

El contenido de este artículo tiene como propósito la revalorización tecnológica del suelo calichal como un recurso local conocido bajo la denominación de “costrón”. La revalorización de este recurso natural está orientada al desarrollo de futuras aplicaciones contemporáneas de antiguas tecnologías para el uso de la tierra cruda, ya sea para recuperar el patrimonio arquitectónico local de la pampa salitrera, o para incorporar valor agregado a soluciones constructivas que permitan la innovación tecnológica, utilizando un recurso abundante y disponible en esta región. Para contextualizar esta tesis se presenta como caso de estudio las ruinas de Pampa Unión, en Chile, ya que es un ejemplo que: permite relacionar la tecnología de los procesos extractivos de los recursos de explotación y su adaptación a los procesos constructivos. Para verificar la eficacia y características singulares de este recurso natural como material de construcción, se presentan los resultados de un estudio de campo y experimental de laboratorio, que aporta datos objetivos para establecer comparaciones de este material con otros conocidos respecto de sus características físicas, propiedades mecánicas, ventajas y limitaciones para su utilización.

Palabras Claves:

SUELO CALICHAL · COSTRÓN · ARQUITECTURA SALITRERA

DOI: 10.22199/S071985890.2016.0011.00005

# SUELO CALICHAL COMO RECURSO PARA LA HABITABILIDAD

El caso de Pampa Unión, Cantón Central, Región de Antofagasta, Chile.

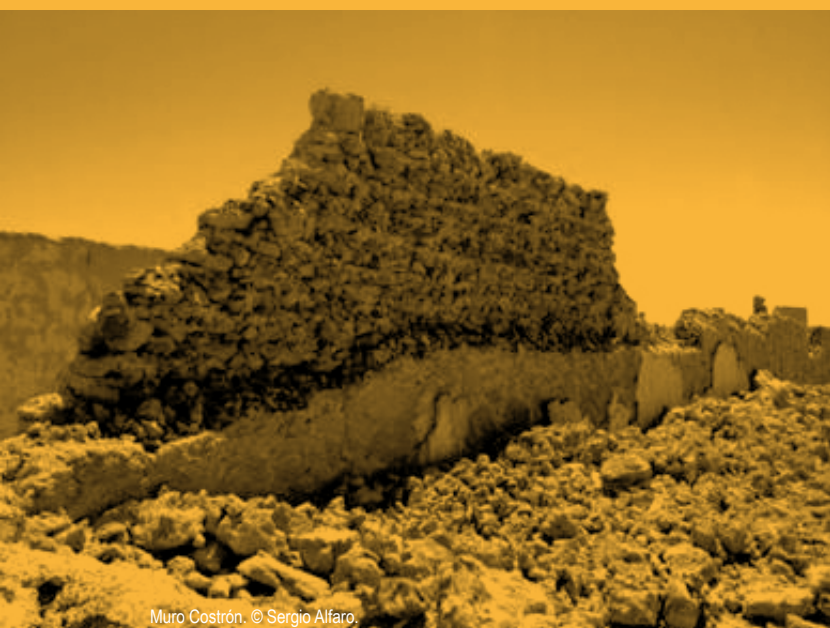
SERGIO ALFARO MALATESTA · WAGNER FLEMING PETRI · SUYIN CHAU VALENZUELA

*Este artículo fue expuesto por los autores como ponencia en el marco del XIII SIACOT, Seminario Iberoamericano de Construcción en Tierra, realizado en agosto del 2013, en Valparaíso, Chile.*

## Introducción

Un recurso abundante y disponible localmente como el caliche, a través del costrón, constituye una oportunidad para evaluar la posibilidad de considerar este recurso mineral como un recurso constructivo posible de ser incorporado en procesos de edificación contemporáneo, bajo los resguardos de la normativa permitida. La investigación propone obtener valores de su comportamiento a la compresión, que permitan ser contrastados con su resistencia a la tracción; y a partir de esto considerar la posibilidad de realizar una combinación híbrida entre el costrón y materiales resistentes a la tracción, a fin de plantear un ámbito de investigación y exploración como sistema constructivo que cumpla con altas exigencias sismo resistentes.

El actual estado de deterioro material de la Oficina de Servicio Pampa Unión plantea un desafío de conservación que ha sido poco considerado dentro de las actuales acciones que deberían emprender las instituciones garantes de la conservación del patrimonio arquitectónico regional. Existe una escasez de antece-



Muro Costrón. © Sergio Alfaro.

dentes de registro de estas ruinas que impiden conocer, evaluar y resguardar este patrimonio único en la Región de Antofagasta. Su degradación material está condicionada a una excesiva exposición a visitantes ocasionales y de inescrupulosos que transitan entre Antofagasta y Calama, utilizando este monumento histórico como lugar de acopio de desechos.

Las carentes intervenciones orientadas a la salvaguarda del patrimonio local provoca pensar en la búsqueda de una alternativa de protección que haga realmente factible su preservación, siendo allí cuando surge la necesidad de abordarlo desde una mirada sustentable y sostenible, en la que cobra importancia el particular interés de esta ruina, consistente en las diversas manifestaciones de uso de suelo calichal.

### Estado del Arte

En la Región de Antofagasta existe una utilización focalizada de la tierra cruda como material de construcción, ejemplo de ello es el uso contemporáneo o tradicional que se le da a este recurso material en la localidad de San Pedro de Atacama, pero también existe el uso activo del patrimonio arquitectónico que actualmente se habita y utiliza en la oficina salitrera de María Elena, uno de las pocas salitreras que aún se encuentran en funcionamiento y que alberga un número significativo de habitantes, además de poseer una gran parte de su infraestructura habitacional materializada en base a sistemas constructivos que emplearon el costrón, el adobe o el tapial, reforzados como sistemas constructivos principales.

El terremoto del 2007 afectó especialmente a la ciudad de María Elena, la que estuvo en riesgo de desaparecer completamente, pero que gracias a su pronta declaración como “zona típica”, ha sido protegida y la mayoría de sus edificios emblemáticos han sido restaurados. En el caso de San Pedro de Atacama, la existencia de la zona típica de este poblado obliga a conservar y proteger las características formales y constructivas derivadas del uso del adobe como material preponderante.

Existe también en la Región un patrimonio en estado de ruina material que no ha recibido más que acciones de resguardo, que se han materializado a través de las declaratorias de protección que el Consejo de Monumentos Nacionales ha decidido establecer; tal es el caso de los vestigios del patrimonio arquitectónico del pueblo salitrero de Pampa Unión, reconocido como monumento histórico y denominado como “ruinas del pueblo

Pampa Unión”, según Decreto Supremo D.S: 716, con fecha 17.10.1990, y consignado en plano de propuesta de límite de Monumento Histórico con fecha 23.04.2008.

El caso expuesto constituye un ejemplo único dentro del contexto de los vestigios existentes en otras oficinas salitreras que también están en condiciones de ruina y forman parte del cantón central de explotación salitrera de la Región de Antofagasta, pero que no han recibido ningún grado de protección y tampoco declaratoria de protección.

### Objetivos

El objetivo general de la investigación consiste en divulgar las cualidades y características de un recurso que no ha sido estudiado sistemáticamente, con el fin de considerar estas cualidades como posibles de ser manejadas en propuestas contemporáneas de recuperación patrimonial, o para el desarrollo de obras nuevas con el uso del costrón como material secundario.

### Objetivos específicos

- Establecer los nexos entre la producción extractiva del salitre y la adaptación a los procesos de construcción de pueblos campamentos.
- Definir los tipos constructivos que utilizaban el costrón como material principal.
- Determinar las características tipológicas de las edificaciones construidas con este material.
- Establecer las características físicas, propiedades mecánicas, ventajas y limitaciones del costrón para su utilización.

### Premisas conceptuales

En la materialización de los poblados de la pampa salitrera del norte de Chile existiría una fuerte conexión entre la tecnología de los procesos extractivos de los recursos de explotación y su adaptación a los procesos de construcción de estos pueblos campamentos. Uno de los ejemplos más estudiados que permitirían sostener esta tesis sería el caso de la oficina salitrera María Elena, donde:

*“(...) los diseños existentes del poblado deben ser entendidos como productos de la transculturación e hibridación de las normas de diseño.” (Alonso Z, 2012, pág. 114).*

Otro argumento que validaría la relación entre producción y construcción sería el establecer que la rapidez con la cual se fundó la oficina salitrera, habría exigido el ajuste de los estilos impor-



tados, el surgimiento de soluciones locales y diálogos culturales. Asimismo, el planteamiento que permitiría sostener la relación entre el proceso productivo, el uso de una tecnología adaptada de construcción y la inversión, estaría condicionado a la escala de la explotación en función de la duración limitada de los terrenos de beneficio.

*"(...) esta causa ha determinado la construcción de campamentos ligeros, tanto bajo el punto de vista del capital empleado, como sus comodidades en conjunto"* (Macuer, 1930, pág. 238).

En este mismo contexto se argumentó que la disposición aislada de los campamentos se debía a razones de diseminación de los suelos ricos en nitrato, pero cuando cambia la política industrial de explotación y se mejoran las condiciones de transporte se opta por un trabajo concentrado en pocas plantas de gran capacidad. Esta razón significó un mejoramiento de la calidad habitacional en las oficinas salitreras.

En 1930, la modernidad implicaba una sustitución de la materialidad ligera de los campamentos salitreros, construidos en base a chapa de acero ondulado, por materiales de tierra cruda o concreto; la *"casa de calamina, que en años pasados constituía el prototipo de la habitación pampina, ha sido reemplazada por la moderna construcción de concreto o adobe cuya superioridad es indiscutible"* (Macuer, 1930, pág. 238). Respecto del adobe se indicaba que estos eran hechos con material encontrado en los alrededores de las Oficinas.

### Metodología

La investigación se sostiene en aproximaciones directas e indirectas sobre el caso de estudio para poder caracterizar su naturaleza arquitectónica, funcional y constructiva. Para ello se procedió a realizar los siguientes pasos:



- Observación y descripción del caso de estudio mediante visitas sucesivas, con el objeto de realizar un relevamiento de los actuales vestigios de Pampa Unión, su estado de conservación y material actual.
- Recopilación bibliográfica en fuentes indirectas que permitieran pesquisar las características arquitectónicas, tipológicas, edificatorias, constructivas, particularidades y funcionales del asentamiento como oficina de servicio.
- Recopilación bibliográfica en fuentes indirectas que permitieran conocer el proceso de extracción y obtención del costrón.
- Aproximación empírica del comportamiento del costrón mediante la realización de ensayos, análisis y evaluación de resultados de sus propiedades mecánicas.

### Asentamientos salitreros

Como es sabido, todos los yacimientos salitreros se encuentran en el norte de Chile y sur de Perú. El nitrato de sodio se encuentra en todo el territorio árido, específicamente, en la depresión intermedia. Esta área geomorfológica, en tanto, corresponde a una planicie desértica originada por hundimientos en la corteza terrestre, y rellenada, luego, por la erosión proveniente de la cordillera de Los Andes.

La depresión intermedia, representada por el denominado desierto de Atacama, se extiende desde Arica a Copiapó, cubriendo una superficie de aproximadamente 105.000 km<sup>2</sup>. En cuanto al caliche, muchas son las teorías que vienen siendo desarrolladas por geólogos respecto del origen del nitrato de sodio, desde ser un producto de la descomposición por fermentación de algas marinas hasta ser el resultado de la destilación por acción volcánica de yacimientos carboníferos y primarios que se encuentran en la cordillera de los Andes. La zona, rica en minerales, estaba compuesta principalmente por caliche, conocido ya por los indígenas que habitaban todo el territorio andino, quienes lo ocupa-



Costrón acabados. © Sergio Alfaro.

ban como abono para sus plantaciones de maíz, trigo y papas. A pesar de lo beneficioso que era para sus cultivos, no fue explotado masivamente por estas culturas. Debido a que compartían el abono de sus tierras con el guano que era sacado de las costas y, principalmente, por lo difícil que era su extracción.

La explotación salitrera tuvo lugar al pie del monte oriente de la cordillera de la Costa, donde están los mantos calicheros, entre las latitudes 19° y 25° S. El nitrato no existe en ningún otro lugar en tal extensión geográfica y concentración, por lo que su extracción y producción tuvo lugar en toda la pampa, haciendo predecible que una vez conocidas sus cualidades como abono y como pólvora se iniciaría una ocupación del desierto que terminaría transformando el paisaje desértico en un paisaje poblado. Esto por el interés evidente que tendrían las tierras para muchos capitalistas chilenos y extranjeros, en especial, ingleses y estadounidenses, por el potencial económico que tenía su explotación. Se genera así una ocupación territorial compuesta por ciudades campamento directamente vinculadas a las fuentes de explotación, conformando una red conectada por un sistema ferroviario que remataba en las ciudades puertos, en donde se desembarcaba el producto. Las oficinas salitreras, las estaciones de ferrocarriles y algunos pueblos, en conjunto, influenciaron directamente el quehacer en la costa, puertos, caletas y valles precordilleranos de toda la región. El interés por venir a explorar y explotar las zonas se explica por la mentalidad em-



Costrón Dintel. © Sergio Alfaro.

prendedora propia del siglo XIX, por los avances tecnológicos de la Era Industrial, por la ampliación del mercado mundial y por la extensión de los intercambios globales. En términos económicos, la explotación del salitre para Chile tuvo una enorme relevancia, dado que su economía, en gran parte, dependió por más de 50 años (1880-1930) de la riqueza generada por esta industria; también fue de vital importancia para Norteamérica y Europa, cuya producción agrícola intensiva se desarrolló gracias a este recurso.

Ya para principios del siglo XX, en la zona llegaron a existir más de 130 salitreras que operaban simultáneamente. Pero las influencias de la revolución industrial no sólo se vieron reflejadas en la cultura empresarial traída y aplicada en la zona, sino también en la planificación y posterior construcción de cada asentamiento. Por consiguiente, la premisa siempre fue el concretar de la manera más rápida y fácil, concibiendo con antelación su construcción como sistemas prefabricados entremezclados con la utilización de recursos disponibles en la zona.

### Las ciudades salitreras

Cada ciudad salitrera era un complejo urbano industrial, compuesto básicamente por un sector residencial que albergó a empleados, jefes y obreros; un sector industrial; y un sector de equipamiento que acogía las necesidades básicas de sus habitantes. Su estructura obedecía al patrón productivo que diera su origen

y, por consiguiente, su concreción se realizó planificadamente, imponiendo un orden preciso de distribución de las actividades urbanas y, con ello, un montaje o construcción también planificada, para privilegiar un proceso constructivo que economizara tiempos y recursos.

*“Las oficinas salitreras se entendieron como medio de producción, razón por la cual el conjunto urbano completo estaba al servicio de labores industriales. El trazado presentaba una organización regular, distribuyendo manzanas de forma predominante rectangular y dimensiones más reducidas que la manzana tradicional chilena, en atención al tamaño, tipología, y forma de agrupación de las viviendas. Las calles, normalmente ortogonales entre sí, tenían medidas que fluctuaban entre 15 y 20 m de ancho, de tierra apisonada, flanqueadas por portales de cañizo para sombra. Su importancia relativa dependía del uso y posición respecto de la industria y los equipamientos. El área industrial fue la instancia funcional clave, al mismo tiempo que sus instalaciones representaron los hechos morfológicamente más destacados. Compartían esta área diversos elementos, entre los cuales predominaba el galpón industrial (...)”* (Garcés, 1999, pág. 39).

Por esa razón, surgen asentamientos en su mayoría contruidos con materiales que ofrecían facilidad de montaje, aprovechando los avances tecnológicos de la época. En las obras de mayor envergadura se da el uso del acero, y en algunos casos muy específicos se trabaja el hormigón.

Se hace uso de las maderas traídas como lastre de barcos, las planchas de fierro o calaminas y el barro mezclado muchas veces con los ripios de las tortas. Especialmente en las construcciones más antiguas, el sistema constructivo fue de madera, de armado rápido, con carpinteros provenientes del extranjero. Respondiendo a la necesidad de mitigar la incidencia del fuerte sol del desierto, destacan como elementos conformadores de la estructura espacial y significativa los sombreaderos, que dan muestra no sólo de adaptación al medio, sino de una particular forma de trabajar la madera con la caña disponible en sus inmediaciones.

### **Pampa Unión**

*“El cantón central estaba ubicado en el valle que se interna en dirección noreste hacia la ciudad de Calama, de una extensión cercana a los 90 km. El cantón quedaba definido, al poniente, por la estación y pueblo Baquedano, en el km 96 del ferrocarril; y al oriente, por la estación y pueblo de Sierra Gorda, actual capital de la comuna, en el kilómetro 171. Se destacaba también la estación y pueblo de Pampa Unión, hoy abandonado y prácticamente desaparecido, km 144 (...)”* (Garcés, 1999, pág. 37).

Pampa Unión, perteneciente al cantón central, es parte de la estructura salitrera, aunque no se configura como una ciudad salitrera tradicional de patrones industriales. Debe su origen al interés particular de un médico porteño que tenía como meta generar un lugar que prestara las atenciones necesarias a los trabajadores salitreros ante la emergencia, dado las largas distancias que estos debían recorrer en caso de accidentes hasta los puntos de atención por salud. *“Sus calles eran de tierra y en las principales existían corredores techados de madera.”* (IMATURA, 2001-2011)

La perseverancia del Dr. Lautaro Ponce Arellano se vio premiada cuando pudo finalmente obtener la concesión de un sitio para construir un sanatorio, el que una vez entrado en operación atrajo comerciantes que se instalaron en sus alrededores, dando, de ese modo, origen a la tradición comercial del poblado, que con el tiempo pasó a consolidar una estructura de intercambio económico que abastecía a todo el conglomerado de las salitreras del cantón.

En 1929 Pampa Unión era considerada una de las ciudades más importantes de la pampa salitrera, situada como centro de estas, gracias al comercio y la industria que hacían de ella un singular lugar de afluencia y demanda de los artículos que consumían las poblaciones las oficinas salitreras aledañas.

Así, el lugar que se desarrolló como un poblado de servicios a los mineros se fue estructurando a la manera de sus propietarios, todos particulares, interesados en obtener frutos económicos con la explotación de sus negocios instalados en el lugar. Esto incidió en la materialización de sus comercios y de sus viviendas, en donde primó la racionalización de la inversión que demandaban sus instalaciones.

De esto surge, como medida mitigatoria para la optimización del uso de los recursos, el trabajar con lo disponible. El bajo costo que implicaba la reutilización del lastre del salitre que se encontraba en la superficie del suelo de la pampa permitió construir de manera sólida, con resguardos ante la rigurosidad del clima (las altas temperaturas del día y las bajas de la noche).

Aparece la madera como el otro recurso que era regularmente traído para la edificación de las salitreras, el cual se utilizaba, principalmente, en las techumbres como estructura de soportante y en los corredores.



### Tipologías constructivas

Otras aplicaciones observadas en Pampa Unión consistieron en el uso del tapial con suelo calichal fino confinado entre moldajes de plancha corrugada ondulada, que servía de moldaje para la construcción de muros y cerramientos en viviendas o edificios de servicio. También se observan combinaciones de sistemas constructivos que integran la amplia tradición del uso de entramados tipo “balloom framing”, adosados a muros monolíticos en base a la técnica del mampuesto de costrón. En términos de materialidad, las edificaciones fueron construidas principalmente en base a madera, concreto, calamina y, las más modernas, con hormigón armado. “La casa de calamina, que en años pasados constituía el prototipo de la habitación pampina, ha sido reemplazada por la moderna construcción de concreto o adobe, cuya superioridad es indiscutible.” (Macuer, 1930, pág. 238).

**Estructura de madera y revestimiento de calamina:** construcción muy precaria, generalmente destinadas a obreros o construcciones de menor orden y/o provisorias, tales como cocinas, letrinas, etc. Consiste en estructuras y revestimiento de muros en madera de pino oregón y cubiertas de calamina.

**Estructura de madera, relleno de barro con caña y revestimiento exterior de calamina:** estructuras de madera que conforman una estructura de pies derechos y montantes tipo balloom frame, y masa de barro o “concreto pampino” entre elementos, como relleno adherido a una malla metálica. En algunos casos se colocaba entremedio del primer revoque una tela tipo arpillera. Finalmente, se utilizaba un revestimiento de calamina. Cabe destacar, en este caso, que el revestimiento denominado “concreto pampino” es una especie de hormigón obtenido de la mezcla de tierras de la zona, que a veces presenta añadiduras de cemento, además de ripios provenientes de los desechos industriales.

**Obra gruesa en costrón:** Este recurso fue utilizado fuertemente en el poblado de Pampa Unión como relleno en un sistema

perfilado al modo de ballon frame, como mampuesto. Para los muros que alcanzaron alturas significativas se utilizaron contrafuertes para evitar volcamientos y aumentar su resistencia axial. La versatilidad constructiva de este recurso se refleja en la capacidad de adaptarse a los distintos requerimientos dimensionales y solicitaciones estructurales que proponía la vida pampina. Como sistema constructivo permitía distintos tipos de acabado, pudiendo recibir revoque de la mezcla del mismo material con otros componentes finos e, inclusive, ser capaz de recibir color a través de pinturas en base a cal, o asumir texturas variadas capaces de darle una apariencia distinta a su estado original.

### El Costrón

Los mantos calicheros poseen un espesor de entre 2 y 4 metros, y se encuentran a diversa profundidad, bajo una fina capa de polvillo o “chusca”. Resultaba económico -dada la disponibilidad del recurso- el confeccionar bloques de caliche o costrón, que eran extraídos desde la superficie de la pampa o de cavidades no muy profundas llamadas “cuevas”. El denominado “costrón” corresponde a un bloque monolítico que poseía un alto contenido de nitrato, o carbonatos de calcio endurecidos, arenas, arcillas y limo. Esta materia se obtenía del suelo estratificado de los diversos cantones salitreros ubicados en la depresión intermedia del desierto de Atacama, siendo el material secundario del proceso de extracción del salitre natural conocido como “caliche”; sus aplicaciones fueron múltiples, desde simples muros mampuestos conglomerados por un mortero de tierra y agua, rico en sales, que finalmente logra la cohesión del muro como una pieza monolítica a través de la cristalización de sus componentes más finos.

El costrón era, en muchas ocasiones, el salitre de baja ley y que, por tanto, era considerado el lastre de las extracciones. Principalmente están formados por arena, arcilla y sales, entre las que se cuenta el nitrato de sodio. El caliche (costrón) posee una ley de entre 16-18%, por lo que la obtención del salitre sólo se lograba concentrándolo, es decir, se movían inmensas can-

tidades de tierra para extraer el “nitrato de Chile” (Bermúdez, 1987). La extracción de este material se realizaba mediante una tronadura con explosivo que perforaba el banco de caliche. La estratificación típica sin que coexistan siempre son las “estratas de tapa” (Macuer H., 1930, pág. 42), donde se ubicaba la “chuca o chusca”; el “panqueque”; y la “costra”; esta última zona correspondía a un material sin ninguna ley para su explotación, por lo que en tal sentido se puede definir al costrón como un material descartado del proceso de obtención del salitre. En zonas más profundas se ubicaba la “estrata útil”, correspondiente al “manto de caliche” propiamente tal.

El proceso de descoste se practicaba “(...) con tiros casi iguales a los de explotación del caliche, diferenciándose sólo en que los tiros no son pasados a la caba” (Macuer, 1930, pág. 43). Esta denominación correspondía al último estrato del banco inferior del caliche, cuyo proceso de obtención indica que “(...) los tiros arrebatan, es decir, lancen los trozos fracturados por la explosión a cierta distancia con el objeto de evitar en parte la limpieza del descoste” (Macuer, 1930, pág. 43). Dicha operación permitía obtener un bloque de forma irregular cuyas dimensiones aproximadas se ajustan a un formato de 0,45 m x 0,20 m x 0,30 m.

#### **Análisis propiedades mecánicas de muestras del Costrón**

Las muestras extraídas se analizaron en el Laboratorio de Investigación y Ensayo de Materiales de la Universidad Católica del Norte (LIEMUN), con el objetivo de determinar la densidad y resistencia a la compresión, y obtener datos cuantitativos del material de construcción bajo análisis. Esto permitió realizar estudios comparativos entre el costrón y otros materiales pétreos utilizados en la arquitectura salitrera. Las muestras extraídas

proviene de la zona cercana a la Oficina Ruinas del Pueblo Pampa Unión.

#### **Densidad**

Dado que las muestras presentan un alto contenido de sales, se obtuvo la densidad sumergiendo la probeta en agua, previo recubrimiento con cera de parafina para evitar la disolución de las sales. Las figuras 9 y 10 muestran uno de los testigos obtenidos con y sin recubrimiento con cera de parafina, respectivamente.

La determinación de la densidad se realiza pesando la probeta sin parafina, de donde se obtiene la masa seca de la probeta (A); luego, pesando la probeta recubierta con cera de parafina para obtener la masa de la probeta recubierta (D). Finalmente, se pesa la probeta recubierta en agua, de donde se obtiene la masa sumergida (E). Con estos valores, junto con la densidad de la parafina ( $P_p=0,91 \text{ g/cm}^3$ ) y la del agua ( $P_w=1 \text{ g/cm}^3$ ), se obtiene la densidad de la muestra. El resultado promedio de las muestras analizadas arrojó una densidad de  $G=1800 \text{ kg/m}^3$ .

#### **Resistencia a la compresión**

Los resultados de estos ensayos arrojaron una resistencia promedio de  $30 \text{ kg/cm}^2$ . Los valores reportados por la literatura especializada para el tapial indican una densidad entre  $1800 \text{ kg/m}^3$  y  $2100 \text{ kg/m}^3$ , y una resistencia a la compresión en torno a los  $15 \text{ kg/cm}^2$  (Paredes, 2011, pág. 345), por lo que el caliche estudiado posee propiedades de resistencia por sobre la media.

#### **Resultados parciales y conclusión**

El monumento histórico Ruinas del Pueblo Pampa Unión supone un ejemplo de la hibridación entre un proceso de producción



Costrón Proceso Constructivo Histórico. © Sergio Alfaro.



extractiva y un proceso de construcción edificatorio con el uso de un recurso disponible como lo es el suelo calichal o salitroso, conocido localmente como costrón. La resistencia mecánica y estabilidad del sistema constructivo en base a este recurso ha probado sus altas prestaciones para lograr un buen estado de conservación, como sucede en gran parte de las aún existentes ruinas de Pampa Unión que, a pesar de los años de exposición al ambiente y los daños antrópicos, se ha logrado preservar de manera autónoma. Esto desde la perspectiva de los datos obtenidos en laboratorio preliminarmente, los cuales permiten considerarlo con prestaciones mecánicas a la compresión superior a valores obtenidos en el adobe de tierra cruda y tapial.

En comparación con el adobe (Bestraten, Hormias, & Altemir, 2011) se documentan densidades entre 1200 kg/m<sup>3</sup> a 1500 kg/m<sup>3</sup>, y resistencias a la compresión comprendidas entre 5,4 kg/cm<sup>2</sup> a 17,6 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que claramente el caliche queda por sobre el adobe en términos de estos valores. Por supuesto, esto contrasta con los resultados del comportamiento del hormigón armado, donde típicamente se utilizan hoy en día hormigones con resistencia a la compresión del orden de los 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Desde la perspectiva de las interacciones de este material con el medioambiente, se debe poner atención a la vulnerabilidad de otros elementos constructivos conformados en base a tierra cruda. El costrón presenta un contenido de sales, las cuales son solubles o susceptibles a la humedad, por lo tanto, hemos considerado en nuestro estudio el análisis que asegure la impermeabilidad del material cuando sus aplicaciones sean ex situ; no obstante, en condiciones ambientales in situ, la escasa humedad ambiente y las condiciones de aridez propias del desierto de Atacama permiten asegurar la estabilidad natural de este recurso frente al medioambiente. Otros factores a considerar son aquellos que se relacionan con la evaluación de sus propiedades térmicas y acústicas. Testimonios orales de habitantes que han sido entrevistados hablan de situaciones, supuestos para nosotros, que apuntan a considerar en este material una buena respuesta a los factores del clima; sin embargo, las investigaciones deberán ser cuantificadas y comparadas con materiales similares.

Con relación a la contribución de este recurso a la huella de carbono, cabe destacar que todos los consumos energéticos empleados en la etapa de extracción y remoción industrial se realizaron durante la última mitad del siglo XIX y comienzos del

siglo XX. Hoy en día se puede trabajar con los descostres existentes que se hallan disponibles en la superficie del suelo de los actuales terrenos de la pampa salitrera de Chile. Su aplicación en procesos de edificación contemporánea requiere de una tarea de ensayos y posibles procesos innovadores, tal como el desarrollo de elementos productivos que permitan ser integrados como sistema de construcción; la unión de elementos resistentes a la tracción; desarrollo de formatos y modulaciones que permitan su uso; y una estandarización con miras a una posible cadena de comercio para el producto.

#### Bibliografía

- **Alonso Z, P. I.** (2012). *Deserta: ecología e industria en el desierto de Atacama*. Ediciones ARQ.
- **Bermúdez, Ó.** (1987). *Breve historia del salitre. Síntesis histórica desde sus orígenes hasta mediados del siglo XX*. Iquique: Pampa desnuda.
- **Bestraten, S., Hormias, E., & Altemir, E.** (julio-septiembre de 2011). *Construcción en tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción*, 63, 5-20.
- **Garcés, E.** (1999). *Las ciudades del salitre*. Santiago de Chile: Esparza.
- **IMATURA** (2001-2011). *Pampa Unión*. [http://www.albumdesierto.cl/p\\_union.htm](http://www.albumdesierto.cl/p_union.htm)
- **Instituto Geográfico Militar.** (1970). *Atlas de la República de Chile*. Santiago de Chile: Instituto Geográfico Militar.
- **Macuer, H. L.** (1930). *Manual práctico de los trabajos salitreros en la pampa salitrera*. Valparaíso: Talleres Gráficos Salesianos.
- **Paredes V, J., & Obilinovic A., A.** (1989). *Pampa Unión: un pueblo entre el mito y la realidad*. Antofagasta: Universidad de Antofagasta.
- **Paredes, B.** (2011). *La biblia de los materiales*. Barcelona: FKG - Project.

#### Imágenes

Fotografías Costrones ©Sergio Alfaro M.

#### SERGIO ALFARO MALATESTA

Arquitecto UCN,  
Master en Diseño Industrial y Creación de Producto UPC,  
Doctor en Innovación Tecnológica UPC.  
Académico Escuela de Arquitectura, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.  
[salfaro@ucn.cl](mailto:salfaro@ucn.cl)

#### WAGNER FLEMING PETRI

Ingeniero Civil UCN,  
Académico Facultad De Ciencias De Ingeniería y Construcción,  
Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.  
[w Fleming@ucn.cl](mailto:w Fleming@ucn.cl)

#### SUYÍN CHAU VALENZUELA

Arquitecto UCN;  
Máster y candidata a Doctor en Historia del Arte y Gestión Patrimonial UPO.  
SERVIU, Antofagasta, Chile.  
[schau@minvu.cl](mailto:schau@minvu.cl)