

# Hidrofobización de muros de piedra: una experiencia en el Museo de Sitio Fuerte Niebla

Mónica Bahamóndez Prieto  
Paula Valenzuela Contreras  
Julieta Elizaga Coulombie

## RESUMEN

El Museo de Sitio Fuerte Niebla se encuentra en la bahía de Corral, X Región. Monumento Nacional desde 1950, es sin duda, uno de los museos más visitados de Chile. Debido a las condiciones climáticas extremas de la zona, y a que su material de construcción es una piedra arenisca altamente porosa e higroscópica, el Centro de Interpretación para Visitantes (CIV) está sufriendo un rápido proceso de deterioro. Por este motivo, el Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) decidió realizar una intervención que frenara dicho proceso, la que se ejecutó en 1998 gracias al financiamiento de los Proyectos Patrimoniales de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM).

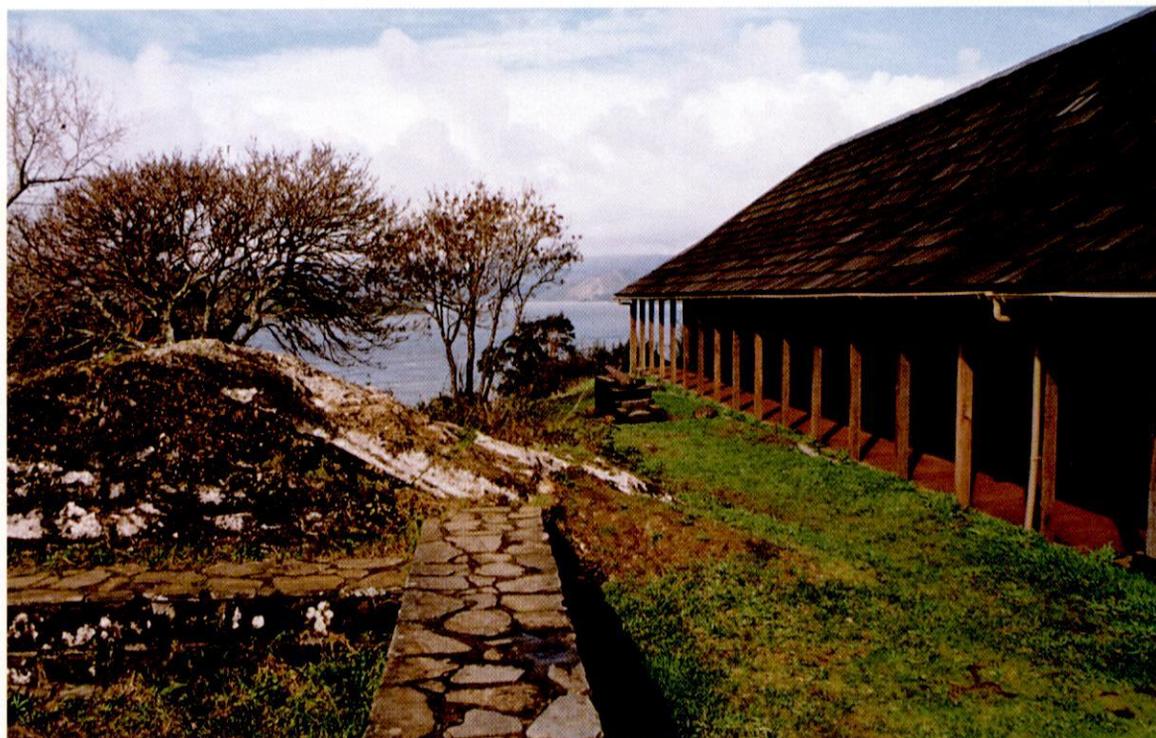
## ABSTRACT

The "Museo de Sitio Fuerte Niebla" is located at Corral Bay, in the Tenth Region. A National Monument since 1950, it is undoubtedly one of the most popular museums in Chile. Due to extreme weather conditions in the area and to the highly porous and hygroscopic sandstone used to build it, the Visitors Interpretation Center is undergoing an accelerated deterioration process. The National Conservation and Restoration Center (CNCR) decided to perform an intervention oriented to stopping the process, which took place in 1998 thanks to "Proyectos Patrimoniales" from the Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM).

**Mónica Bahamóndez Prieto**, Conservadora, Jefa del Laboratorio de Monumentos y Conservación Preventiva del CNCR.

**Paula Valenzuela Contreras**, Conservadora, Laboratorio de Monumentos y Conservación Preventiva del CNCR.

**Julieta Elizaga Coulombie**, Voluntaria, Laboratorio de Monumentos y Conservación Preventiva del CNCR.



*Foto 1: Vista general del Museo de Sitio Fuerte Niebla. Se observan algunos restos de estructuras y la reconstrucción de la Casa del Castellano y de la Oficialidad, actual (Civ).*

## ANTECEDENTES HISTORICOS

El Fuerte Niebla se encuentra ubicado 18 km al sur de la ciudad de Valdivia (39°52' latitud sur y 73°24' longitud oeste), en la localidad del mismo nombre. Fue fundado en el siglo XVII con el nombre de Castillo de la Pura y Limpia Concepción de Monfort de Lemus, y formaba parte de una red de castillos, fortificaciones y baterías distribuidas estratégicamente en distintos puntos de la Bahía de Corral<sup>1</sup>, la que se mantuvo activa hasta la primera mitad del siglo XIX. Desde muy temprano esta red fue conocida con el nombre de "Antemural del Pacífico", ya que protegía el acceso a la ciudad de Valdivia, considerada estratégicamente la puerta Sur del Virreinato del Perú.

Entre las fortificaciones más importantes de la bahía destacan los castillos de San Pedro de Alcántara (Mancera), San Sebastián de la Cruz (Corral), San Luis de Alba (Amargos), y el ya citado de la Pura y Limpia Concepción de Monfort de Lemus (Niebla), los que, en caso de ataque, cruzaban sus fuegos haciendo inexpugnable la entrada a los barcos enemigos.

El Fuerte Niebla fue construido en varias etapas durante los siglos XVII y XVIII, y una vez terminado quedó constituido por una batería, dos almacenes, una muralla con baluarte, cuarteles para la infantería (dependencias donde actualmente se emplaza el museo), casa para el castellano, una iglesia, un horno y un polvorín<sup>2</sup>. El material estructural utilizado en todas estas construcciones es una piedra arenisca, localmente llamada *cancagua*, de gran abundancia en la zona.

1 Tanto el nombre de "Bahía de Corral" como el de "Estuario del río Valdivia" son nombres contemporáneos. El nombre que figura en la cartografía de la época es "Puerto de Valdivia". Guarda, 1990: p. 2.

2 Ibid. pp. 84-90

En la primera mitad del siglo XIX, durante el proceso de Independencia, los fuertes de la bahía de Corral fueron abandonados. Debido al paso del tiempo, al devastador terremoto de 1960, a las condiciones climáticas propias de la zona y al importante incremento del turismo en las últimas décadas, las estructuras del fuerte han sufrido un proceso de deterioro progresivo y permanente.

En 1950 el Fuerte Niebla fue declarado monumento nacional<sup>3</sup>, lo que significó el punto de partida de varios programas destinados a la preservación y recuperación de sus estructuras. Entre ellos destacan los trabajos "...de limpieza, de exploración y despeje, de consolidación, de restauración, de reposición y montaje de la artillería y de reconstrucciones parciales"<sup>4</sup>, realizados entre 1950 y 1954 por iniciativa del Consejo de Monumentos Nacionales; en 1962, el inicio de un plan de reconstrucción de estructuras dañadas por el terremoto de 1960: polvorín, hornos de la batería, reparación de muros de las estructuras de la explanada (sala de armas, capilla, almacenes y casa del castellano y de la oficialidad) y levantamiento de la muralla del baluarte<sup>5</sup>; y finalmente, entre 1991 y 1992 y gracias al financiamiento del proyecto V Centenario, se realizó la reconstrucción de la Casa del Castellano y de la Oficialidad, con el fin de instalar en su interior un Centro de Interpretación para Visitantes (CIV).

El CIV es una construcción de 48,7 x 8,4 mt. de planta, y consiste en 4 recintos consecutivos más un corredor techado ubicado a lo largo de su muro noreste. Sus muros construidos en *cancagua* tienen una altura promedio de 3,75 m. y un grosor de 80 cm. Producto de los trabajos de reconstrucción de las estructuras dañadas por el terremoto de 1960, las hileras de *cancagua* en las bases de los muros (hasta aproximadamente 1 m. de altura) se encuentra intercaladas con hileras de lajas. El techo es de 2 aguas, con cerchas de madera y cubierta de tejas de alerce (sin cielo).

El CIV, además de exhibir algunos objetos provenientes de excavaciones realizadas en el fuerte, entrega información sobre la función que tenían sus distintos recintos, así como también del rol que éste tenía en la estrategia defensiva de la bahía de Corral.

Actualmente el fuerte es un museo de sitio que depende de la DIBAM y es, sin duda, uno de los más visitados del país (78.390 visitantes durante 1998).

## ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El Museo de Sitio Fuerte Niebla fue inaugurado en 1992, y desde entonces el CIV ha presentado problemas de humedad en sus muros y en salas, los que llegaban a niveles dramáticos durante las temporadas de invierno y primavera.

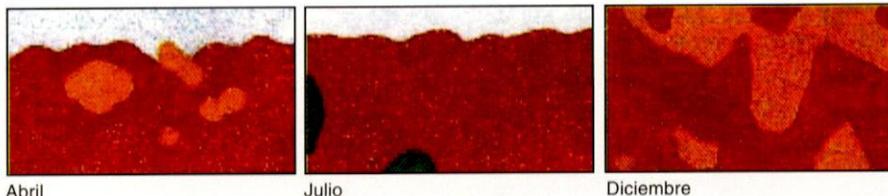
3 Según Decreto N° 3869

4 Guarda, Montandón y Weil, 1968: p. 1

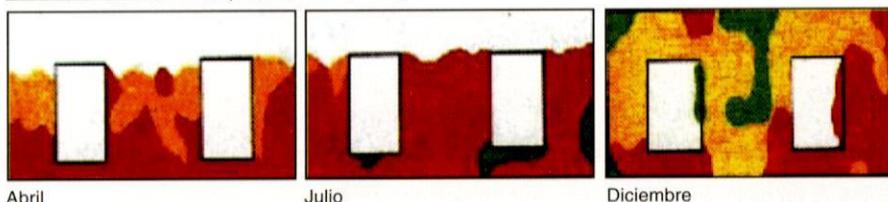
5 Ibid. p. 2

### LÁMINA Nº 1

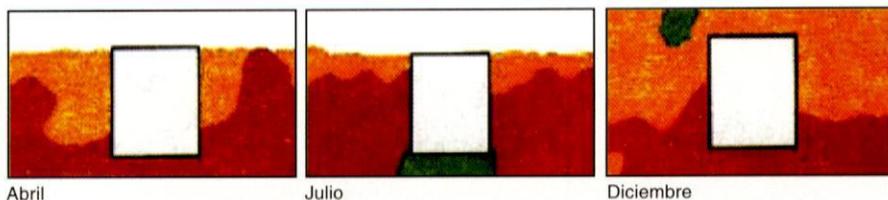
Sala 1, Muro Noroeste (6,75 m x 3,50 m)



Sala 1, Muro Suroeste (10,00 m x 3,50 m)



Sala 2, Muro Suroeste (6,75 m x 3,50 m)



Sala 3, Muro Suroeste (10,25 m x 3,50 m)

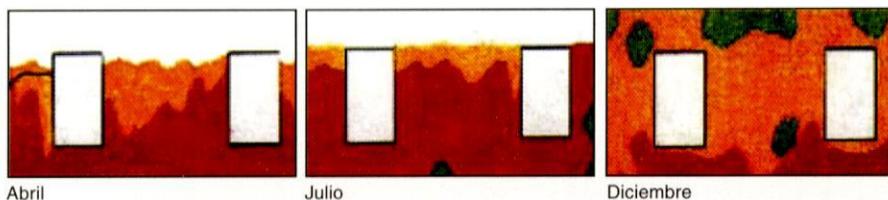


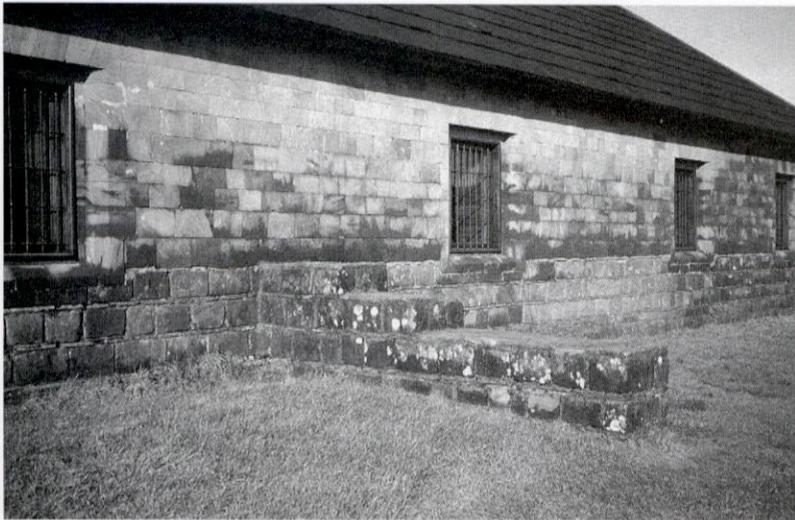
Lámina 1: Esquema de distribución de humedad al interior de los muros NO y SO.

6 Estas visitas se realizaron tanto por petición del personal del museo como por iniciativa del personal del CNCR, aprovechando visitas a la zona por otros motivos.

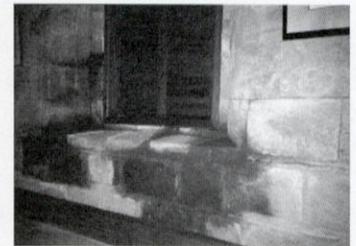
Desde el año de su inauguración, el CNCR ha visitado con cierta periodicidad el Fuerte<sup>6</sup>. Estas visitas han permitido determinar, a través de la observación y de algunas mediciones no sistemáticas, las causas de los problemas que estaban presentando los muros del Civ:

- a. La elevada pluviosidad de la zona (1.871 mm normal anual<sup>7</sup>), la más alta de Chile.
- b. La alta porosidad e higroscopicidad de la arenisca que estructura los muros.
- c. La inexistencia de aleros en los muros más expuestos al viento y la lluvia (SO y NO), así como la carencia de canaletas y bajadas de agua en todo el perímetro del techo del CIV.
- d. La total ausencia de medidas mínimas de aislación hídrica a nivel de cimientos, lo que hace que los muros perimetrales del CIV estén sometidos permanentemente a altos niveles de humedad producto del agua que asciende por capilaridad desde el suelo.

El conjunto de estas cuatro causas hacía que los niveles de humedad tanto en los muros como al interior del CIV fuesen muy elevados, afectando directamente, no sólo a los objetos montados sobre los muros y en las salas, sino también a aquellos exhibidos al interior de las vitrinas.



*Foto 2: Vista exterior del muro SO antes de la ejecución del proyecto (agosto de 1995). Evidencia de los altos niveles de humedad que alcanzaba el muro durante la temporada de lluvias.*



*Foto 3: Vista interior muro y ventana SO (Sala 1) antes de la ejecución del proyecto (agosto de 1995). Detalle de cómo pasaba la humedad desde el exterior al interior del edificio durante la temporada de lluvias.*

De las visitas previas realizadas por el CNCR, quizás la conclusión más importante fue que los muros SO y NO del CIV (aproximadamente 214 m<sup>2</sup> de superficie) eran los que presentaban más problemas a causa de la humedad, debido a que no contaban con protección contra la agresión de la lluvia y el viento. En efecto, no obstante su sobreexposición a estos fenómenos de la naturaleza, estos muros no poseen aleros. Esta situación se agrava por dos factores: a) el ingreso de humedad a los muros proveniente del agua lluvia que caía libremente desde techo sin canaletas, y b) la misma agua retenida en el suelo en contacto con las bases de los muros.

7 Dato obtenido de la página web de la Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl)).

Todo lo anterior significaba que un importante porcentaje de la superficie de los muros SO y NO permanecía saturada de humedad gran parte del año. Los niveles de humedad eran tan altos que incluso permitían un abundante crecimiento de musgos sobre algunas zonas de su superficie. El problema se hacía doblemente grave, ya que la presencia de humedad no sólo afectaba a las colecciones del museo, sino también a todo el edificio del CIV, situación extensiva al resto de las estructuras históricas del sitio.

Todas estas razones motivaron al Laboratorio de Monumentos del CNCR a formular un proyecto que mitigara los problemas de humedad que presentaba el edificio del CIV, proyecto que obtuvo financiamiento a través de Proyectos Patrimoniales DIBAM y que se ejecutó durante el año 1998.

## ANTECEDENTES TECNICOS DE LA PIEDRA

La piedra utilizada para la construcción de los muros del Museo de Sitio Fuerte Niebla se conoce localmente como *cancagua*. Es originaria y característica de la zona. Se trata de una arenisca (arena consolidada) de textura fragmentaria, cuyos granos están compuestos principalmente por cuarzo y feldespato, los que se encuentran cementados con varios elementos, incluyendo sílice, óxidos de fierro, calcita o arcilla<sup>8</sup>.

*Foto 4: Detalle exterior muro SO antes de la ejecución del proyecto (agosto de 1995). Evidencia de crecimiento de un grueso estrato de musgo en la parte inferior del muro.*



La ubicación del Fuerte —sobre un acantilado al borde de mar, permanentemente azotado por lluvias y vientos— lo sitúan en un microclima extremadamente húmedo y salino, el que, en este caso, es especialmente degradante debido a la alta porosidad e higroscopicidad de la piedra (ver anexo: Caracterización de la piedra *cancagua*). Por otra parte, la elevada pluviosidad del lugar hace que su nivel hídrico varíe de húmedo en las temporadas de verano a saturado durante los meses de invierno.

Esta piedra, en estado saturado, favorecía en algunas zonas el desarrollo de un grueso estrato de musgos, cuyo espesor variaba entre 1 y 2 cm. Dicho crecimiento provocaba una fuerte alteración

estética y mecánica en la superficie de la piedra. Esto último se debe a que los rizoides (o pequeñas raíces) de los musgos penetran en su interior, siguiendo su sistema de vesículas y macroporos, produciendo la fisuración y posterior pulverización de los estratos superficiales de la piedra.

<sup>8</sup> Análisis realizado por CESMEC según norma ASTM (American Standard for Testing Materials).

## EL PROYECTO

De las causas de los problemas de humedad presentes en los muros del CIV del Museo de Sitio Fuerte Niebla, el proyecto se propuso solucionar todas aquellas que eran factibles de mejorar. Así, excluyendo el factor clima, el proyecto se centró en: a) mitigar la falta de alero instalando canaletas perimetrales en todo el techo, b) confeccionar fosos de drenaje con el fin evitar que en el suelo quedara agua retenida que pudiese entrar en contacto con las bases de los muros del CIV, y c) hidrofobizar la piedra con el fin de crear en ella una barrera contra la humedad vertical (capilaridad) y horizontal (lluvia).

El proyecto se ejecutó entre abril y diciembre de 1998 y se desarrolló en dos etapas:

- a) Monitoreo estacional de la evolución de los niveles de humedad en los muros SO y NO, previamente identificados como los que presentan problemas de humedad.
- b) Acondicionamiento del edificio para mitigar el efecto de la lluvia (instalación de canaletas, fosos de drenaje y tratamiento de hidrofobización de los muros).

## Monitoreo estacional de la evolución de los niveles de humedad en los muros

Estas mediciones se realizaron con el fin de conocer el comportamiento de la humedad al interior de los muros más problemáticos durante las distintas estaciones. Estos registros, por un lado, ayudaron a determinar si el muro estaba suficientemente seco como para realizar el tratamiento de hidrofobización y, por otro, constituyeron antecedentes objetivos para el proceso de evaluación de los resultados del tratamiento.

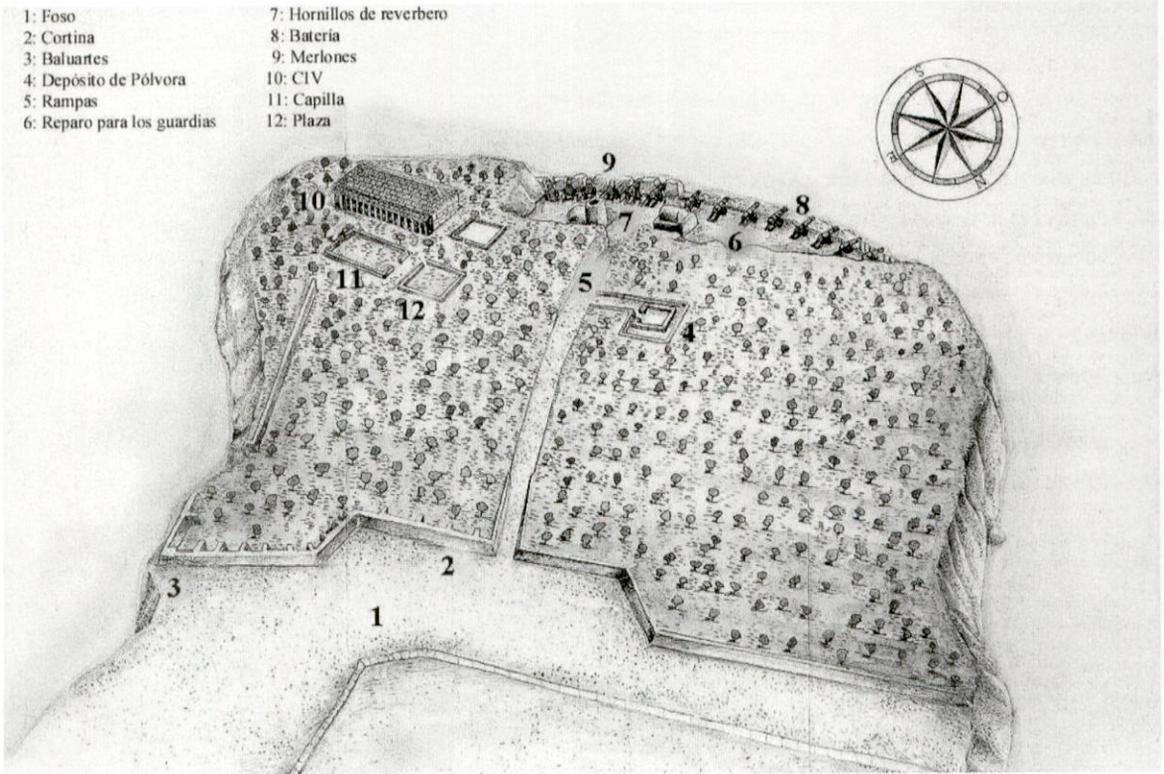
El monitoreo se realizó en los dos muros previamente definidos como problemáticos a causa de la humedad, es decir, los de orientación NO y SO.

Las mediciones fueron realizadas en los meses de abril (otoño/primavera), julio (invierno) y diciembre (verano) con un Protímetro Minor Mk II<sup>9</sup>. Las mediciones se realizaron en intervalos de 50 cm tanto en sentido vertical (desde el suelo al techo) como horizontal (de izquierda a derecha). En cada etapa de medición se registró la cara interior de los muros SO y NO de la sala 1 (acceso al CIV) y el muro SO de las salas 2 y 3 (todas estas salas son parte de la exhibición).

A partir del patrón de distribución de humedad arrojado por este monitoreo<sup>10</sup>, se concluyó que:

9 El instrumento mide el contenido de humedad de los materiales en porcentajes. Con el fin de facilitar su interpretación, los porcentajes son agrupados en rangos de humedad: verde o humedad baja (0% - 40%), amarillo o humedad media (40% - 55%) y rojo o humedad alta (55% - 100%).

10 Los resultados de las mediciones pueden verse alteradas por la presencia de sales en la piedra.



**Lámina 2:** Esquema emplazamiento del museo de sitio. Ilustración realizada por Héctor Carrasco, extraída del tríptico Museo Fuerte Niebla, Subdirección de Museos, DIBAM.

- La humedad presente en el muro SO de las tres salas proviene principalmente desde sus bases y asciende por capilaridad. Sin embargo, si bien en los diagramas no es evidente, no se descarta el ingreso horizontal de humedad a causa del golpe de la lluvia sobre la superficie exterior de los muros.
- La humedad presente en el muro NO de la Sala 1 es evidente que tiene su origen no sólo en el agua por capilaridad sino también en el agua de lluvia, la que ingresa en forma horizontal ayudada por la acción del viento.
- A lo largo del año la humedad evoluciona a la par con el clima de la zona, lo que se traduce en que los niveles bajos se dan en los meses de verano y los altos en los meses de invierno. Esta situación centra la causa de los problemas de humedad en el factor climático estacional, descartando otras posibles causas (p.ej. filtraciones por instalaciones defectuosas).

Estos resultados fueron determinantes para confirmar que las acciones de conservación propuestas en la segunda etapa del proyecto, diseñadas para solucionar el problema de humedad presente en los muros del CIV, eran las más apropiadas y efectivas.

## Acondicionamiento del edificio y tratamiento de Hidrofobización:

### *Instalación de canaletas y bajadas de agua:*

Durante las visitas previas realizadas por el CNCR al CIV, se concluyó que gran parte de la humedad que presentaban los muros NO y SO se debía a que estos no contaban con alero ni tampoco canaletas, situación que permitía la caída libre del agua lluvia desde techo, mojando los muros hasta tres metros de altura.

Por este motivo, y con el fin de mitigar la falta de alero, se propuso instalar en todo el perímetro del techo canaletas y bajadas de aguas de P.V.C. Debido a que el edificio se encuentra emplazado a orillas del mar, se descartó de plano el uso de canaletas metálicas por los problemas de corrosión que sufrirían a corto plazo.

Las canaletas fueron instaladas en el mes de agosto de 1998 y tienen un largo total de 122 m lineales. Cuentan con tres bajadas al suelo (en la mitad del muro SO y del NE, y en la esquina del muro SE) y tres descargas directas desde el techo (dos en la esquina en que se juntan el muro NO y el NE, y una en la esquina del encuentro de los muros SE y NE). La descarga de las tres bajadas de agua va a dar a los fosos de drenaje.

### *Diseño y construcción de fosos de drenaje en el perímetro de las bases de los muros del CIV:*

Con el fin de evitar que el agua de lluvia retenida por el suelo se acumule y entrara en contacto con la base de los muros, se construyeron fosos de drenaje en el perímetro de las bases de los muros del edificio (muros SO, NO, SE y parte del NE). En el lado NE en principio se descartó la construcción del drenaje, debido a que este muro se encuentra separado del terreno por un corredor techado de 2 m de ancho, que lo aísla de la humedad del terreno. Sin embargo, una vez avanzados los trabajos, se decidió construirle un foso de drenaje en ese sector con el fin de facilitar la evacuación de las aguas lluvias desde la cámara en que desemboca la bajada de agua de las canaletas.

La longitud total del foso de drenaje es de 90 m lineales (incluidos los tres desagües). Las dimensiones del foso son 70 cm de profundidad y 50 cm de ancho. El relleno se efectuó con bolones, grava y gravilla, y al desagüe se le dio una pendiente intencional en dirección al acantilado por el borde SE y SO. La acción preventiva de este drenaje complementa la acción de la barrera horizontal aplicada en los muros.



*Foto 5: Vista muro SO después de la ejecución del proyecto (agosto de 1999). Muestra detalle de la canaleta perimetral, bajada de agua y foso de drenaje.*



*Foto 6: Encuentro muros SO y SE después de la ejecución del proyecto (agosto de 1999). Detalle bajada de agua y fosos de drenaje perimetrales.*

## Hidrofobización de los muros SO y NO

Este tratamiento contempló dos tipos de intervención que se ejecutaron en forma paralela: a) la aplicación de una barrera horizontal contra la humedad y b) la hidrofobización de los muros propiamente tal.

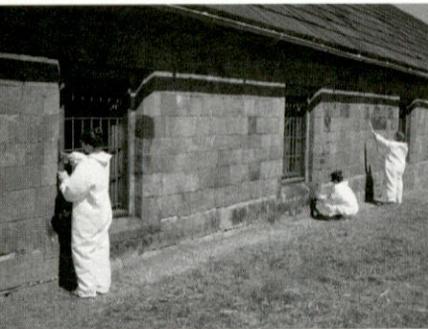
Para ambos tratamientos se utilizó un producto químico, cuyo nombre comercial es *Cave Clear-S*<sup>14</sup>. Se trata de un hidrofobizante a base de silicatos, el que es químicamente compatible con la *cancagua*, que al ser aplicado tiene la propiedad de crear una barrera contra el agua. Este producto tiene la ventaja de no sellar los poros, permitiendo por lo tanto la libre circulación del vapor de agua entre el interior y el exterior de la piedra; tampoco modifica su aspecto. Por otra parte, al evitar la absorción y consecuente retención de agua en la piedra, se impide el desarrollo de microorganismos y vegetación menor (principalmente musgos).

El muro SO fue tratado hasta aproximadamente la mitad (aquella con más problemas de humedad) debido a que la *cancagua* absorbió mayor volumen del producto que el supuesto y proyectado originalmente, lo que significó que el hidrofobizante se terminó antes de finalizar el trabajo de impregnación. Considerando que la presencia de las canaletas y los fosos de drenaje perimetrales eliminaban las principales causas de los problemas de humedad que presentaba este muro, el equipo de trabajo decidió que, por el momento, no era extremadamente necesario terminar la hidrofobización del muro. La decisión de continuar o no el tratamiento en el muro SO quedó sujeta a los resultados del comportamiento del muro (ahora con canaletas y fosos de drenaje) después del invierno de 1999.

*Barrera horizontal:* con el fin de evitar que la humedad ascienda por capilaridad hacia el sector superior de los muros, se creó en la base de éstos una barrera horizontal contra la humedad. Ésta se efectuó mediante la aplicación de numerosas inyecciones del producto hidrofobizante (*Cave Clear-S*) en perforaciones realizadas previamente en el sector del muro que se encuentra a ras de suelo, con una distancia en sentido horizontal de 15 cm entre cada una. Debido a la gran porosidad de la piedra, el producto penetró rápidamente a su interior. Esto significó que en cada perforación se utilizó una cantidad de hidrofobizante superior a la proyectada.

*Hidrofobización de los muros SO y NO:* Este trabajo se ejecutó aplicando el producto por aspersión con bombas manuales, en una cantidad aproximada de 1 litro por m<sup>2</sup>. El hidrofobizante se aplicó sobre la superficie exterior de los muros que presentaban mayores problemas de humedad, es decir, la totalidad del muro NO y la mitad del muro SO.

**Foto 7:** Esquina inferior muro SO durante la ejecución del proyecto (diciembre de 1998). Detalle de perforaciones en la base del muro por las que se aplicó *Cave Clear-S* (hidrofobizante), para crear una barrera horizontal contra el agua.



**Foto 8:** Vista muro SO durante la ejecución del proyecto (diciembre de 1998). Detalle equipo en pleno proceso de hidrofobización del muro.

11 *Cave Clear-S*: Producto con licencia norteamericana, fabricado en Chile por productos *Cave S.A.*

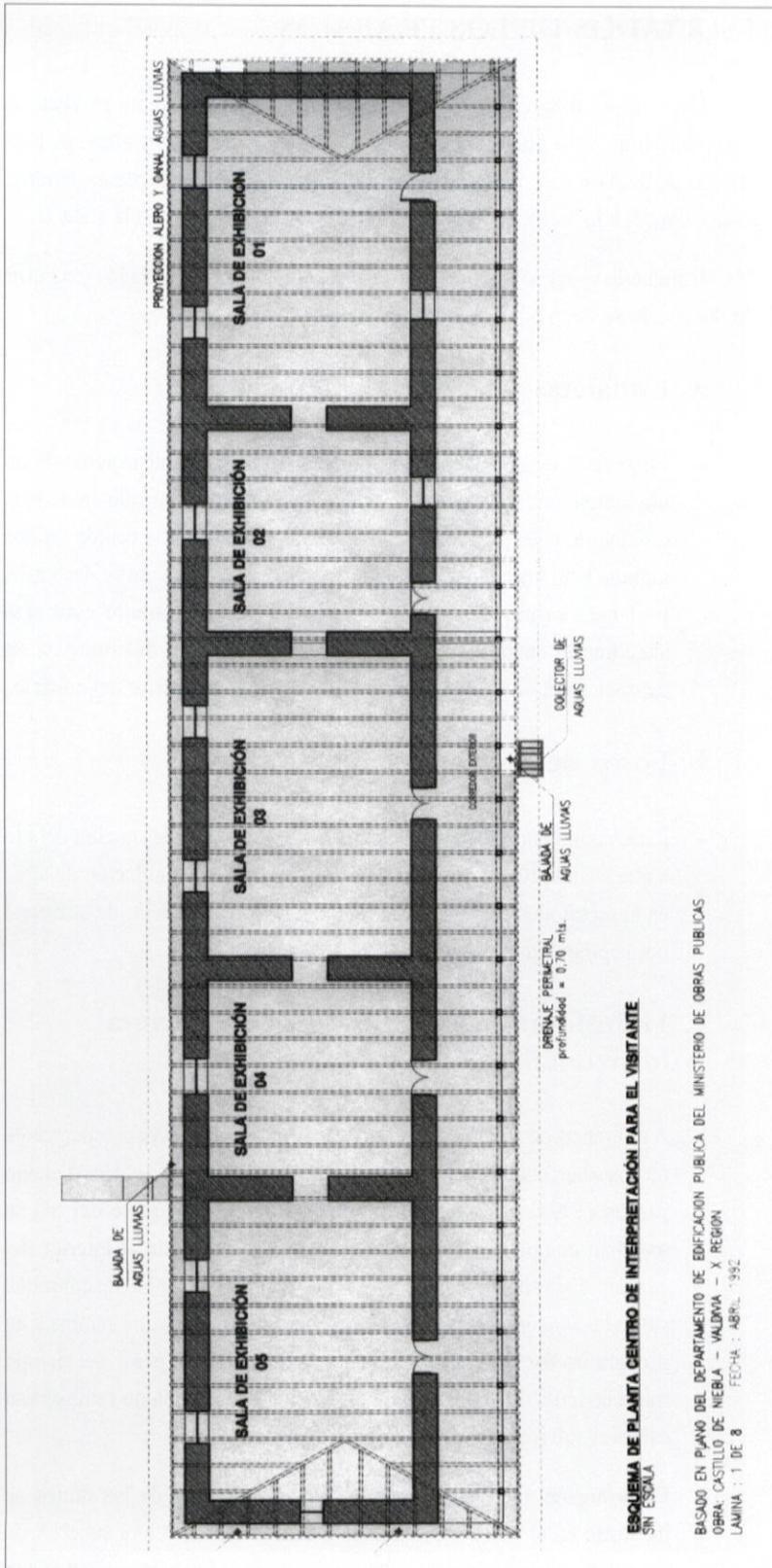


Lámina 3: Esquema planta CIV donde se observan las canales, bajadas y colector de aguas lluvias y el drenaje perimetral. Dibujo realizado por Carlos Bauer.

## RESULTADOS DE LOS TRABAJOS

Ocho meses después de terminada la ejecución del proyecto se visitó el Cív del Museo de Sitio Fuerte Niebla, con el fin de evaluar sus resultados. Esta visita fue particularmente importante debido a que se realizó en pleno invierno (agosto), donde, a la fecha, ya habían caído 1.105 mm de agua<sup>12</sup> en la zona.

Durante la visita se inspeccionaron todos los trabajos realizados y a partir de lo observado se llegó a las siguientes conclusiones:

### a. Canaletas y bajadas de agua:

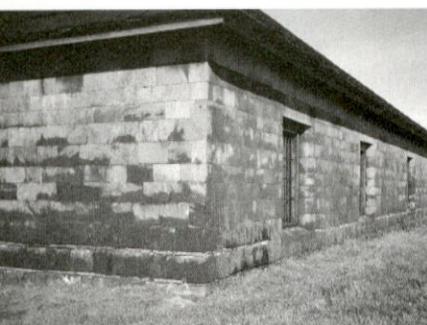
- En general, están cumpliendo su función de evacuación de aguas lluvia eficientemente. Sin embargo, dado el uso intensivo que tiene este sistema de colectores de agua de lluvia, la canaleta ha cedido en dos puntos. Esto hace que con cualquier lluvia fuerte el agua se desborde, y al caer salpique y moje el muro. Lamentablemente esto está sucediendo en una sección no impermeabilizada del muro y, en consecuencia, la humedad en esa sección pasa al interior del edificio.

### b. Fosos de drenajes:

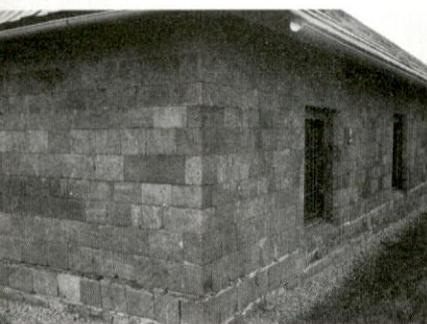
- Están cumpliendo su función eficazmente. Esto se puede concluir debido a que cuando llueve ya no se observan zonas de acumulación de agua en el sector aldaño a las bases de los muros o evidencias de humedad por capilaridad en los mismos.

### c. Hidrofobización de los muros y barrera horizontal:

- A diferencia de inviernos anteriores, los muros tratados ya prácticamente no absorben el agua de la lluvia que golpea su superficie. Hasta el año pasado (1998) cada vez que llovía, el muro NO y parte del SO se mojaban completamente, humedad que era transmitida al interior del edificio. Esta situación era fácil de observar por el cambio de color que sufría la *cancagua*, la que seca es de color gris claro y que cambia a un gris grafito oscuro cuando se moja. Actualmente, a pesar del tiempo transcurrido y de los índices de pluviosidad de la zona no se observan cambios salvo en lugares muy puntuales.
- Estos lugares por donde filtra humedad al interior de los muros se localizan en el muro NO, inmediatamente sobre la hilera superior de lajas. Esto probablemente se debe a que entre la laja y la *cancagua* han quedado pequeños espacios dejados por la pérdida de mortero y a través de los cuales filtraría el agua de lluvia. En esta zona el bloque *cancagua*



Fotos 9 y 10: Vista exterior de los muros NO y SO, antes y después de la ejecución del proyecto (agosto de 1995 y de 1999 respectivamente).



12 Dato obtenido el día 25 de agosto de 1999 de la página web de la Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl))

sigue manteniendo sus características físicas originales<sup>13</sup>, por lo que si entra esta zona en contacto con el agua, ésta es absorbida inmediatamente, pudiendo llegar a saturar el bloque completamente si la cantidad de agua es suficiente.

- No obstante el punto anterior, al hacer el registro de los niveles de humedad presente en los muros del edificio, los resultados de las mediciones arrojaron niveles que indicaban que los muros están húmedos todavía. Esta situación creemos se debe a que los muros todavía están exudando la humedad acumulada por años en su interior. A medida que pase el tiempo, esto debiera ir mejorando hasta que los muros se sequen por completo.
- El crecimiento de algas y musgos que se producía en las bases de los muros durante cada invierno no se produjo este año. Esto es consecuencia directa del tratamiento de hidrofobización de los muros debido a que, por un lado, el producto mató al resto de flora que crecía en ellos y, por otro, al poner una barrera contra el ingreso de agua a los muros, las algas y musgos ya no cuentan con el medio adecuado para su proliferación.

#### d. Sector del muro SO no hidrofobizado:

- Con la instalación de las canaletas y fosos de drenaje, esta sección del muro no ha presentado los problemas de humedad que mostraba hasta el año 1998. Sin embargo, a causa de que en dos puntos la canaleta cedió, mojando los muros, la humedad pasó al interior de la sala. Esta situación deja de manifiesto la necesidad de trabajos permanentes de mantención de las instalaciones del museo y, a modo de prevención, hidrofobizar la parte del muro SO no tratada.



Fotos 11, 12: Vista interior muro y ventana SO de la Sala 1, antes y después de la ejecución del proyecto (agosto de 1999).



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Transcurridos ocho meses de su ejecución y un invierno suficientemente lluvioso, los trabajos de drenajes y tratamiento de hidrofobización de los muros del CIV del Museo de Sitio Fuerte Niebla han funcionado eficientemente como barrera de humedad vertical y horizontal. Sin embargo, para poder evaluar el resultado final de estos tratamientos es necesario esperar que los muros sequen completamente (aproximadamente dos años), tiempo durante el cual se debe monitorear periódicamente el comportamiento de la humedad en éstos.

No obstante lo anterior, el proyecto presentó ciertos problemas, algunos de los cuales se solucionaron en el momento (drenaje de las bajadas de agua), otros

13 Dependiendo de la porosidad de la piedra es la profundidad de penetración del impermeabilizante, no obstante ésta nunca es superior a un par de cm. En otras palabras, más allá del par de cm que el producto penetra, el resto de la estructura de la piedra sigue conservando sus características físicas originales.

quedaron sujetos a la evaluación de los resultados del proyecto (hidrofobización del resto del muro SO) y, finalmente, algunos se evidenciaron en la visita de evaluación (secciones de las canaletas que cedieron).

A partir de los problemas pendientes y recientemente detectados recomendamos:

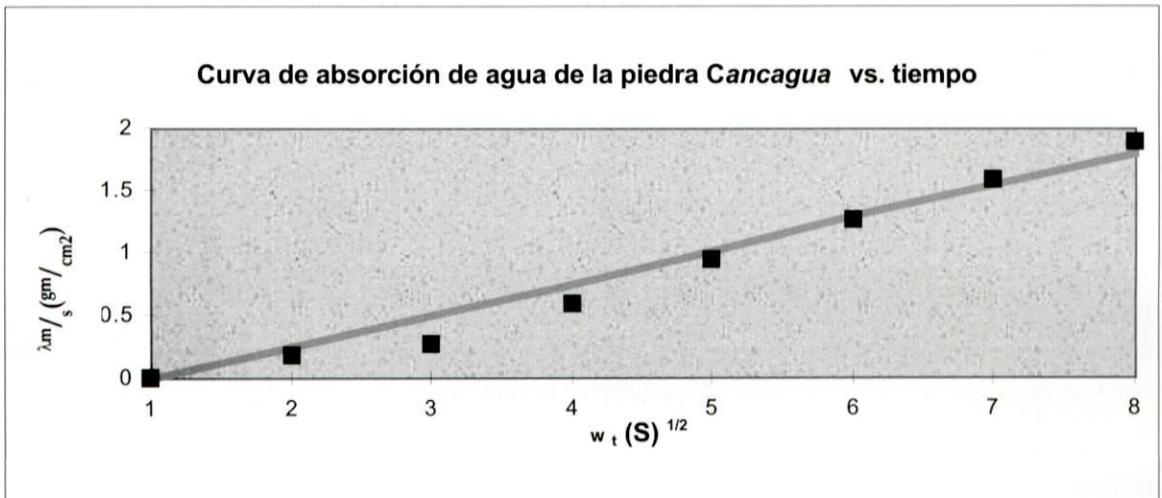
- a) Terminar el tratamiento de hidrofobización del muro SO (de la tercera ventana en adelante) y los primeros 3mt. lineales del muro NE (desde el punto en que se une con el muro NO) antes que comience el invierno del año 2000.
- b) Agregar dos bajadas de agua (una para el muro SO y otra para el muro NE). Actualmente, una bajada en cada muro no es suficiente para evacuar el volumen de agua que cae en la zona. Probablemente esta es una de las causas por la cual la canaleta cedió en dos puntos.
- c) Diseñar y realizar un programa permanente de mantención de las instalaciones del edificio, con el fin de que sigan funcionando eficientemente.

Finalmente, es necesario enfatizar la importancia de incorporar criterios de conservación en cada proyecto de restauración de monumentos, para evitar que se repitan situaciones como las que afectan a este edificio, y que eran fácilmente predecibles.

**Tabla 1**

Piedra cangagua en estado natural. Incremento de peso al saturar con agua

$$c = 2,4 \times 10^{-1} \text{ gr/cm}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ (coeficiente de absorción de agua de la piedra cangagua)}$$



## ANEXO: CARACTERIZACION DE LA PIEDRA CANCAGUA <sup>14</sup>

- 7.1 Color : 25 YG/2 Carta Munsell
- 7.2 Densidad : 1,7 k/dm<sup>3</sup>
- 7.3 Resistencia a la compresión<sup>15</sup>:
- Estado natural : 283.5 lb/cm<sup>2</sup>
  - Superficialmente seco : 331 lb/cm<sup>2</sup>
- 7.4 Porosidad aparente : 19.7%
- 7.5 Fluorescencia de Rayos X<sup>16</sup>

Elementos	Ba	Sr	Zn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Cl	S	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO
% peso	0,01	0,03	0,01	16	0,4	1,4	7	0,5	0,05	0,1	0,05	41	20	1	12

- 7.6 Coeficiente de absorción de agua <sup>17</sup>:

$$S = 36 \text{ cm}^2$$

Tiempo		Peso	DM(t)/S
t	t <sup>1/2</sup>	M(t)	
(s)	(s <sup>1/2</sup> )	(gr)	Gr/cm <sup>2</sup>
0	0	588,0	0
1	1	594,6	0,183
4	2	597,7	0,269
9	3	609,0	0,583
16	4	622,2	0,950
25	5	633,7	1,270
36	6	645,4	1,590
49	7	656,2	1,900

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a todos aquellos que colaboraron directa o indirectamente en la ejecución de este proyecto; muy especialmente a Susana Muñoz, conservadora del Museo de Sitio Fuerte Niebla, a Soledad Correa B., voluntaria del Laboratorio de Monumentos, y a Carlos Bauer, arquitecto.

14 Análisis realizados en laboratorios de CESMEC Ltda., Santiago, Chile.

15 Valores promedio obtenidos según norma ASTM C97-83 y C170-50 respectivamente.

16 Este análisis instrumental permite detectar todos los elementos de número atómico superior a 10.

17 Ensayo realizado en el Laboratorio de Monumentos del CNCR.

## BIBLIOGRAFIA

- BAHAMÓNDEZ, M. *Investigación para la conservación de la piedra. Fuerte Niebla – Valdivia–Chile*. Informe realizado dentro del marco del Proyecto V Centenario, 1992. 10 pp.
- BAHAMONDEZ, M. ELIZAGA, J. VALENZUELA, P. *Informe final tratamiento de hidrofobización de los muros norte y poniente del museo del Fuerte Niebla*. Santiago : Centro Nacional de Conservación y Restauración, 1999. 26 pp.
- Ficha técnica Cave Clear–S. *Santiago: Productos Cave*. 2 pp.
- GUARDA, G. *Flandes Indiano: las fortificaciones del Reino de Chile 1541- 1826*. Santiago : Ediciones Universidad Católica de Chile, 1990. 425 pp.
- GUARDA, G. *V Plan General de restauración de los castillos del Puerto de Valdivia*. Santiago, 1990. 18 p. (doc. no publicado).
- GUARDA, G. MONTANDÓN, R. WEIL, E. *Informe de la comisión designada por el Consejo de Monumentos Nacionales para inspeccionar las obras de reconstrucción en Niebla y elaborara un plan general de restauración de los castillos del estuario del río Valdivia*. Santiago, 1968. 12 pp. (doc. no publicado).
- WEBER, H. *¿Qué hacer contra la humedad?.* Wacker SMK. Munchen: Wacker–Chemie GmbH, 1995. 14 pp.
- MONTANDÓN, R. *Restauración de las fortificaciones españolas en la Bahía de Corral*. Santiago : M.O.P. Dirección de Arquitectura. Oficina de Monumentos Nacionales, 1990. 49 pp. (doc. no publicado).
- ROTH, MICHAEL. *Siliconatos – Resinas de Silicona – Silanos – Siloxanos*. Wacker SMK. Munchen: Wacker–Chemie GmbH, 1995. 14 pp.
- VALENZUELA, P. *Museo de Sitio Fuerte Niebla: Informe de estado de conservación de los muros perimetrales después de su impermeabilización - Invierno, 1999*. Centro Nacional de Conservación y Restauración, 1999. 4 pp. (doc. no publicado).

Fotografías: Mónica Bahamóndez,  
foto 8; Julieta Elizaga, foto 7; Mariana  
Mathews, foto 1; Paula Valenzuela,  
fotos 2 a 6 y 9 a 12.