

# ENCOFRADOS FLEXIBLES

OTRA FORMA PARA EL HORMIGÓN



**David Jolly**

Profesor titular, Escuela de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

**Miguel Eyquem**

Profesor titular, Escuela de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

**Victoria Jolly**

Alumna del Magíster Náutico y marítimo, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Fotografías: **archivo de autores, Mark West**

Esta colaboración internacional aprovecha el estatus de laboratorio constructivo de la Ciudad Abierta en Ritoque y las exploraciones en torno a un encofrado que trabaja con el peso propio de la mezcla para generar formas continuas y complejas.

## PALABRAS CLAVE

Arquitectura en hormigón, prefabricación, hormigón armado, Ciudad Abierta, CAST

ENGLISH TEXT PAGE 65



Esta es una construcción creativa que comenzó en 2002 con la llegada a la Ciudad Abierta en Ritoque del arquitecto Mark West, quien residió por una temporada en ella junto a su familia. Las primeras experiencias de West en Ritoque fueron artísticas: **utilizó telas como contenedoras de argamasa para constituir volúmenes escultóricos**, que posteriormente fueron expuestos en la galería Storefront en Nueva York, Estados Unidos.

Durante su estadía en la Ciudad Abierta, **West planteó la posibilidad de utilizar telas como contenedores del hormigón para obtener nuevas formas arquitectónicas**; en ese momento nos encontramos realizando la Mesa del Entreacto, un lugar al aire libre para recibir a cien comensales. En el acto, levantamos junto a él dos columnas de siete pies de alto y un asiento a ras de suelo, todo realizado con encofrados flexibles. Con eso comenzó una relación creativa que continúa hasta el presente.

A su vuelta a la Universidad de Manitoba en Winnipeg, Canadá, West fundó CAST (*Center for Architectural Structures and Technology*), un laboratorio dedicado al estudio y experimentación de los encofrados flexibles, que dirige hasta hoy y con el cual iniciamos una fecunda colaboración.

## MOLDAJES FLEXIBLES: LOS MÉTODOS EMPLEADOS

El empleo de membranas flexibles como encofrados para el hormigón es una metodología nueva que no tiene antecedentes notables en Chile. Tradicionalmente, **los contenedores para argamasas líquidas o semilíquidas –yeso, barro, hormigón– han sido fabricados con materiales rígidos; desde los complejos moldes para metal fundido usados en escultura, hasta los encofrados rectilíneos usuales para el hormigón armado.** Todos ellos gobiernan la forma definitiva de la argamasa por medio de un material que minimiza las deformaciones.

En los encofrados flexibles, la argamasa del hormigón es contenida por una combinación de elementos rígidos soportantes y una membrana que solo resiste tracciones. De este modo, **al recibir la masa del hormigón, la membrana la contiene y adopta automáticamente una forma gravitacional.** Este es un hecho mecánico que, en igualdad de condiciones, genera la misma forma y, por tanto, es gobernable.

La investigación en el laboratorio CAST comenzó por indagar cuáles son las formas posibles de obtener en esta combinación de

argamasa pesada y una membrana soportante que la contiene. La experimentación se ha centrado en la búsqueda formal a partir de la adecuada combinación de membranas y elementos rígidos. Lo novedoso aquí implica a lo menos dos dimensiones. La primera es una nueva figura, su perfil y la continuidad de las superficies que necesariamente tiene, dado que se trata de cuerpos tridimensionales. La segunda es que estos cuerpos complejos se obtienen por medio de operaciones constructivas de relativa simplicidad. En otras palabras, **el armado del encofrado y su llenado se realizan en un breve periodo de tiempo, lo que se puede sintetizar en una dimensión: bajo costo del encofrado y eficiente operabilidad en relación con la forma compleja que se obtiene.**

Estas operaciones constructivas se pueden aplicar en dos campos. Uno es el modo artesanal, donde cada pieza se realiza in situ y puede constituir un ejemplar único. El otro es el de fabricación industrial, donde cada elemento se repite un gran número de veces, con lo que se logra una calidad garantizada, al mismo tiempo que un menor costo. A partir de la experiencia realizada con el arquitecto West, en Valparaíso hemos experimentado en ambos campos. El acento ha estado puesto en la realización de prototipos a escala natural, verificables en un uso habitable, a diferencia del laboratorio CAST donde los modelos se cumplen en sí mismos. Esto lo advertimos ya que la **Ciudad Abierta brinda la posibilidad de realizar obras experimentales en verdadera magnitud. Además, con la experimentación se comprueba la factibilidad de esta tecnología en nuestro medio.**

Así, la experimentación se inició con un decurso básico para concebir el encofrado para una forma deseada. Esto suponía un periodo de indagación, donde se trabajó en el taller ensayando posibilidades con el método de acierto y error, acumulando las condicionantes que conducían a una forma y corrigiendo lo que no se deseaba; un trabajo con la forma que incluye el hallazgo. Una vez obtenido un modelo satisfactorio, a escala y realizado en yeso, **se realizó uno en hormigón y luego el prototipo a escala natural. Este último también puede ser verificado antes de realizar una prueba con hormigón, llenando el encofrado definitivo con arena. Ella se comporta de un modo muy similar al hormigón y permite confirmar la exactitud de la forma proyectada.**

El postulado básico que está detrás de esta investigación en conjunto entre la Escuela de Arquitectura y Diseño de la PUCV y CAST es que los modelos a escala realizados con encofrados flexibles mantienen con variaciones mínimas su comportamiento a escala natural; es decir, es posible construir la forma que se obtiene en un pequeño modelo de yeso en una escala mayor con hormigón.

#### PRIMERA EXPERIENCIA COLABORATIVA

Lo que empezó como un gesto de hospitalidad hacia el arquitecto West en 2002, con los primeros ensayos, se ha transformado en campo de investigación para este grupo de arquitectos de la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, PUCV. La investigación partió con la propuesta de un edificio que estuviera básicamente construido con hormigones realizados con encofrados flexibles. Se trataba del edificio para un atelier que tiene su origen en un acto poético en las dunas de la Ciudad Abierta. El partido arquitectónico que se tomó fue el de suspender el edificio para lograr dos objetivos simultáneos: apenas tocar la arena para no arrasar con su ser una extensión natural –que es un bien en sí mismo– y obtener luego una favorable respuesta ante los sismos, minimizando la energía que el edificio colgante recibiría desde el suelo.

Mark West trabajó en su laboratorio CAST en Canadá unos modelos a escala, mientras el equipo de la Ciudad Abierta construyó también modelos a escala en yeso y en hormigón para dominar y ajustar la tecnología del encofrado flexible, que se recibía por medio de dibujos y fotos desde Canadá. Luego se construyeron prototipos de tamaño natural en una industria local.

El postulado básico que está detrás de esta investigación en conjunto, entre la Escuela de Arquitectura y Diseño de la PUCV y CAST, es que los modelos a escala realizados con encofrados flexibles mantienen con variaciones mínimas su comportamiento a escala natural; es decir, es posible construir la forma que se obtiene en un pequeño modelo de yeso en una escala mayor con hormigón. La primera forma obtenida sobre ese supuesto fue una columna compuesta por cuatro elementos prefabricados en la industria, que en 2003 se montaron en la duna, hormigonando su fundación y el centro que las vincula para constituir un elemento solidario.

#### SEGUNDA EXPERIENCIA COLABORATIVA

Para el proyecto del atelier se requerían vigas que cubrieran las luces que conformarían una plataforma sobre la cual se levantarían los interiores. En 2004, West y su equipo diseñaron una viga de sección variable y fabricaron un prototipo en una planta industrial en Canadá. Nuestro equipo, con la colaboración de los ingenieros especialistas Luis Della Valle y Jorge Carvallo, calculó una viga de 12 m de largo con una sección variable, capaz de seguir el diagra-

ma de momento de flexión. De este modo, el elemento estructural responde a las solicitaciones previstas, pero no tiene más sección que la que se requiere, por lo que resulta un elemento más liviano y económico. Por su parte, la sección variable se obtuvo con un trazado a partir de un paño rectangular de geotextil, que se fijó a un par de mesas, combinando de modo conveniente una estructura rígida con la tela deformable. Esta operación constructiva simple y de bajo costo permite obtener una forma compleja.

#### TERCERA EXPERIENCIA COLABORATIVA

Con la obtención de la columna y la viga ya se estaba en condiciones de levantar un elemento más complejo: un pórtico, un par de vigas suspendidas entre dos columnas compuestas. Se confeccionaron los ocho componentes de las columnas y las dos vigas de sección variable en la planta INDHERCO. En esta ocasión, los encofrados flexibles probaron su capacidad de ser usados repetidas veces; de hecho, se utilizó solo una pieza textil para los ocho elementos verticales y otra para las dos vigas, ya que el vaciado sobre el encofrado dispuesto en posición horizontal permite despegar fácilmente la tela tras el fragüe.

En la operación de montaje de estos elementos se utilizó un cable de acero cuyas dimensiones y especificaciones fueron entregadas por el equipo de ingenieros. Luego se diseñó y construyó un elemento de unión y regulación entre la viga y el cable de acero para soportar las vigas. Estas fueron suspendidas con éxito desde el par de columnas, situación en la que se encuentran desde el año 2005.

Para la construcción de un edificio con estructura de hormigón suspendida se espera encontrar un cable compuesto por fibras artificiales que no se vean afectadas por la corrosión del aire salino de la costa. La solución técnica aún no se ha encontrado, lo que ha detenido la marcha de la obra por este camino.

#### NUEVAS EXPERIENCIAS COLABORATIVAS

En 2006, en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la PUCV, se llevó a cabo un seminario-taller donde el arquitecto Mark West, junto al equipo docente, realizó experiencias demostrativas de la variedad de aplicaciones que los encofrados flexibles pueden aportar a la forma arquitectónica.

Ese año también se levantó un muro-combado (*bulge wall*) que es parte de la obra de las Calzadas del Agua en Ciudad Abierta. Este da forma a un elemento tridimensional que incluye volúmenes y vacíos dentro del plano del muro, conseguidos en una sola operación de colado del hormigón. Con esta experiencia se diversifican las posibilidades de forma de los encofrados flexibles, al combinarlos con planos rígidos.

#### PROYECCIONES DEL HORMIGÓN CON ENCOFRADOS FLEXIBLES

Este equipo de investigación ha realizado elementos monolíticos de hormigón que se inscriben dentro del ámbito del mobiliario urbano, tanto en obras civiles como en donaciones realizadas en las travesías por América que emprende una vez al año la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

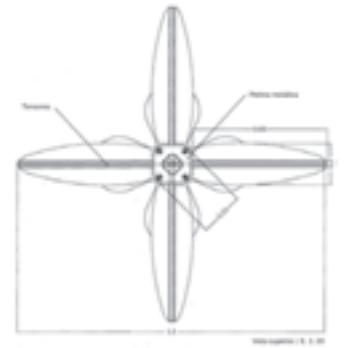
Al respecto, lo específico y destacable de esta tecnología es el empleo de una tela que resiste la argamasa del hormigón hasta que completa su curado. Hoy se encuentran en el mercado de la construcción los llamados geotextiles, de alta resistencia y bajo costo, que resultan óptimos para ser usados como encofrados flexibles. Estos textiles además se caracterizan por su liviandad y poco volumen, lo que los hace apropiados para ser utilizados en una empresa como la travesía que consulta largos desplazamientos.

En cuanto a la posibilidad de construcción en lugares distantes,

*Pressure Buildings and Blackouts.* Instalación de Mark West sobre la fachada de la galería Storefront, Nueva York, 1992. Fotografía de Mark West  
*Pressure Buildings and Blackouts.* Installation by Mark West on the façade of the Storefront Gallery, New York, 1992. Photography by Mark West

Asiento para anfiteatro en Ciudad Abierta, 2002.  
 Hormigón y encofrados flexibles.  
 Seat for the amphitheater in Ciudad Abierta, 2002.  
 Concrete and flexible framework.

Modelo a escala en yeso:  
 elemento prefabricado para  
 columna compuesta. Fotografía  
 de Mark West  
 Scale model in plaster:  
 prefabricated element for a  
 composed column. Photo by  
 Mark West



Columna compuesta –cuatro piezas prefabricadas–  
 en Ciudad Abierta, 2003. Primera colaboración  
 Composed columns (four prefabricated pieces) in  
 Open City, 2003. First collaboration



Montaje de pórtico en Ciudad Abierta, Ritoque, 2005  
 Portico mounting in Ciudad Abierta, Ritoque, 2005



Corte de patrón en geotextil para encofrado de mesas en São Miguel das Missoes. Pattern cut in geotextile for table framework in São Miguel das Missoes



Jardín en Garupá, Argentina, 2003. Garden in Garupá, Argentina, 2003



Obra en travesía: mesas en una Plaza en São Miguel das Missoes, Brasil, 2006. *Travesía* work: tables in the Plaza of São Miguel das Missoes, Brazil, 2006



Obra en travesía, Parque Nacional Pan de Azúcar, Chile, 2009. *Travesía* work, Pan de Azúcar National Park, Chile, 2009



hemos contado con la colaboración del Laboratorio de Ensayos de la PUCV, a través de la ingeniera Gabriela Palma Rojas, quien ha calculado las dosificaciones para cada obra, tanto en Chile como en el extranjero, y ha garantizado la calidad del hormigón.

*Mobiliario para un jardín en Garupá. Posadas Misiones, Argentina, 2003*  
Se trata de unos volúmenes monolíticos verticales y horizontales que constituyen el mobiliario para el jardín de un comedor de niños en riesgo social. **Corresponde al diseño y construcción de elementos que permiten apoyar el cuerpo en medio de un jardín; son detenciones y lugares para el recreo de los niños, de formas orgánicas.** Esta es una obra de travesía realizada por el Taller de 11 año, con la colaboración de los arquitectos Fernando Espósito y Claudio Villavicencio.

*Mesa para una plaza en Sao Miguel das Missoes, Brasil, 2006*  
Es la construcción de un espacio público que permite reunir a los habitantes de Misión con los turistas culturales que visitan el lugar. Se acordó con el alcalde y los gestores turísticos que una mesa pública podría dar inicio a una relación que hasta ese entonces no había tenido posibilidad ni espacio propio. Así, **en una semana de trabajo se construyó una mesa en forma de cruz, empleando los encofrados flexibles. Cada tramo de la mesa es un elemento monolítico, realizado con un solo vaciado de hormigón.** Obra de travesía realizada con el Taller de 14 año de Arquitectura, con la participación de los arquitectos Patricio Cáraves y David Jolly.

*Lugar de detención en el desierto de Atacama, Chile, 2009*  
En el Parque Nacional Pan de Azúcar se diseñaron in situ y **se levantaron unos volúmenes que, sin interrumpir lo agreste del paisaje del desierto, dan lugar a una detención que acoge a los cuerpos para la contemplación de esta singular extensión.** Se utilizaron los áridos del lugar para obtener texturas y colores que no contrastaran con el entorno natural.

*Plaza de Gualliguaica en el Valle de Elqui, Chile, 2010*  
El recientemente trasladado y refundado poblado de Gualliguaica –a raíz de la construcción del embalse Puclaro– tenía destinado un sitio para su plaza que aún no adquiría el carácter de lugar habitable. La travesía que allí se realizó levantó los primeros elementos que permitían detenerse y permanecer en su plaza pública. Se diseñaron y construyeron unos asientos en hormigón armado, cuya forma se obtuvo con encofrados flexibles. En una operación constructiva de una semana, el Taller de 5 año de Arquitectura, con la colaboración del titular Néstor López, **levantó seis elementos que dieron inicio a este espacio ciudadano; elementos que, con su forma, se posan en el plano inclinado de la plaza dándole una primera habitabilidad en su dimensión útil –un lugar para sentarse– y en su dimensión visual –la presencia de una forma en el espacio–.**

*Anfiteatro del Centro Cívico de Loncura, Chile, 2010*  
**Obra concebida y realizada con elementos monolíticos de hormigón. Su forma y acabado obtenido con encofrados flexibles, en un proceso de fabricación industrial, garantiza una calidad homogénea y economías de escala en su producción.** La concepción de un mobiliario urbano en hormigón con estas características tiene especial interés en varios sentidos: durabilidad material, no presenta la fragilidad de la madera o los plásticos, es incombustible y, debido a su masa, no es susceptible de ser empleado en actos vandálicos. Su forma tiende a un todo armónico con el medio ambiente al aire libre.

*Borde costero Loncura-Quintero, Chile, 2011*  
En un espacio urbano del litoral central se encuentra en etapa de proyecto un mobiliario urbano concebido con encofrados flexibles, realizado con la colaboración de los titulantes Valeria Valenzuela y Felipe Gaymor para el proyecto de borde costero entre Quintero y Loncura. En él se diseñaron elementos que dan forma al límite entre el paseo y la playa de la bahía de Quintero. Estos elementos monolíticos revisten el carácter de mobiliario urbano, permiten la proximidad de los cuerpos con su acabada superficie y a la vez constituyen una defensa en el borde. **Cada uno es un volumen de hormigón que no requiere de armadura de acero, lo que garantiza su durabilidad en un medio de alta corrosión por la humedad salina del mar.** Se diseñaron seis módulos distintos que se pueden ubicar uno a continuación del otro, de modo de generar variaciones en la figura continua de este elemento de límite entre la playa y la calzada.

#### CONCLUSIONES Y CERTEZAS

##### DE ESTA INVESTIGACIÓN EN COLABORACIÓN

La indagación y experimentación con los encofrados flexibles, tanto en la atmósfera cuidada del laboratorio CAST, como en sitios urbanos y en lugares más remotos como parques y extensiones naturales, permiten tener algunas certezas respecto de ellos.

Apoyados en la correspondencia entre los pequeños modelos en yeso y las formas obtenidas con los encofrados flexibles a escala natural con el hormigón, hemos constatado lo siguiente:

- En cuanto a la forma, es posible lograr figuras que con encofrados rígidos tradicionales resultarían de un alto costo.
- Es posible obtener una superficie acabada de muy buena calidad en cuanto a su textura y a la continuidad de ella, aun en superficies de doble curvatura.
- El empleo de un textil permeable tiende a mejorar la calidad del hormigón, ya que este encofrado deja escurrir el posible exceso de agua de la argamasa, sin arrastrar el cemento.
- En cuanto a una propiedad formal –que se puede calificar de subjetiva, pero aun siendo así no deja de tener cierto valor–, los cuerpos formados por planos de doble curvatura se asocian fácilmente a una estructura de orden orgánica, es decir, se vinculan visualmente como partes de un organismo. Este hecho hace que la forma se perciba como menos invasiva, menos agresiva y, por lo tanto, más armónica con los entornos naturales y artificiales de los espacios urbanos.
- Obtener con operaciones constructivas simples una nueva forma para la arquitectura nos parece una abertura para el empleo de esta tecnología, cuando la ocasión lo permite y requiere.
- La simplicidad del diseño del encofrado y la posibilidad de emplearlo muchas veces, permite constatar que se está ante una tecnología de bajo costo en relación con la calidad formal del objeto que se obtiene.

Cabe destacar la fecundidad que ha generado esta colaboración, donde han concurrido las ventajas de dos centros de estudio: el laboratorio CAST de Canadá y la Escuela de Arquitectura y Diseño de la PUCV, con el auspicio de la Corporación Amereida, que da lugar a las obras en la Ciudad Abierta. Ha sido, finalmente, la obra la que ha permitido la real vinculación interdisciplinaria. **ARQ**

### Bibliografía sugerida

PALMER, Montserrat y Patricio MARDONES (eds.). *Hormigón en obra*. Ediciones ARQ, Santiago, 2009.  
Storefront for art and architecture. Recuperado de [http://www.storefrontnews.org/exhibitions\\_events/all?t=445](http://www.storefrontnews.org/exhibitions_events/all?t=445)  
CAST: [http://www.umanitoba.ca/cast\\_building/](http://www.umanitoba.ca/cast_building/)

### David Jolly

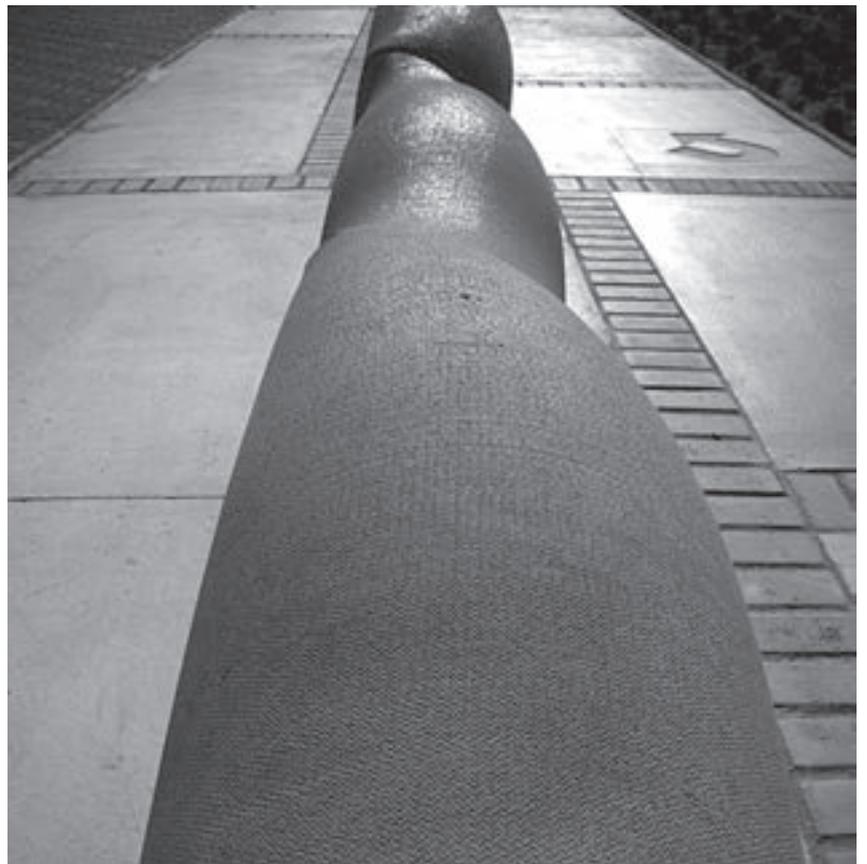
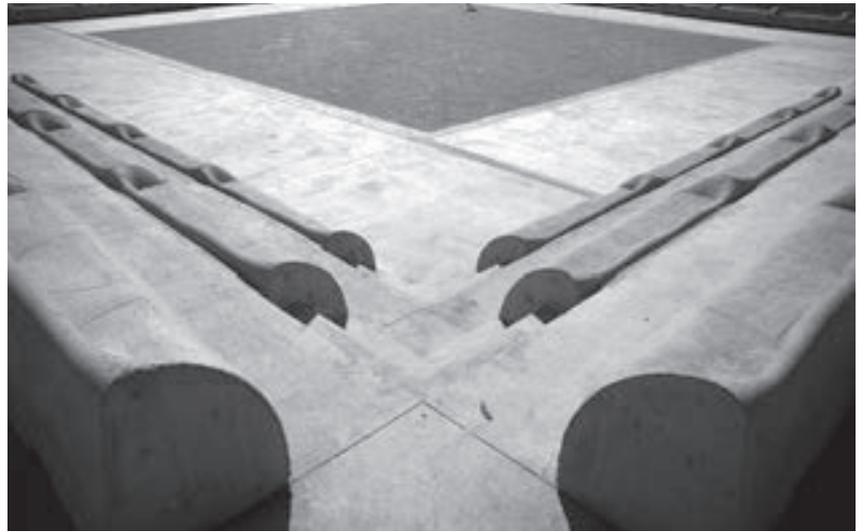
Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 1977 y candidato al grado de doctor por la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona de la Universitat Politècnica de Catalunya. Es miembro y cofundador de la Ciudad Abierta de Amereida en Ritoque y coautor de Travesías por América desde 1984 hasta hoy. Fue director de la Escuela de Arquitectura y Diseño de la PUCV entre 1998 y 2003 y decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la misma universidad desde 2006 hasta 2009. Actualmente es profesor titular en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

### Miguel Eyquem

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1950 y Doctor Honoris Causa, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2009. Es miembro y cofundador de la Ciudad Abierta de Amereida en Ritoque y coautor de Travesías por América desde 1984 hasta hoy. Su línea de investigación incluye el ámbito de los sistemas constructivos, además de proyectos y construcciones aeronáuticas. Actualmente es profesor titular en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

### Victoria Jolly

Arquitecta, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2007. Es miembro de la Ciudad Abierta de Amereida en Ritoque; entre 2007 y 2008 fue profesora asistente de Taller Arquitectónico en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la pucv. Actualmente es alumna del Magíster Náutico y Marítimo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



Anfiteatro del Centro Cívico de Loncura, Chile, 2010. Amphitheater of the Loncura Civic Center, Chile, 2010