la elaboración de conceptos propios a partir de las premisas extranjeras y por el proyecto y construcción de edificios que formalizaron esos fundamentos" (Fuentes, 2008, p. 62).

Desde una mirada historiográfica crítica, Torrent sostiene en tanto, que buena parte de los autores nacionales "repite los enfoques tradicionales con énfasis en la importación de ideas..." (Torrent, 2017, p. 283), proponiendo como posible solución a dicho

diagnóstico una suerte de "desprendimiento de la lectura interpretativa de tradición moderna y una mayor capitalización del análisis crítico de casos y fuentes podría colaborar en superar la reproducción de ideas que adolece la historiografía local" (p. 292). Con todo, el caso chileno, a pesar de su posición periférica en el concierto internacional (particularmente durante buena parte del siglo XX), ha logrado condensar un proceso de institucionalización de la arquitectura cargado con una riqueza cultural y complejidad profesional (Pérez, Pérez de Arce y Torrent, 2010).

A partir de lo anterior, el presente trabajo propone una mirada que pone atención en una parte del proceso de institucionalización y la complejidad profesional a la que aluden los últimos autores, aunque extendiéndola hacia una red donde los cruces entre el cálculo de puentes, la arquitectura y la prevención de la destrucción sísmica confluyeron hacia un campo teórico y empírico común. Un análisis crítico enfocado desde esa perspectiva como la que aquí se propone, permitirá considerar variables hasta ahora prácticamente ausentes en los debates. Y con ello, comprender una parte de los alcances que supuso la transferencia teórica, técnica y empírica de puentes de hormigón armado en la arquitectura sismo-resistente en Chile.

SEÍSMOS, VIBRACIONES Y RESISTENCIA

Los estudios sobre resistencia sísmica recurren, por lo general, a metodologías de trabajo fundadas en analogías. Esto es pertinente y ha rendido frutos, pues los terremotos continúan siendo un fenómeno eminentemente complejo y en buena medida desconocido.

En California, Estados Unidos, algunas investigaciones relativas a los efectos de los seísmos en la edificación (a partir de 1930 con mayor énfasis), nacieron desde la ingeniería mecánica de vehículos motorizados terrestres y aéreos. Esto, que a primera vista parece ajeno, fue en realidad, una aproximación que contribuyó con métodos y recursos de cálculo estructural que resultan útiles incluso en la actualidad. Entre otros aportes, destaca por ejemplo la introducción de conceptos como amortiguación (*dumping*); elasticidad o plasticidad, relativas a las propiedades mecánicas de los materiales; o la asimilación del fenómeno sísmico en tanto vibración análoga a la que sufren vehículos en desplazamiento.

La particularidad del medio californiano radica en que buena parte de sus trabajos (alojados principalmente en las universidades de Stanford y California), avanzaron a través de modelos y simulaciones, en sustitución de la experiencia sísmica. Esto se explica principalmente por la baja tasa de recurrencia sísmica.

La escuela japonesa, en cambio, estuvo marcada por traumáticos eventos, entre los que destaca, a comienzos de siglo, el gran terremoto de 1923. La destrucción de

importantes centros urbanos junto con los elevados costos humanos y económicos, marcaron un hito importante en la historia sísmica mundial, que derivaron en importantes contribuciones al cálculo estructural sismorresistente. Específicamente, la medición del evento: período, amplitud y aceleración (Maldonado y Pfenning, 1965). Esto, sumado a la evidencia que arrojó el buen desempeño de edificaciones en hormigón armado, propiciaron la adopción de un criterio de diseño que fuera resistente a los terremotos a través de construcciones monolíticas en hormigón armado, con capacidad de resistencia por la rigidización de sus componentes estructurantes.

A partir de la experiencia japonesa, se afianzó en Chile el supuesto que estructuras fabricadas en hormigón armado representaban edificaciones con ciertos niveles de seguridad, concebidas —no obstante— bajo diseños adecuados para resistir las tensiones que genera un determinado evento sísmico. El terremoto de 1923 tuvo también repercusiones en el medio profesional, como da cuenta el artículo suscrito por el entonces director del Servicio Sismológico Nacional, afirmando que:

Los edificios de cemento armado, construidos cuidadosamente, empleando materiales de 1ª clase, fundamentos especiales y obreros competentes, resultan asísmicos, es decir que puede soportar perfectamente las oscilaciones del suelo... (Bobillier, 1923, p. 636).

La adopción de este sistema estructural y material, y la posterior incorporación en la Ordenanza de 1930 del factor sísmico —asociado a “fuerzas laterales de 1/10 y 1/20 del peso, dependiendo de las condiciones del suelo y otros factores” (Flores, 1993, p. 164)— redundó a la postre en un aumento de las posibilidades de diseño que propició, a su vez, la materialización de edificios en altura, como el Ministerio de Hacienda (Figura 1). La obra, emplazada a un costado del Palacio de La Moneda, y diseñada por la oficina de arquitectos Smith Solar y Smith Miller, fue construida prácticamente en paralelo a la promulgación de la ley de 1929. Este edificio, representa una de las primeras construcciones en altura, concebida íntegramente como pieza monolítica, bajo un criterio de estructuración basado en el método estático y el principio de resistencia por rigidez, lo que permitió concretar una de las primeras exploraciones arquitectónicas en altura en Chile, configurada a partir de planta libre (Barrientos, 2016). Con todo, es importante destacar que la cuestión de fondo radicaba, sobre todo, en establecer estándares de seguridad bajo supuestos como de resistencia por masa y rigidez, que se expresaban en elementos estructurales muchas veces sobredimensionados y, por tanto, con incrementos económicos considerables.

De las investigaciones y modelos americanos, Chile asimiló fundamentalmente la concepción del fenómeno



Figura 1. Edificio Ministerio de Hacienda, 1930c. Fachada principal oriente.

Fuente: Archivo digital Ministerio de Obras Públicas.

sísmico en tanto vibraciones en propagación mediante ondas, así como las indagaciones en torno a las propiedades mecánicas de los materiales, sometidos a cargas axiales, pero también a tensiones sísmicas⁴. Además de las relaciones con las escuelas californiana y japonesa, el caso chileno trazó también su propia ruta, a partir de los estudios de cálculo estructural de obras de infraestructura, y, específicamente, sobre puentes de hormigón armado.

CÁLCULO DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO Y LA ARQUITECTURA SISMO-RESISTENCIA EN CHILE

El impacto que supuso el establecimiento de una red de obras de infraestructura vial en el país, desde mediados del siglo XIX hasta las primeras décadas del siguiente, implicó en términos generales la conexión territorial de la nación, donde primó inicialmente el empleo de estructuras metálicas (Pérez, 2016) circunscrito a redes ferroviarias. La posterior proliferación del automóvil (a partir de 1920) requirió del uso de hormigón armado en función de la necesidad de proveer caminos

pavimentados (Pérez, 2016). Parte de las implicancias de estas políticas públicas, se tradujo en “[l]a presión por mejores caminos [y que] se expresó en instrumentos legales que favorecieron su mejoramiento y promovieron su construcción” (Pérez, 2016, p. 27)⁵.

Pero, junto con las obras de infraestructura vial, el Estado fomentó también la construcción de una serie de edificios fiscales, que en muchos casos fueron diseñados en hormigón armado, en buena medida por las propiedades mecánicas y resistencia a los tipos de deformación que imprimen los sismos. Es probable que la variable económica haya sido también un factor determinante en la elección de este material —por sobre otros—, considerando que la prevención de la destrucción supone un resguardo de la protección del patrimonio económico fiscal, en este caso, en tanto inversiones en infraestructura y edificación.

Así, la importancia que cobraron los puentes en general, y los construidos en hormigón armado en particular, permiten comprender parte del temprano desarrollo técnico en el país, de la mano de un conjunto de ingenieros especializados en esta rama del diseño estructural. Empresa que abrió también un vasto campo de exploración que permitió cimentar las bases para el posterior posicionamiento del hormigón armado como recurso idóneo en el medio local, que abarcó la ejecución de obras civiles y, posteriormente, de edificación.

Por otro lado, los terremotos y sus continuos efectos destructores en las ciudades, edificios e infraestructura, jugaron un rol importante en el proceso de sustitución paulatina de construcciones sísmicamente vulnerables —tradicionalmente fabricadas en tierra (arcilla y barro)— (Torrent, 2013), por edificios resistentes a los embates sísmicos, con predominio de estructuras de hormigón armado. Institucionalmente en tanto, del conjunto de acciones promovidas por parte del Estado durante el período, tendientes a establecer medidas de prevención de la destrucción, destaca la promulgación de la Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización en 1929 y 1930, respectivamente.

Estructuralmente, es importante establecer una diferencia sustancial entre puentes y edificios. En efecto, las fuerzas que actúan en una construcción eminentemente horizontal —como son los puentes— son distintas de las que se presenta un cuerpo en altura —edificios de uno o más pisos— y, por tanto, las tensiones a las que son sometidas en ambos casos durante un evento sísmico son distintas también. La particularidad del caso chileno, en este sentido, nació a partir de la complejidad que supuso el traslado de los estudios de estructuración de puentes hacia los métodos de cálculo de edificios, en especial aquellos en altura. Esto permitió, en el mediano y largo plazo, la consolidación progresiva de una arquitectura resistente a los terremotos, y que exploró posibilidades espaciales

y plásticas que rebasaron las limitaciones que históricamente ha impuesto el fenómeno sísmico.

El diseño y ejecución de puentes en Chile ha sido una rama de las obras públicas de primer orden, y ha contado con procedimientos normativos establecidos a lo menos desde fines del siglo XIX. Las inversiones públicas requieren de una estructura administrativa que abarca aspectos contractuales entre el Estado, como mandante, y las empresas constructoras, como ejecutante. En este marco institucional, un conjunto de reglamentos, normas y documentos oficiales conformaron un cuerpo de regulación que sirvió de base no solo para la redacción de la Ordenanza General de 1930 (Barrientos, 2016), sino que también para la cimentación de los fundamentos teóricos y empíricos del cálculo estructural de obras en hormigón armado.

Por otro lado, las políticas públicas encaminadas a conformar una red de infraestructura vial en el país refieren aspectos políticos, económicos o sociales pero, sobre todo, una necesidad orientada a la integración física del territorio nacional condicionada por una geografía particularmente compleja por los diversos accidentes que la caracterizan. Accidentes como cuencas y lechos de ríos, depresiones, quebradas u otros, en los que el empleo de puentes resultó imprescindible. En este contexto, entre fines del siglo XIX y comienzos del XX, el Estado contó con una ingente provisión de puentes para uso exclusivo de vías férreas, tal como lo señalaba el ingeniero Alliende, al enfatizar que:

Está vigente desde hace unos 8 meses la ley que autoriza la construcción de puentes carreteros en el país (...) [que] abarca este interesante problema en toda su amplitud, pues enumera desde luego, 242 obras que deben ejecutarse preferentemente (...) Tan vasto programa, que en realidad comprende todo lo que el país necesita a este respecto, exige recursos de cierta importancia... (Alliende, 1925, p. 609).

Junto con la voluminosa inyección de recursos económicos que inversiones de esta escala requieren, la cantidad de puentes reportada por Alliende permite dimensionar los alcances nacionales del problema, la envergadura de la empresa que supuso la ejecución de estas obras y la importancia clave que alcanzó tempranamente un área especializada en ingeniería.

Históricamente, la edificación en Chile ha sufrido, de modo más o menos continuo, embates sísmicos que han dejado extensas zonas completamente destruidas. Esto, ya desde el siglo XVI en adelante, pero la vulnerabilidad sísmica de la edificación no se limita solamente a este tipo de construcciones. La crisis política, económica y social que supone un terremoto en un área determinada, puede agudizarse dramáticamente por los daños sufridos en infraestructura vial, causales directos del aislamiento de zonas pobladas, muchas veces

desprovistas de recursos suficientes para hacer frente a la emergencia que impone la catástrofe. Este punto permite comprender el profuso conjunto de estudios críticos elaborados en el país, y la importancia que tuvo desde un comienzo la especialización en puentes dentro del campo de la ingeniería estructural. En este sentido, el ingeniero y director general de Obras Públicas, Enrique Döll, puso el acento en atender la necesidad de modificar la ley relacionada con las Obras Públicas (1842) sobre “caminos, canales, puentes i calzadas,” aduciendo que:

El problema de la construcción de nuevos caminos i de la conservación de los existentes en nuestro país ha sido desde tiempo atrás para la Dirección de mi cargo objeto de especial atención. A pesar de los esfuerzos gastados para resolver en condiciones el problema, considero que no se llegara a resultados verdaderamente apreciables, mientras no se apruebe el proyecto de lei (...) que tiende a modificar la lei de 1842 (Döll, 1911, p. 366).

Del conjunto de ingenieros de comienzos del siglo XX especializados en caminos y puentes, destacan figuras como Bruno Elsner, Gustavo Lira, Jorge Ewerbeck o Eduardo Aguirre, por citar algunos. Sus aportes, tangibles en diversos artículos académicos del período, exponen los debates científicos sobre criterios de diseño y métodos de cálculo estructural empleados en puentes de hormigón armado y acero, entre otras materias. Parte de estos trabajos corresponden a estudios críticos que analizan las múltiples causas de roturas, colapsos o fallas estructurales importantes en puentes de hormigón armado, avanzando también en posibles soluciones y, con ello, en el perfeccionamiento progresivo de los métodos de cálculo y construcción. Aunque un número importante de estos trabajos abordaron el problema sísmico como factor clave, la mayoría abarcó cuestiones específicas de la materia, como por ejemplo el diseño de cepas.

Los puentes, al igual que los edificios, deben buena parte de su estabilidad a las fundaciones sobre las que se asientan. En el primer caso, este punto se ve exigido por otros tipos de factores. De hecho, uno de los problemas más recurrentes y perjudiciales en las cepas es la erosión que producen los torrentes fluviales, así como las crecidas de los caudales. Lo que, sumado a la variable económica, permite iluminar uno de los pasajes que plantea el ingeniero Santa María, al sostener que:

El pilotaje es un excelente [sic] sistema de fundación económica, i por consiguiente, mui adecuado para la construcción de puentes carreteros (...) [aunque] lo que falta es un buen clavado de estos pilotajes para que queden a salvo de socavaciones, lo que se conseguirá, como lo hemos visto también con los mismos cálculos de los puentes ferroviarios, cuando en la parte de los casos los pilotajes se entierren de 7 a 8 m... (Santa María, 1901, p. 29).

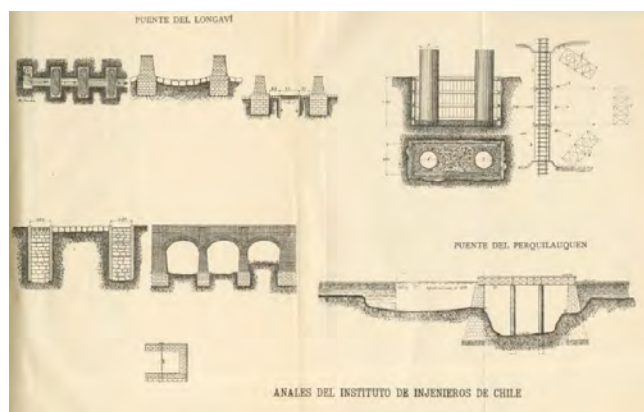


Figura 2. Estudio de cepas puentes Longaví y Perquillauquén. Fuente: Santa María, 1901, s.p.

Un cuidado estudio de lo anterior corresponde al diseño de cepas de los puentes Longaví y Perquillauquén del propio Santa María, concebidos en fábricas de mampostería y albañilería. En ambos casos se observa, además, el empleo de elementos soportantes masivos asentados en robustas fundaciones que adscriben a un criterio de concentración de masa en las bases y aligeramiento de peso propio en sentido ascendente (Figura 2).

Es preciso establecer una diferencia entre el caso de puentes y la edificación sobre este punto. En el primer caso, la importancia que representan las cepas para la estabilidad y durabilidad de la estructura fue un concepto tempranamente asimilado; mientras que en el caso de la edificación en general, y los edificios en altura en particular, fue algo más tardío. En efecto, fue con posterioridad al terremoto de Chillán de 1939, que los efectos que producen los sismos en la edificación afectan en primer término a las fundaciones y, desde estas, las ondas vibratorias se propagan al resto del edificio. Concepción que a la postre derivó en la incorporación del método de cálculo dinámico como recurso de diseño estructural. Con todo, el reconocimiento de la función clave que cumplen los cimientos en la estabilidad de una construcción, en conjunto con la clasificación y segregación de los tipos y calidades de suelos de fundación y el cálculo estructural de estos componentes, pudo haber tenido relación con los estudios aplicados anteriormente en cepas, reconociendo evidentemente que corresponden a elementos que obedecen a solicitaciones distintas. Otros documentos de interés son, por ejemplo, el artículo publicado por Gustavo Lira en 1929, titulado “Estabilidad sísmica de las construcciones”, en el cual se examinan el comportamiento y las deformaciones de las construcciones sometidos a una determinada acción sísmica, mediante conceptos físicos y ecuaciones matemáticas. El texto anticipa también conceptos vigentes aún en la actualidad, como el

esfuerzo de corte, momento de flexión, deformaciones elásticas o plásticas, desplazamiento máximo y amplitud del evento sísmico (Lira, 1929).

Otra evidencia notable, que permite iluminar la relación directa entre infraestructura y arquitectura en Chile, se encuentra en las “Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los temblores,” publicada en 1928. Esta norma, confeccionada para obras estatales edilicias, no fue la única relacionada con temas de construcción, estabilidad y procedimientos establecidos para el diseño y ejecución de obras públicas (Barrientos, 2018)⁶. De hecho, formaba parte de un conjunto de otros instrumentos reglamentarios y normativos emitidos por diversas dependencias del Estado, incluido del Departamento de Caminos, del Ministerio de Fomento; o la Dirección General de Arquitectura, del Ministerio del Interior; entre otros. Esto da cuenta de una política general promovida por el Estado, con bases científicas y técnicas, referida a procedimientos de diseño, ejecución y contratos de construcciones fiscales. Es decir, puentes, obras civiles y edificios. La norma que redactaron los ingenieros Elsner, Ewerbeck y Lira constituye además una fuente que permite establecer ciertas relaciones que vinculan los procedimientos de diseño, cálculo y construcción de puentes y edificios de hormigón armado, y que sirvió de base directa para la confección de la Ordenanza General publicada en 1930.

A grandes rasgos, el volumen contiene una breve reseña sobre lo que entonces se comprendía sobre el fenómeno sísmico. Aunque su principal contenido se concentra en desarrollar un conjunto de criterios y fórmulas de cálculo estructural de edificios, sustentados en el método estático. Tanto el método estático, como algunos principios fundamentales de diseño y las condiciones de estabilidad, fueron también empleados (y con anterioridad) en puentes de hormigón armado.

Su autor principal, Bruno Elsner, dedicó buena parte de su carrera al ejercicio profesional en el Estado y la Academia, con especialización en puentes de hormigón armado. En 1922 publicó un interesante artículo sobre cuatro puentes emplazados en la zona centro sur del país. En el documento, justifica las causas que explican la predilección del hormigón armado por sobre el acero, ambos igualmente eficientes frente a los terremotos e incendios, señalando que:

Las alteraciones profundas que la guerra produjo en el mercado, las grandes dificultades que se presentaron para importar estructuras metálicas del extranjero y su alza considerable de precio, indujo a los contratistas a estudiar nuevas soluciones para estos puentes... [para lo

qual] [p]resentaron (...) a la Dirección de Obras Públicas anteproyectos de concreto armado para los puentes mayores de Ferrocarril (sic) y (...) cuyos planos definitivos fueron estudiados en esta Oficina (Elsner, 1922, pp. 460-461).

No cabe duda que, como señala el ingeniero, el factor gravitante que supuso en los mercados la alteración de las demandas por determinados productos y materias primas afectó, en ciertos casos, de forma decisiva el empleo de ciertos materiales. En el caso chileno, esta causa explica en parte la inclinación por el empleo de hormigón antes que el acero. Junto con ello, el temprano establecimiento de la industria productora de cementos en el país y la evidencia empírica que demostró el buen desempeño sismorresistente de construcciones fabricadas en hormigón armado, terminaron por cimentar un criterio de diseño basado en la resistencia por rigidez.

Dicha propensión por el hormigón armado, se vio reflejada a su vez en un número importante de puentes construidos durante las primeras décadas del siglo XX, en algunos de cuyos casos le cupo a Elsner una labor central. Los puentes Traiguén, Tricauco, Chanco y Quino (Figuras 3 y 4) fueron diseñados y construidos bajo los parámetros normativos establecidos para este tipo de obras en particular, pero también bajo las directrices aplicadas a toda obra fiscal, incluida la edificación. Así lo confirma Elsner al establecer la jerarquía procedimental en el Estado, afirmando que “Tanto en cálculo de estos puentes, como su construcción, quedó subordinado a las especificaciones del pliego de condiciones para obras de concreto armado en vigencia y a especificaciones complementarias agregadas al contrato de construcción” (Elsner, 1922, p. 466).

Desde una perspectiva morfológica y plástica de los elementos soportantes que pueden comparecer en un puente, como arco, pilares, vigas o machones, son comunes también a las obras edificatorias, independientemente a las variantes tipológicas a las que una pieza o conjunto adscriba. Al respecto, tanto el puente Traiguén como el puente Quino, sintetizan la conjugación de diversos sistemas que, por su naturaleza material, conforman una sola pieza unitaria y monolítica (Figura 4).

Por otro lado, se debe precisar que el pliego de condiciones citada por Elsner no se refiere únicamente a obras civiles. De hecho, tuvo aplicaciones en obras edilicias y, en general, en todo tipo de construcción de carácter fiscal. Por tanto, constituye una raíz común en la que convergen la arquitectura y la infraestructura en un momento crucial que marcó, en buena medida, la trayectoria que siguió posteriormente la construcción en el país, siempre constreñida a las solicitudes impuestas por el fenómeno sísmico.



Figura 3. Vista del molde para concreto armado utilizado para construir el puente ferroviario sobre el río Traiguén, entre Púa y Traiguén, 1920.
Fuente: Colección Museo Histórico Nacional.



Figura 4. Puente Quino. Vista de la construcción del puente ferroviario sobre el río Quino, entre Púa y Traiguén, s/a, 1920.
Fuente: Colección Museo Histórico Nacional.

CONCLUSIONES: NORMALIZACIÓN DE LA OBRA FISCAL, HACIA LA CRISTALIZACIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO COMO RECURSO SISMORRESISTENTE

Los diversos instrumentos que conformaron un marco de normalización de las construcciones fiscales a comienzos del siglo XX en Chile permiten concluir que algunos de estos documentos, como el Pliego de Condiciones, tuvieron un carácter jerárquico en la aplicabilidad de ciertas normas durante el proceso de licitación y ejecución de las obras fiscales. Tal ordenamiento administrativo debió ser replicable a todo tipo de construcción, sin distinción entre puentes y edificios, en la medida en que debían responder a ciertos estándares de construcción propios del aparato estatal. Así, tanto el diseño de puentes como edificios, se ajustaron a las disposiciones generales establecidas en el Pliego de Condiciones. Para el caso de las obras diseñadas en hormigón armado, se remitieron a la Normas de Estabilidad publicadas por Elsner, en coautoría con Ewerbeck y Lira. No es de extrañar, por tanto, que buena parte de los criterios recogidos en dicha fuente estuvieran alineados —y provinieran— de los lineamientos establecidos en las normas de diseño y construcción de puentes de hormigón, así como la supeditación al citado Pliego de Condiciones.

Por otro lado, el rol que le cupo a Elsner en la redacción de las normas que sirvieron de base a la Ordenanza General de 1930 fue decisivo, no solo en lo relativo a los métodos y criterios de diseño en ellas estipuladas, sino que también en la validación del hormigón armado como recurso constructivo eficiente para oponer resistencia a los eventos sísmicos recurrentes en Chile. Asimismo, los problemas relacionados con cepas,

uniones entre pilares, vigas, arcos y losas, encontraron también puntos de convergencia con los requerimientos de estabilidad presentes en la edificación, en la medida en que en ambos casos trataron problemas de estabilidad asociados a las cargas tensionales estáticas, pero también a la acción sísmica.

En un sentido histórico, la vasta cartera de proyectos de puentes desarrollados en el país a comienzos del siglo XX tuvo un correlato en las normas que rigieron las obras fiscales (y en particular las contribuciones de los ingenieros Elsner, Ewerbeck y Lira), a través de las cuales se emplearon métodos de cálculo estructural y criterios de resistencia que sirvieron de base para el cálculo de construcciones y, en especial, edificios en altura. Esto se tradujo, a su vez, en obras de infraestructura y edificación, cuyos diseños debieron ceñirse al principio de resistencia (estática y sísmica) mediante esqueletos rígidos y monolíticos, conformados principalmente por elementos de hormigón armado. Algo que para aquel primer tercio del siglo XX significó un avance técnico y tecnológico importante en el país, y que cobró forma en destacadas obras de arquitectura, como el Ministerio de Hacienda. Pero, probablemente el mayor logro estuvo centrado en la inventiva que subyace en la complejidad (teórica y operativa), que supone el traslado de conceptos de estabilidad de una construcción horizontal diseñada para resistir su peso propio y sobrecargas de vehículos en movimiento, hacia edificios habitables diseñados para resistir la concentración de su propio peso también acumulado conforme su altura lo determine. En ambos casos, considerando el fenómeno sísmico como un factor siempre condicionante, y donde convergen las exploraciones disciplinares de la ingeniería y la arquitectura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M. (2012). *La arquitectura moderna en Chile (1907-1942)*. *Revistas de Arquitectura y estrategia gremial*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Alliende, C., Aguirre, E., Concha, M., Salas, R. y Müller, W. (1925). Ley sobre construcción de puentes carreteros. *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, 2, 609-610.
- Barrientos, M. (2016a). La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972) (Tesis doctoral). Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Barrientos, M. (2016b). *Earthquake destruction, urban construction and infrastructure in Chile (1906-1958)*. Trabajo presentado en 17th IPHS. History, Urbanism, Resilience. International Planning History Society Proceedings Vol 17, No 3. Delft, Netherlands, EU.
- Barrientos, M. (2017). *Antecedentes del proceso de regulación sísmica en Chile: una interpretación crítica (1911-1936)*. *Intersecciones 2016. II Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio*. Santiago de Chile: Ediciones ARQ.
- Bobillier, M. (1923). El gran terremoto del Japón registrado en Santiago. *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, XXIII(10), 634-636.
- Browne, E. (1988). *Otra arquitectura en América Latina*. México D.F.: Ediciones Gustavo Gili.
- Döll, E. (1911). *Informe pasado por el Director de Obras Públicas del Ministerio del ramo. El Servicios de Caminos*. Santiago de Chile: MOP.
- [Edificio Ministerio de Hacienda, Fachada principal oriente] (1930c). Archivo digital Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- Elsner, B. (1922). Los puentes de concreto armado del ferrocarril de Púa a Traiguén. *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, XXII(8), 460-466.
- Elsner, B., Eberweck, J. y Lira, G. (1929). *Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los terremotos*. Santiago de Chile. Editorial Nascimento.
- Eliash, H. y Moreno, M. (1989). *Arquitectura y modernidad en Chile, 1925-1965*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Fernández Cox, C. (1990). *Arquitectura y modernidad apropiada. Tres aproximaciones y un intento*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Flores, R. (Ed.) (1993). *Ingeniería sísmica. El caso del sismo del 3 de marzo de 1985*. Santiago de Chile: Hachette.
- Fuentes, P. (2008). *El desarrollo de la arquitectura moderna en Chile, 1929-1970: Apropiación, debate y producción arquitectónica* (Tesis doctoral), Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Lira, G. (1929). Estabilidad sísmica de las construcciones. Anexo al informe sobre Normas de Cálculo y construcciones de obras públicas publicado en el número de septiembre. *Anales de Instituto de Ingenieros de Chile*, XXIX(10), s.p.
- Maldonado, A. y Pfenning, E. (1965). *Terremotos y normas antisísmicas* (Tesis para optar al título de arquitecto). Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Pérez, F. (2016). *Arquitectura en el Chile del siglo XX. Iniciando el nuevo siglo (Vol. 1), 1890-1930*. Santiago de Chile: Ediciones ARQ.
- [Puente Quino. Vista de la construcción del puente ferroviario sobre el río Quino, entre Púa y Traiguén]. (1920). Copyright© "Colección Museo Histórico Nacional", Santiago, Chile.
- Santa María, D. (1901). *Puentes chilenos*. Santiago de Chile: Imprenta Cervantes.
- Torrent, H. (marzo, 2013). *Ciudades de barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX*. Trabajo presentado en el IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Torrent, H. (2017). *Para una historiografía sobre la relación entre arquitectura y ciudad: imaginarios, discursos y representaciones. Intersecciones 2016. II Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio*. Santiago de Chile: Ediciones ARQ.
- [Vista del molde para concreto armado utilizado para construir el puente ferroviario sobre el río Traiguén, entre Púa y Traiguén]. (1920). Copyright© "Colección Museo Histórico Nacional".

NOTAS

- 1 Beca de Doctorado Nacional, Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt). Programa de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- 2 Recibido: 20 de junio de 2018. Aceptado: 9 de octubre de 2018.
- 3 Contacto: marco.barrientos.m@gmail.com
- 4 Más tardíamente, hacia la década de 1960, la Norma Chilena NCh433 Of.72 (1972) incorporó el modelo de espectro de aceleraciones, derivado de la teoría de los espectros, a la que contribuyeron básicamente ingenieros de Estados Unidos y Japón (Barrientos, 2016).
- 5 Ley de Caminos, 1920; Ley de Puentes, 1925; Plan de Obras Públicas, 1928 (Pérez, 2016).
- 6 Las normas citadas forman parte de un conjunto de normas emanadas desde diversos organismos del Estado chileno, relativas a temas relacionados a obras civiles y edificaciones de carácter fiscal.