

# FACTORES CRÍTICOS DE PRE-DISEÑO PARA LA DURABILIDAD CONSTRUCTIVA. CAPILLA ANGLICANA DE CHAÑARAL, CHILE

## CRITICAL PRE-DESIGN FACTORS FOR CONSTRUCTIVE DURABILITY: ANGLICAN CHAPEL OF CHAÑARAL, IN CHILE

Rodrigo Vidal Rojas<sup>1</sup>  
Rosario Magro<sup>2</sup>  
René Carmona Cerda<sup>3</sup>

### Resumo

Conocer las causas de la durabilidad de un edificio en madera de 143 años, ante los agentes atmosféricos adversos, permite entender el papel que esas causas juegan en el diseño arquitectónico. Este es el caso de la capilla anglicana de Chañaral, en Chile. Se propone la hipótesis de que las condiciones y decisiones críticas de pre-diseño determinaron las decisiones de diseño y permitieron construir un edificio estable, durable y sostenible, frente a las condiciones del lugar, antes del diseño mismo y en ausencia de un programa de conservación. Se aplicó un método lógico inductivo que, tras la observación del edificio, de su contexto y de la derivación inductiva, permitió vía experimentación concluir que las condiciones de prediseño fueron: la lectura precisa y adecuada de la estructura del lugar de intervención; la selección de un conjunto coherente de acciones de mitigación para disminuir los factores adversos del lugar y tres decisiones claves de pre-diseño: emplazamiento y orientación; material y sistema constructivo; resistencia ante la intemperización.

**Palavras-chave:** Construcción en madera, pino Oregón, capilla anglicana, patrimonio arquitectónico.

### Abstract

Knowing the causes of the durability of a 143-year-old wooden building, in the face of adverse atmospheric agents, allows us to understand the role that these causes play in architectural design. This is the case of the Anglican chapel of Chañaral, in Chile. The hypothesis is proposed that the critical pre-design conditions and decisions determined the design decisions and allowed the construction of a stable, durable and sustainable building, given the conditions of the place, before the design itself and in the absence of a conservation program. . An inductive logic method was applied which, after observing the building, its context and the inductive derivation, allowed via experimentation to conclude that the pre-design conditions were: accurate and adequate reading of the structure of the place of intervention; the selection of a coherent set of mitigation actions to reduce the adverse factors of the site and three key pre-design decisions: siting and orientation; material and construction system; resistance to weathering.

**Keywords:** Wood construction, Oregon pine, Anglican chapel, architectural heritage.

<sup>1</sup> Universidad de Santiago de Chile, [orcid.org/0000-0002-3037-7883](https://orcid.org/0000-0002-3037-7883) rodrigo.vidal@usach.cl

<sup>2</sup> Universidad Central de Chile y Universidad de Santiago de Chile [orcid.org/0000-0001-6452-678X](https://orcid.org/0000-0001-6452-678X) rosmagro@yahoo.it

<sup>3</sup> Universidad de Chile, [orcid.org/0000-0003-4793-0478](https://orcid.org/0000-0003-4793-0478) recarmon@uchile.cl

## INTRODUCCIÓN

En Chile, de un total de 1702 monumentos nacionales declarados entre 1925 y 2019 (1), 384 edificios patrimoniales fueron construidos antes de 1880. De estos, menos del 30% se encuentra en uso, según se infiere de los antecedentes del Consejo de Monumentos Nacionales (2). Uno de ellos es la capilla de la Iglesia Anglicana de Chañaral (Figura 1), que desde inicios del siglo XX pertenece a la Iglesia Evangélica Presbiteriana y es utilizada semanalmente acogiendo las ceremonias de esta comunidad.

Figura 1. Exterior e interior de la capilla anglicana de Chañaral, hoy templo Presbiteriano.



Declarado Monumento Histórico Nacional el 8 de noviembre de 1994, el edificio fue construido entre 1870 y 1878, en la calle Merino Jarpa 722, de Chañaral (3) (actualmente 522). El sistema constructivo de la capilla es el sistema denominado *Balloon Frame* (4), realizado en madera de pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (5) proveniente de la costa Pacífico de la Columbia Británica-California (6). La época en que se proyectó el edificio coincide con la primera implementación en el mundo de este sistema. Durante el Siglo XIX, la revolución industrial en Europa, y luego en EE.UU, introdujo nuevas tecnologías en el proceso de producción de la madera, gracias a la capacidad de las maquinarias de generar nuevos productos madereros que se caracterizaron por sus diversas, variadas y estandarizadas dimensiones. Este proceso sustituyó los modos tradicionales de procesamiento de este material y de producción de las piezas aserradas que se empleaban en la construcción hasta aquel momento (7).

El *Balloon Frame* nació en el *Mid West*, precisamente en la zona de Chicago (8). Sus orígenes históricos han sido argumentados por investigadores como Fred Peterson (9), Paul Sprague (10) y Ted Cavanagh (11). Giedion (12), atribuye a George Washington Snow (1797-1870), ingeniero y contratista de *New Hampshire*, la primera construcción en *Balloon Frame* e identifica la Iglesia católica de *Saint Mary's Church* de Chicago, del 1832, como el primer edificio donde encontramos este nuevo sistema constructivo. En general, el *Balloon Frame* eliminó el empleo de piezas de grandes secciones, abandonó las complejas uniones talladas de las piezas que constituyen muros, pisos y techos, disminuyó drásticamente los tiempos de construcción y facilitó la

simplicidad del sistema constructivo, que no requirió de mano de obra especializada, como también facilitó su producción industrial, almacenamiento y fácil transporte vía marítima, impulsando su exportación. Las construcciones que emplean el *Balloon Frame* están constituidas por un entramado de piezas dimensionadas cuyas secciones son generalmente de 2"x 4"; 2"x 6" y, dependiendo de las luces y esbeltez de las construcciones, en determinados casos de 2"x 10" y 2"x 12", unidas entre ellas solamente por clavos.

Por otra parte, es importante señalar que cuando la madera es expuesta a la intemperie sin tratamiento de protección superficial (en este caso, las tejas de la capilla) se produce un deterioro superficial llamado *weathering* (meteorización o intemperización) (13, 14) donde el material presenta visualmente un cambio cromático superficial. Los principales factores ambientales que determinan el *weathering* son la radiación UV, el viento, el agua, la humedad y la contaminación atmosférica (15). Algunos estudios han demostrado que para elementos expuestos verticalmente el deterioro es menor mientras que para superficies expuestas a 45° los deterioros son mayores (16). Entonces, el ángulo de exposición juega un papel importante en la degradación de la madera, obteniéndose los mayores índices de degradación superficial entre 45° y 0° de inclinación. A 90° la degradación disminuye de manera considerable. Además, se registra que, a mayor densidad, menor cantidad de material erosionado.

Sin embargo, hasta hoy la capilla de Chañaral sigue respondiendo adecuadamente a la frecuencia de uso por parte de los fieles, sin cambios en su estructura y materialidad y con un trabajo mínimo de mantenimiento. Entonces, ¿cómo entender la durabilidad de un edificio de 143 años de existencia, y en pleno uso, construido en condiciones de contexto y de entorno desfavorables, siendo que los pocos edificios de la misma época que aún subsisten en la misma ciudad, de similares características constructivas, materiales y de tamaño, se encuentran abandonados, destruidos o en estado previo a la demolición?

Se propone aquí la hipótesis de que las condiciones y decisiones críticas de pre-diseño determinaron las decisiones de diseño y permitieron construir un edificio estable, durable y sostenible, frente a las condiciones del lugar, antes que el diseño mismo y en ausencia de un programa de conservación. Una de las principales razones de deterioro para las estructuras en madera en el Norte de Chile se encuentra en el ataque de las termitas que son típicas de estas zonas: las *Cryptotermes brevis* (17). Como indica Beeche, según Ripa y Luppichini: "En nuestro país, las especies de mayor relevancia son las termitas del norte, bastante común en las construcciones de madera más antiguas de esa zona, y la termita subterránea, una especie introducida y detectada por primera vez en el país en la década de 1980, que se distribuye en la actualidad en diferentes regiones del centro y sur" (18). Es un insecto Xilófago que, organizado bajo forma de colonia, puede generar daños importantes a las construcciones en el mediano a largo plazo. La madera, en el caso de presentar altos contenidos de humedad (sobre el punto de saturación de la fibra), presenta hongos de pudrición. Y, si bien, la *Cryptotermes brevis* pertenece a un grupo de insectos xilófagos denominados termitas de madera seca por su capacidad para atacar madera con bajos contenidos de humedad, la pudrición, de todos modos, le facilita el acceso a la madera (19).

El principal objetivo de este artículo es poner en evidencia el conjunto de condiciones y decisiones de diseño previas al diseño definitivo (decisiones de *pre-diseño*) que permitieron al edificio sobrevivir a las condiciones climáticas y a los eventos de la Naturaleza. Desde allí, se intenta dar un contenido a dicha noción de *pre-diseño*, a partir del análisis inductivo de un caso específico. El segundo objetivo del artículo es demostrar la importancia que esta etapa tiene en el logro de un edificio estable, durable y sostenible.

## MÉTODO

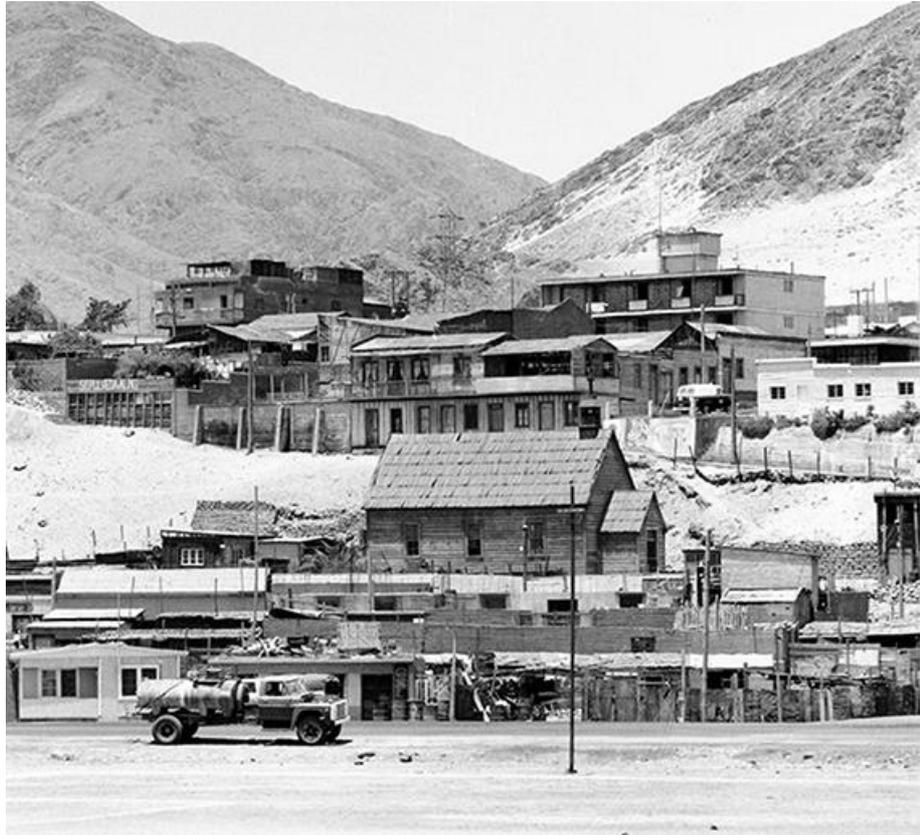
### Lugar de estudio y descripción del edificio

Como se evidencia en la carta de 1870, enviada por el representante de la comunidad protestante de Chañaral, don Pedro Nolasco Schjölberg, a don Florentino Pantoja, subdelegado de Chañaral, la capilla fue construida según proyecto. En la carta, Nolasco explica que escribe "en representación de la secta protestante de este puerto, ante usted me presento y le digo, que teniendo el proyecto de construir una iglesia para celebrar en ella nuestros oficios, de acuerdo a nuestras creencias. Proponiéndonos, desde luego, dar principio a los trabajos a fin de cumplir con las disposiciones y leyes vigentes del país. Suplicamos a Ud. se sirva concedernos el permiso correspondiente. Para ello tengo a bien adjuntar el plano de la referida capilla, destinando mil pesos para pagar los derechos de construcción en terrenos de propiedad de la señora Elena Waters y don Santiago Phillips, cuyos representantes son: Enrique Hill y H. Peters, quienes nos han cedido el terreno" (20). Este documento demuestra que la capilla fue proyectada conociendo de antemano el terreno a disposición. Ubicado en la Latitud 26°20' 49.29" S; Longitud 70° 37' 17.77" O, presenta algunas ventajas ambientales que pudieron haber mejorado las prestaciones y durabilidad de una construcción de este tipo (Figura 2). La cara longitudinal del edificio queda expuesta hacia el Noroeste, que es la orientación desde donde provienen los vientos dominantes. El edificio quedó emplazado y orientado según un eje Este-Oeste, situando el acceso al Oeste. Esto es coincidente con la orientación tradicional de los edificios cristianos nacida en el 1er Concilio de Nicea (325 d.C.) (21) y seguida por la tradición anglicana. Esta coincidencia garantizó, en el largo plazo una óptima ventilación natural de la base del edificio y de las envolventes exteriores, evitando presencias de zonas húmedas y sucesivas pudriciones (22). Además, el edificio se mantuvo aislado durante largos decenios en intervalos diversos (Figura 3), debido a los constantes terremotos y aluviones que destruían las construcciones vecinas más bajas, alledañas a la calle Merino Jarpa, y mantuvo abierta la circulación/ventilación de aire en su parte inferior, por más de un siglo.

Figura 2. Arriba: ubicación; al medio: emplazamiento, ambas imágenes extraídas de Google Earth (23 y 24, respectivamente). Abajo, deslindes de la capilla anglicana de Chañaral.



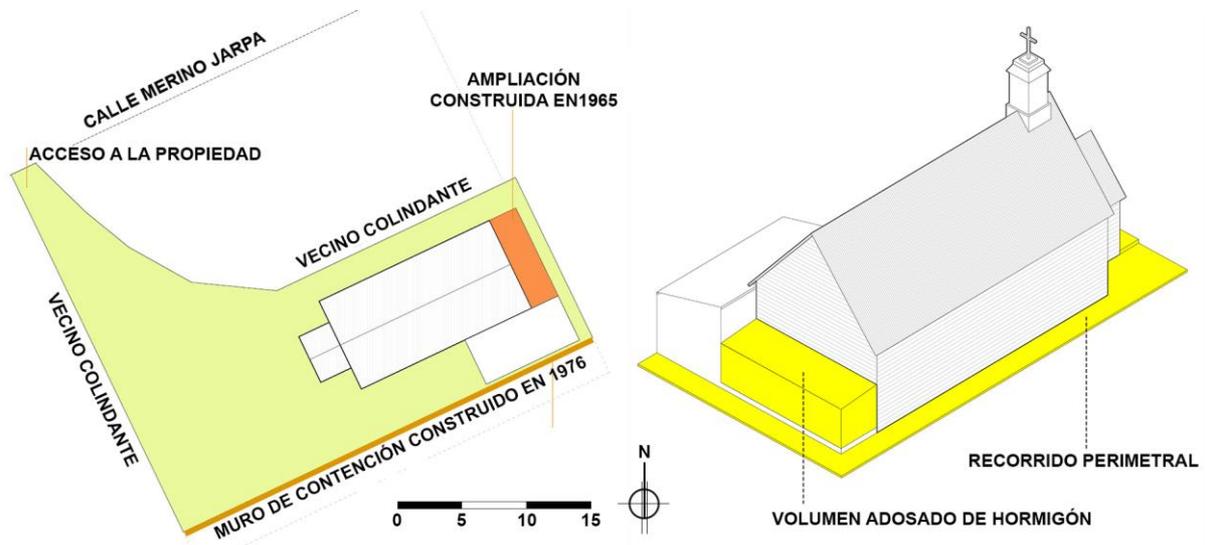
*Figura 3. La capilla anglicana desde el sector playa, en 1970 (25).*



La nave de la capilla, destinada a las celebraciones públicas tiene una superficie de 110 m<sup>2</sup> y presenta una planta rectangular de 14,5 m x 7,6 m y una altura de piso a cielo de 4,30 m. La fachada Suroeste presenta un módulo rectangular de 3 m de altura piso-cielo y 10 m<sup>2</sup> de superficie, con techo a dos aguas, que constituye la entrada principal del edificio. En el lado Sureste se encuentra un habitáculo que tiene una planta rectangular cuya superficie es de 52 m<sup>2</sup>, accesible desde el interior de la capilla y desde el lado exterior oriente. Añadiendo estos dos espacios la superficie total del edificio es de 172 m<sup>2</sup> (Figura 4).

Los límites y la morfología del terreno recibieron algunas modificaciones durante los años. En 1976 se construyó un muro de contención en piedra en el lado Sur-Sureste para contener la erosión de terreno de la parte suprayacente a la capilla. Más tarde, en 2004 el muro de contención fue construido en hormigón armado. Además, se añadió una rampa de hormigón que permite el acceso desde la calle Merino Jarpa y que circunda perimetralmente todo el edificio. Además, los tres volúmenes del edificio original estaban completamente libres en todas sus fachadas hasta 1965 fecha en la cual se construyó, en la fachada Noreste un volumen para alojar unos baños cuyo muro de hormigón fue adosado a la fachada de madera. De esta manera se cubrió esa fachada hasta la mitad de su altura (Figura 4).

Figura 4. Baños, muro de deslinde y recorrido perimetral que obstaculizaron la ventilación inferior del edificio.



## Observación y análisis

Para validar la hipótesis se aplicó un método lógico inductivo. Durante tres visitas a terreno, en 2017, 2019 y 2020, se realizó un trabajo de observación para poder entender la condición actual del edificio y corroborar el estado de deterioro de los materiales. En 2017 se realizó una inspección del conjunto del edificio para conocer su estado material y estructural. Se midió la humedad de la madera, se realizaron inspecciones visuales y se midió el desaplome de algunos de sus elementos de revestimiento. También se inspeccionó el techo y el entretecho. Con auxilio de escaleras se ingresó en el entretecho desde el interior del edificio fotografiando y midiendo todos los elementos de madera que constituyen la estructura para entender, de esta forma, la real geometría de la cercha y el estado de deterioro de dichos elementos. Se estudió el entorno material inmediato del edificio y se realizaron entrevistas a diversos actores claves para conocer aspectos específicos del diseño, construcción y mantención del inmueble. Esta visita permitió formular más detalladamente el problema, revisar la hipótesis y acopiar material clave para el desarrollo de la investigación.

En 2019, se inspeccionaron las fundaciones del muro orientado al Noroeste, próximas al acceso principal del edificio, se revisaron los sistemas de anclajes de la estructura del muro al suelo y se analizó el estado de deterioro de la madera (Figura 5).

*Figura 5. Estado actual de las fundaciones y vigas principales inferiores, donde se aprecia el efecto de la humedad, por falta de ventilación, y también el efecto de las térmitas.*



En 2020, se amplió el perímetro de análisis de las fundaciones y del envigado de piso, se estudió detalladamente el revestimiento interior y las ventanas y se analizó el estado de la cubierta. Se obtuvieron tres muestras de madera para analizarlas en laboratorio, tanto del revestimiento como de la estructura (pino Oregón) así como de la cubierta (alerce). Las muestras obtenidas se colocaron en bolsas plásticas y fueron analizadas por los autores en el Laboratorio de Análisis del Departamento de Desarrollo en Productos Forestales de la Universidad de Chile (figuras 10 a 16).

Además, se midieron y anotaron las dimensiones de las escuadrías de los elementos estructurales del muro pudiendo de esta manera conocer las dimensiones reales de todos los elementos que constituyen las fundaciones y los muros de la capilla. Desde el exterior se procedió a inspeccionar el agua de la cubierta del techo orientada al Sureste registrando fotográficamente el estado de deterioro de las tejas de madera de alerce, además de localizar las aberturas generadas por la falta de tejas. En los diferentes lados exteriores de la capilla se midieron, con higrómetro, los contenidos de humedad de la madera, principalmente en las fachadas, Noreste, Suroeste y Sureste (Tabla 1) para compararlo con el CHE (Contenido de Humedad de Equilibrio) (26) y con la finalidad de entender su relación con la humedad relativa del ambiente y las acciones de los agentes de deterioro de la madera, bióticos y abióticos. Se observaron, además las modificaciones ocurridas y generadas sucesivamente desde la construcción original, reconociéndolas y definiendo las fechas de ocurrencia.

Tabla 1. Mediciones de contenido de humedad tomadas a un 1 m de altura desde el suelo, en diferentes lados de la capilla. Las mediciones corresponden a diferentes tablas del revestimiento exterior.

Exterior esquina suroeste CH%		Exterior esquina sureste CH%			
38,1		51,9			
51,8		26,0			
47,1		27,7			
33,1		34,0			
Promedio 42,5		Promedio 35			
Exterior oeste CH%		Exterior este CH%		Exterior sur CH%	
19,3		33,4		20,9	
23,3		24,2		23,5	
18,8		33,8		41,9	
17,6		40,1		57,3	
Promedio 19,8		Promedio 30,8		Promedio 31,4	

Adicionalmente, se hicieron visitas a arquitecturas de la misma época (Figura 6), las que se encuentran en la cercanía de la capilla y en situación de deterioro más avanzado del actual caso de estudio. Esto fue fundamental para poder consolidar la pregunta e hipótesis de la investigación, dado que el estado de conservación de estos edificios es, en comparación con la capilla, muy precario, a pesar de enfrentar las mismas condiciones climáticas y ambientales.

Figura 6. Vivienda del casco histórico (Lord Cochrane con Yungay), abandonada y en estado de deterioro avanzado.



En el Laboratorio, las muestras de madera que formaban la cubierta (muestra X), el soporte del revestimiento (muestra E) y el revestimiento exterior (muestra R), fueron examinadas macroscópicamente en la búsqueda de características para su identificación y de signos de daño físico, químico o biológico. Una vez registradas las características y signos encontrados en las muestras, se procedió a cortar desde cada una de ellas cubos de

aproximadamente 1 cm de arista mediante una sierra de banco, los cuales fueron examinados microscópicamente, en las caras transversal, tangencial y radial buscando características clave en la identificación anatómica de una especie de madera. Adicionalmente, de la muestra E se extrajeron aproximadamente 0,7 g del material fibroso de la superficie y de la zona interior, para determinar la cantidad de lignina.

## RESULTADOS

### El emplazamiento y orientación favorecieron la durabilidad del edificio

La capilla fue emplazada respetando la misma orientación del terreno, conformado por un muro longitudinal expuesto al Noroeste y el muro de acceso principal de la capilla resultando expuesto al Suroeste. Esta posición, en términos ambientales, produce unas dinámicas favorables que son determinadas por la ventilación natural procurada por los vientos prevalentes. Estos soplan desde el Oeste hacia el Este durante casi todo el año (Figura 7), escenario que fue ventajoso para una arquitectura de madera de este tipo. Además, esta orientación permitió un adecuado asoleamiento en sus cuatro fachadas a lo largo del año (Figura 8).

Figura 7. Rosa de los vientos Chañaral (27).

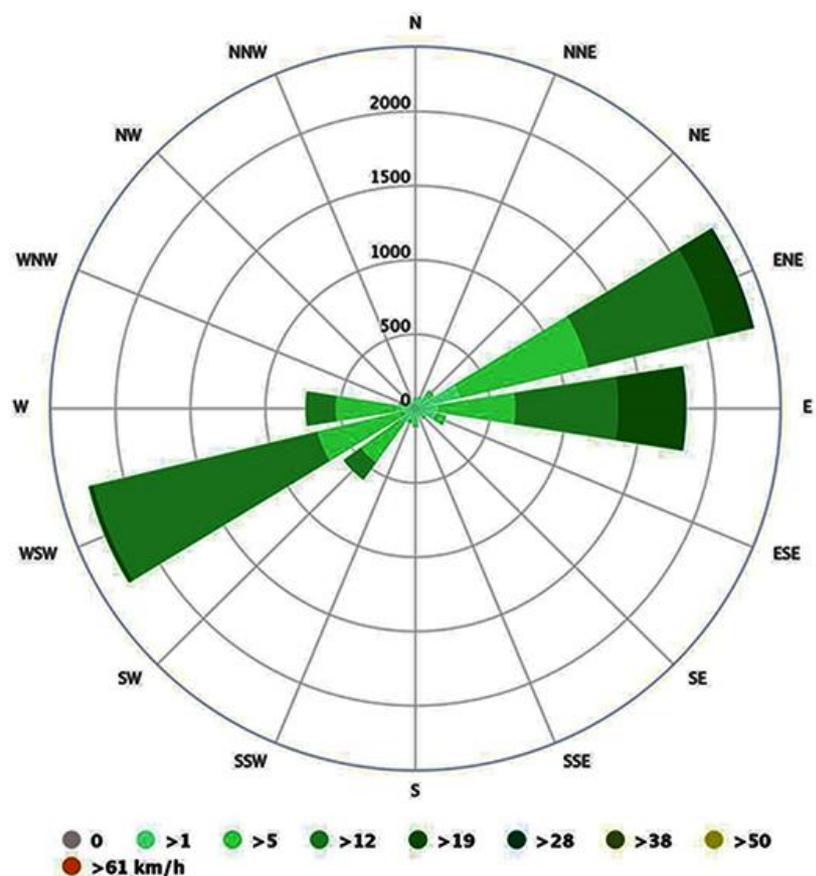
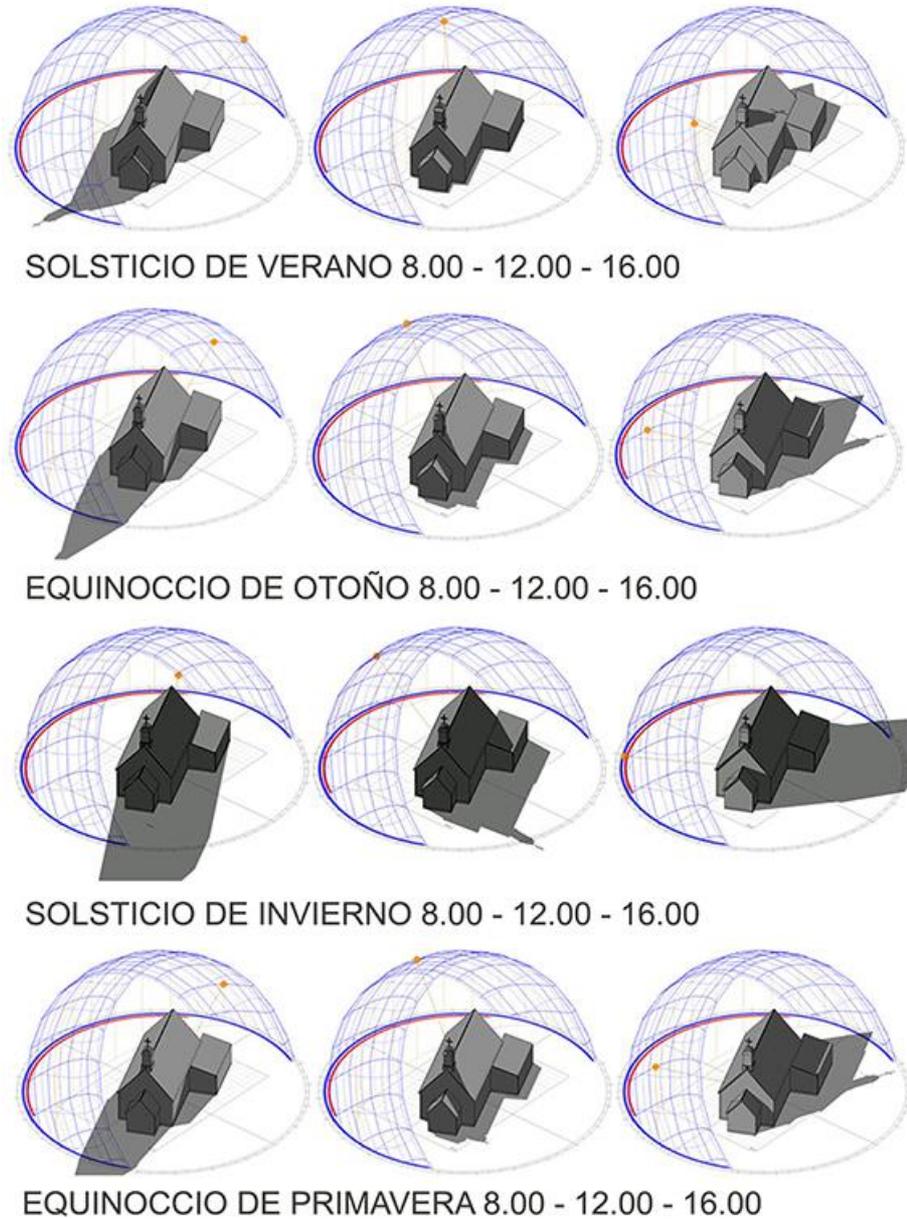


Figura 8. Emplazamiento de la capilla respecto a la trayectoria del sol durante el año.



Las fundaciones están constituidas por pilares de 30 cm de altura que soportan una viga perimetral sobre la cual se apoya un envigado de piso separado del nivel de tierra. La separación del suelo generó una cámara de aire de una altura de aproximadamente 40 cm que permitió a los vientos, durante decenios, ventilar la parte inferior de la capilla, constituyendo una condición esencial para la durabilidad del artefacto arquitectónico y un ejemplo de buena práctica de diseño para las construcciones en madera. Gracias a esta decisión de pre-diseño se evitó generar zonas húmedas en el perímetro de la base de la capilla, eliminando todo tipo de barreras físicas que podrían haber sido fuentes de detención de agua lluvia en zonas cercanas a la madera, con el consecuente ataque de los hongos de pudrición y luego el rápido deterioro de la estructura. La buena ventilación de la base y la no presencia de superficies o zonas húmedas en la envolvente retardaron (pero no evitaron), durante decenios el ataque de las *Cryptotermes brevis*. Lo

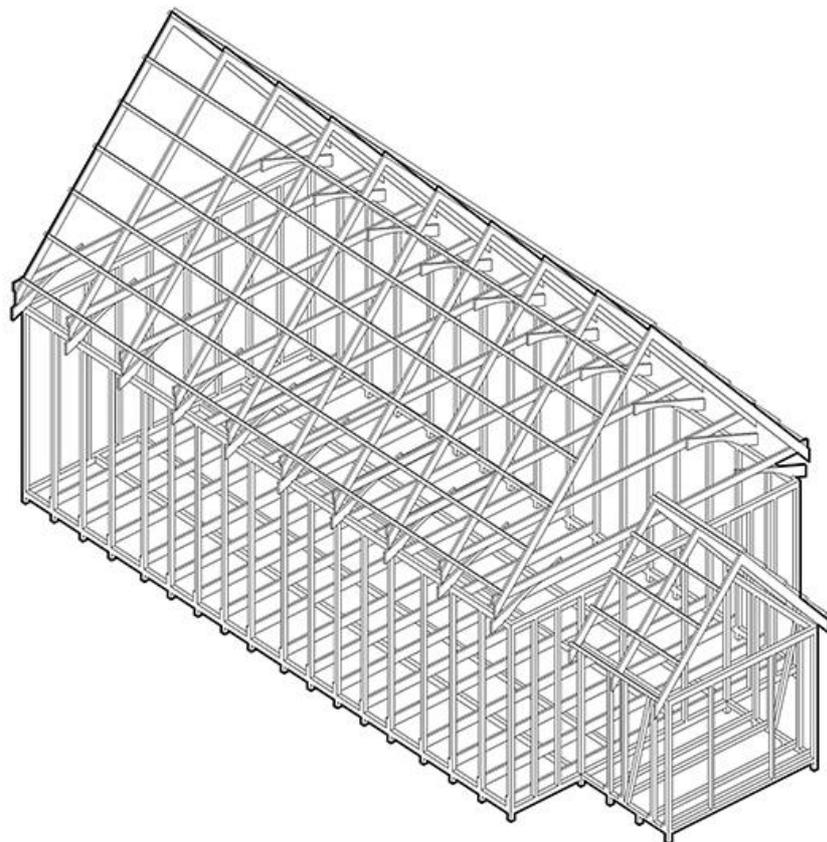
anterior, sumado a que el entorno de la construcción se encontró por muchos años sin presencia de edificios o muros cercanos a los deslindes, como se observó en la figura 3, permitió la fluida y constante circulación del viento sobre los muros y bajo el edificio, creando un microclima favorable para la preservación de la capilla.

Otro aspecto relevante y de carácter morfológico, es que la capilla se encuentra emplazada a una cota de aproximadamente 4 m en relación a la cota de la calle Merino Jarpa. Esta posición ha contribuido a reafirmar la resiliencia de la construcción que en los años no ha sido dañada por ninguno de los 32 aluviones e inundaciones ocurridos en Chañaral entre 1877 y 2017.

### **El sistema constructivo otorgó estabilidad al edificio**

Los principales elementos de soporte vertical del edificio tienen una sección de 3"x 5", están equidistantes uno de otro entre 75 y 90 cm y se extienden desde la fundación hasta la techumbre. Los elementos de vigas y cerchas tienen secciones de 2"x 8" y 2"x 10". La losa del piso es constituida por un entramado de vigas que están clavadas directamente a los elementos de soporte vertical (Figura 9).

*Figura 9. Isométrica de la capilla que muestra su estructura.*



### **Resistencia al fenómeno del *weathering***

Las imágenes antiguas de Chañaral muestran las fachadas de la capilla sin ningún tipo de pintura o productos de preservación aplicados a la madera.

Según el ex-pastor de la iglesia, Eduardo Torres Varela (28), la capilla se pintó de color amarillo aproximadamente en 1950 sobre una capa de pintura azul, mientras que el interior se pintó de color azul en 1972. Las tejas de la cubierta son de madera de Alerce y a la fecha se presentan sin productos preservantes aplicados, por lo tanto, podemos deducir que la madera al natural, de esta parte de la capilla, ha resistido a todos los agentes bióticos y abióticos por un periodo de 143 años, pero no sin daños.

Si se analizan los diagramas de las temperaturas máximas de Chañaral y las frecuencias de los días de sol durante el año (29 y 30) se deduce que hay prevalencia de temperaturas mayores de 25 grados y días asoleados para la mayor parte del año mientras que las precipitaciones son irrelevantes. Esto no significa que las precipitaciones no fueron importantes en el pasado. Desde 1850 hasta el 2000 se han sucedido fenómenos lluviosos impactantes (31), siendo 1860, 1880, 1900, 1930, 1940 y 1990, años donde rangos muy altos de precipitaciones se manifestaron y a los cuales la capilla resistió gracias a las decisiones de pre-diseño, de emplazamiento y de protección por diseño de la estructura de madera del edificio. Otro aspecto no menor a considerar es la regular y normal presencia de *camanchaca* que precipita sobre las superficies. La *camanchaca* es un niebla espesa y baja que va desde la costa hacia el interior.

En relación con los factores ambientales, su efecto combinado o *intemperización*, durante el período, tuvo un efecto diferente en las maderas. En este caso la madera con ángulo de exposición a 90° que constituye el entablado de revestimiento exterior de los muros de la capilla es de pino Oregón, madera de menor densidad respecto a la madera utilizada para las tejas (más densa) que se encuentra con exposición entre 45 y 0 grados y por lo tanto más resiliente frente al deterioro. Esta disposición de la madera revela que la intemperie fue considerada atentamente al momento de elaborar el proyecto garantizando mayor protección para los elementos de cubiertas los cuales evitaron, por más de 100 años, acumulación de agua lluvia e infiltraciones en la estructura interior de la capilla. Con estas decisiones constructivas la estructura principal nunca se encontró expuesta directamente a agua líquida y a la acción del sol, contribuyendo, estas soluciones, a la conservación en el tiempo y a una vida larga del edificio.

## **Evidencias de un deterioro progresivo**

Los procesos de deterioro presentes en edificios cercanos, y que impiden su uso por el riesgo de estabilidad estructural, corresponden a la acción de la intemperie, principalmente la luz U.V., termitas y, en muy menor medida, hongos y daño por sales. Comparativamente, la capilla muestra un menor daño por termitas en los elementos de madera de los diferentes componentes del mismo, lo que se atribuye a un retraso en la aparición de éstas. La mayor concentración de termitas se encuentra en el entretecho y en los muros de exposición Noroeste y Noreste, así como en la parte baja de los muros laterales, donde el aire con alta humedad proveniente del mar (*camanchaca*) los humedece.

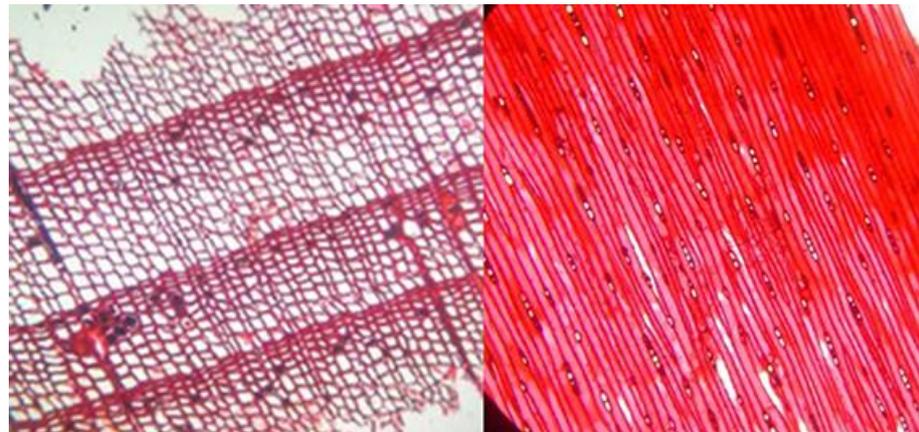
El análisis anatómico de las muestras de pino Oregón y alerce del edificio arrojaron los siguientes resultados: las características microscópicas observadas en los cortes anatómicos realizados a la muestra E confirman que corresponde a pino Oregón. Además, se puede observar el perfecto

estado que tiene la madera inmediatamente debajo de la superficie afectada por la intemperie (Figura 10). Los cortes anatómicos realizados a la muestra X la identifican como Alerce (*Fitzroya cupressoides*). Al igual que con la muestra E, se puede observar el perfecto estado que tiene la madera debajo de la superficie intemperizada (Figura 11).

Figura 10. Fotos de cortes transversal (Fotografía izquierda 10x) y longitudinal (Fotografía derecha 10x) de la madera sana de la muestra E de pino Oregón.



Figura 11. Fotos de cortes transversal y tangencial (Aumento 10x) de la muestra X, de alerce.



La muestra E (Figura 12), corresponde a pino Oregón, con manchas de color negro de tanato férrico, en dos de las superficies opuestas, producidas por contacto en húmedo con elementos ferrosos (clavos, cubiertas) y en las mismas caras se observa daño similar a la pudrición blanda, con la madera de consistencia fibrosa a nivel superficial, con fibras largas de varios mm de longitud perfectamente identificables, en un fenómeno conocido como desfibrado de la madera (32). Además, ésta muestra presenta signos de *carcomen* y galerías atribuido a termitas de madera seca (*Cryptotermes brevis*).

*Figura 12. Muestra E de la parte inferior de los listones que separan la estructura del muro y el revestimiento exterior (lado noroeste), con erosiones por termitas y manchas negras de tanato férrico.*



La muestra R (Figuras 13 y 14), al igual que la anterior, corresponde a pino Oregon y presenta las mismas características de manchas negras similares a carbonización y signos de daño por termitas. Una de las superficies presenta fibras sueltas y superficie rugosa por un mayor desgaste de la madera temprana del anillo de crecimiento, el que podría deberse a daño químico por sales y humedad en conjunto con intemperización.

*Figura 13. Muestra R, arriba la superficie interior y abajo la exterior de la pieza que constituye la muestra.*



*Figura 14. Sector del que se obtuvo la muestra R perteneciente a tabla de revestimiento exterior (lado noroeste).*



El tiempo de este deterioro coincide con el tiempo en que se construyó el zócalo perimetral de hormigón, antes mencionado. Una alteración que fue implementada con la construcción del camino de hormigón alrededor del perímetro de la capilla. Se cubrieron las maderas de las fundaciones provocando la obstrucción del sistema de ventilación natural de la parte inferior. Además, esta variación es una fuente de deterioro permanente, por la formación de zonas de estancamientos de aguas lluvias, debido al pavimento de hormigón (Figura 4), y consecuente presencia de pudrición de la madera.

La muestra X (Figuras 15 y 16) fue identificada como alerce (*Fitzroya cupressoides*). Presenta una superficie aparentemente labrada y una de ellas muestra rugosidades producto de intemperización. La superficie opuesta en parte de su longitud, muestra una fina capa de material fibroso que se desprende con facilidad en la forma de polvo.

*Figura 15. Muestra X. Sección de teuela obtenida de la cubierta del capilla.*



*Figura 16. Sector de donde se extrajo la muestra X perteneciente a teja de alerce del techo (lado norte de la cumbre).*



## DISCUSIÓN

Hoy conocemos la importancia de la orientación de un edificio en relación a los vientos dominantes para su adecuada ventilación natural (33). También, se han desarrollado técnicas para una adecuada ventilación de elementos estructurales, para disminuir su contenido de humedad o evitar su excesiva humidificación debido a las condiciones ambientales (34), reduciendo costos de mantención y pudrición temprana de la madera.

En el caso que nos ocupa, lo interesante es que al orientar el edificio con la parte longitudinal enfrentando los vientos dominantes, el flujo de viento pudo penetrar por debajo del edificio y alcanzar en una corta longitud de 7,6 m. toda la estructura de fundaciones. En caso de haber orientado el edificio ubicando su parte transversal hacia el Noroeste, no es seguro que el viento haya podido penetrar con la misma intensidad para alcanzar la longitud de 14,5 m. Además, al situarse en una cota superior a la de calle Merino Jarpa, evitando así los efectos de los constantes tsunamis e inundaciones, se evitó el contacto del agua con las fundaciones, lo que hubiera podido acelerar el efecto de pudrición por humedad, a pesar de la correcta ventilación. Al mismo tiempo, de ese modo se optimizó la ventilación ya que al elevarse se evitó que algunos obstáculos impidiesen la acción del viento.

Por otra parte, al utilizar un sistema constructivo como el *Balloon Frame*, de rápida construcción (35), que no requirió mano de obra especializada, ya que no exigió el desarrollo de complejos ensamblajes y uniones, se logró asegurar la durabilidad del edificio, ya que no existieron errores técnicos o de precisión en la construcción.

Además, la decisión de combinar maderas diferentes para revestir el edificio fue una decisión clave para preservar su vida útil. Así, el menor deterioro siempre se registrará en maderas dispuestas verticalmente, gracias al rápido escurrimiento, lo que explica que en este caso se haya usado en las paredes exteriores una madera de menor densidad (pino Oregón). En el caso de la cubierta, cuyo ángulo de exposición es de 45° se utilizó una madera de mayor densidad (alerce) y alta durabilidad natural, es decir, más resistente a la meteorización.

Cabe entonces preguntarse por qué se produjo de todas maneras el deterioro observado. Precisamente, la investigación demostró que se produjo porque se modificaron las condiciones originales de pre-diseño: se creó una barrera contra la ventilación de las fundaciones, lo que aceleró la aparición de la *Cryptotermes brevis* (36), durante los últimos 20 años.

En general, la falta de una protección adecuada a las superficies de madera expuestas a la intemperie provocó la decoloración y desgaste de las mismas. Por su parte, la falta de mantención y el haber aplicado en el revestimiento de las paredes exteriores, desde 1950, pinturas que cubrieron los poros y disminuyeron la capacidad de respiración de la madera, explica en gran medida su proceso de deterioro químico por sales y humedad, ya que la observación microscópica de los tejidos de la madera y de la zona con fibras sueltas, no muestra la presencia de hifas de hongos. No obstante, la identificación de lignina realizada a la zona fibrosa, confirma la disminución de ese componente de la pared de las fibras, ubicado preferentemente entre las fibras, el que al desaparecer o degradarse permite la separación de las mismas. La falta de mantención de las tejuelas de alerce explica también su deterioro (por intemperización).

¿Pero por qué se utiliza la noción de pre-diseño en lugar de considerar que se trata de la primera etapa del diseño? La respuesta es más que una mera convención. La noción de pre-diseño otorga a esta etapa del proyecto una independencia respecto del diseño, en relación con las decisiones que se deben tomar. Las decisiones de la etapa de pre-diseño no se encuentran en una relación lineal con las decisiones de diseño, sino más bien son una condición de referencia del diseño, este último pudiendo abarcar diversas

formas. En otras palabras, las decisiones de pre-diseño pueden nutrir diversos y muy distintos diseños.

En el pre-diseño se recopila la mayor cantidad posible de información del lugar, del terreno, del relieve, del clima, de los usuarios, del programa, de las condiciones normativas, de los materiales disponibles en el lugar, de las posibles técnicas a utilizar, de la disponibilidad de mano de obra especializada, de los recursos económicos disponibles. A partir de dicha información se establece una síntesis propositiva, que incluye decisiones a incorporar en la etapa de diseño. Entonces, no se trata de una síntesis de ideas o principios o conceptos, sino de una síntesis que incluye recomendaciones concretas de diseño en materia de emplazamiento, orientación, materialidad, dimensionamiento o proporciones, relación con el entorno inmediato, principalmente, antes del diseño. Estas recomendaciones contienen la identificación de condiciones del lugar y del edificio, las que muchas veces escapan a la voluntad del diseñador.

Entonces, el aporte de la noción de pre-diseño está en su utilidad para establecer y reconocer condiciones básicas de respuesta de diseño ante las pre-existencias de entorno y contexto de un lugar determinado de implantación de un edificio, independientemente de los requerimientos específicos de ese edificio. Esas condiciones básicas están principalmente orientadas a lograr las mejores condiciones de estabilidad estructural y de durabilidad material y a disminuir costos de inversión inicial y de mantención en el tiempo.

Tres son las etapas principales de pre-diseño que es posible identificar. En primer lugar, la lectura precisa y adecuada de la estructura del lugar de intervención, incluyendo observar, describir y comprender aquellos aspectos específicos de los componentes del lugar que pueden influir sobre el diseño del edificio, en su construcción y durante su vida útil: el clima, los eventos naturales, el relieve, la estructura del suelo, la morfología del paisaje y del entorno construido, las tipologías arquitectónicas y constructivas pre-existentes en el entorno, las relaciones entre unidades edificadas, la estructura de propiedad, el contexto social, los comportamientos humanos, los modos de hacer y las formas de apropiación del lugar. Esta lectura puede ser más o menos intuitiva o sistemática, pero su incidencia para aumentar la vida útil del edificio en el diseño es evidente. La lectura intuitiva o nutrida por la experiencia es la que se observa en el caso estudiado. La lectura sistemática es la que se puede realizar con los actuales métodos avanzados de análisis de lugar, con fuerte apoyo en nuevas tecnologías informáticas: teledetección, uso de drones, time-laps, sensores ambientales, modelación digital, estudios de comportamiento, entre otros. En segundo lugar, es importante la selección de un conjunto coherente de acciones de mitigación para disminuir los factores adversos que presenta el lugar, antes y durante la construcción del edificio. Y, en tercer lugar, se deben tomar tres decisiones claves de pre-diseño que se implementan en la etapa de diseño: emplazamiento y orientación; material y sistema constructivo; resistencia ante la intemperización.

## CONSIDERACIONES FINALES

La investigación realizada permitió conocer las razones por las cuales los edificios de madera de la misma época de la capilla, no perduraron en el tiempo. La derivación inductiva de este caso a otros edificios del mismo tipo arquitectónico y urbano, muestra que la ciudad de Chañaral presenta actualmente edificios en madera que componen las calles principales del casco histórico, conformando fachadas continuas y compactas. Estas tipologías son diferentes a la del edificio estudiado que, como se argumentó, por casi 120 años permaneció aislado de otros edificios, evitando contactos con muros perimetrales de construcciones contiguas y con el suelo.

Las fachadas continuas de las otras construcciones de la ciudad, no cumplen con estas características por lo que sus estructuras en madera presentan contactos directos y permanentes con agentes abióticos y bióticos, generando un deterioro excesivo y rápido. Dichas construcciones no resistieron por estar en contacto directo con el suelo y no tener un sistema de ventilación natural en las bases y sobre todas sus fachadas.

El presente análisis permitió además identificar el sistema constructivo escogido por los constructores de la época, dato que en los estudios anteriores de la capilla no se encuentra registrado. En este sentido, por primera vez fue posible identificar y clasificar las dimensiones de las escuadrías de cada componente constructivo: muros perimetrales, techumbre, fundaciones y entramado de piso. El estudio comprendió también la elaboración detallada de dibujos y modelos tridimensionales que permitieron entender las uniones y sistemas de fijación mecánica tipo clavado, entre piezas. Toda esta información será útil para hacer las simulaciones virtuales que permitan el desarrollo de un eventual proyecto de fortalecimiento estructural del edificio, al tiempo que servirán de base para planificar la siguiente etapa de restauración de la capilla y tomar las decisiones adecuadas.

La investigación permitió validar la hipótesis comprobando que las decisiones críticas de pre-diseño fueron fundamentales para permitir la estabilidad y durabilidad del edificio frente a las condiciones climáticas adversas del lugar, en ausencia de un programa de conservación. Sin esas decisiones de pre-diseño el edificio habría tenido que recibir una permanente mantención para poder preservarlo hasta el día de hoy. Por ejemplo, de no haber ventilado naturalmente las fundaciones de la capilla desde un comienzo, el proceso de pudrición se hubiera acelerado, considerando que desde el momento en que se obstaculizó la ventilación, solo transcurrieron 20 años para observar el deterioro de la madera. En el caso de la capilla de Chañaral, no sabemos el grado de conciencia que los responsables del proyecto tuvieron de la noción de pre-diseño. Si sabemos, que las decisiones que se tomaron y que han sido aquí revisadas tuvieron ese carácter y lograron el objetivo. Por ejemplo, es muy probable que, al medir el ciclo de vida del edificio, a la luz de las normas ISO 14.040 y 14044, se pueda concluir que el impacto global del edificio sobre el medio ambiente a lo largo de sus 143 años de vida es muy bajo. Sería ese un ejercicio necesario para confirmar aún más el valor de la práctica del pre-diseño.

## REFERENCIAS

1. *Estadísticas de Monumentos Nacionales declarados por decreto*. Consejo de Monumentos Nacionales (fecha de consulta 31 de mayo de 2020). Disponible en <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos>
2. *Nómina de monumentos nacionales desde 1925*. Consejo de Monumentos Nacionales (fecha de consulta 11 de julio de 2020). Disponible en <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos>
3. *Templo presbiteriano de Chañaral*. Consejo de Monumentos Nacionales (fecha de consulta 12 de septiembre de 2020). Disponible en <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/templo-presbiteriano-chanaral>
4. WOODWARD, George E. *Woodward's Country Homes*. New York: Geo. E. Woodward, 1865, p. 155. ISBN-13 : 9783732664191.
5. DÍAZ-VAZ, Juan E. CUEVAS, Héctor, FERNÁNDEZ, Alicia e INZUNZA, Luis. Características tecnológicas de *Pseudotsuga menziesii* creciendo en Valdivia. *BOSQUE*. 1988. Vol. 9, no 2, p. 97-101. <https://doi.org/10.4206/bosque.1988.v9n2-06>
6. *Pseudotsuga menziesii*. Wikipedia (fecha de consulta 17 de agosto de 2020). Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Pseudotsuga\\_menziesii](https://es.wikipedia.org/wiki/Pseudotsuga_menziesii)
7. *Museo de la máquina-herramienta de Maquinaria Madrid, S.A.* Maquinaria Madrid (fecha de consulta 22 de agosto de 2020). Disponible en <http://www.maquinariamadrid.com/docs/museo.pdf>
8. O'BRIEN, Michael J. Hybrids on the Way to the Western Platform Frame: Two Structures in Western Virginia. *Preservation, Education and Research*. 2010. No 3, p. 37-84. Disponible en [https://mjobrien.com/Papers/O'Brien\\_article\\_hybrids\\_on\\_the\\_way\\_to\\_the\\_western\\_platform\\_frame.pdf](https://mjobrien.com/Papers/O'Brien_article_hybrids_on_the_way_to_the_western_platform_frame.pdf)
9. PETERSON, Fred W. *Homes in the Heartland: Balloon Frame Farmhouses of the Upper Midwest*. Minnesota: University of Minnesota Press, 2008. ISBN-13 : 9780816653539.
10. SPRAGUE, Paul E. "Chicago Balloon Frame". En WARD JANDL, H. (ed). *The Technology of Historic American Buildings: Studies of the Materials, Craft Processes, and the Mechanization of Building Construction*. Washington D.C.: Foundation for Preservation Technology for the Association for Preservation Technology, 1983. p. 35-62. ISBN-13: 9780092476075.
11. CAVANAGH, Ted. Balloon Houses: The Original Aspects of Conventional Wood-Frame Construction Re-examined. *Journal of Architecture Education*. 1997. Vol. 51, no 1. <https://doi.org/10.1080/10464883.1997.10734741>
12. PIZZI, Marcela. The invention of the Balloon Frame, how it affected architecture in the New World. The case of Chile. *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, 20-24 de enero de 2003, p.1642. Disponible en [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CIHC1\\_153\\_Pizzi%20M.pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CIHC1_153_Pizzi%20M.pdf)
13. WILLIAMS, R. Sam. *Weathering of wood. Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC Press, 2005, p. 139-185. Disponible en [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl\\_2005\\_williams001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_williams001.pdf)
14. OBERHOFNEROVÁ, Eliska, PÁNEK, Milos y GARCÍA-CIMARRAS, Alba. The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2017. Vol. 19, no 2, p. 173-184, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000015>
15. Legnoarchitettura. Alterazione dei rivestimenti di legno privi di trattamento. *Legnoarchitettura*. 2016, no 12, p. 87-94. Disponible en [https://www.legnoarchitettura.com/blog/2016/08/31/alterazione-del-legno-non-trattato/?\\_ga=2.116752838.116677988.1570801402-1901996637.1570801402](https://www.legnoarchitettura.com/blog/2016/08/31/alterazione-del-legno-non-trattato/?_ga=2.116752838.116677988.1570801402-1901996637.1570801402)
16. RODRÍGUEZ ANDA, Raúl y FUENTES TALAVERA, Francisco Javier. Factores que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera. *Revista*

- Chapingo*. 2003. Vol. 9, no 1, p. 95-100. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/629/62990110.pdf>
17. CANESSA AMADOR, Edwin. y BERROCAL JIMÉNEZ, Alexander (2006). Las termitas: un enemigo silencioso. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 2006. Vol. 3, no 8, p. 83-87. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5123386>
  18. RIPA Renato y LUPPICHINI Paulina (2013). Termitas y madera. Enemigas naturales. *Revista Lignum*. 2013. Vol. 143, no 23, p. 22. Disponible en <https://www.biocea.cl/wp-content/uploads/2015/05/LIGNUM-143-DIGITAL.pdf>
  19. MARTÍNEZ, José Benito (s.f.). *El termes de madera seca (Cryptotermes Brevis) en las Islas Canarias*. Disponible en [https://desinsectador.files.wordpress.com/2014/02/1957\\_075\\_147\\_161.pdf](https://desinsectador.files.wordpress.com/2014/02/1957_075_147_161.pdf)
  20. MONROY LÓPEZ, Omar, SERAZZI AHUMADA, Gastón, HERRERA MILLER, Alvaro y SERAZZI AHUMADA, Pedro. *Chañaral 1833-2000. "Una historia en el desierto"*. Copiapó: Impr. Universidad de Atacama, 2000.
  21. VIDAL ROJAS, Rodrigo. *Entender el templo pentecostal. Elementos, fundamentos, significados*. Concepción, Chile: CEEP, 2012, p. 335-336. ISBN 9789568052096.
  22. HUNT, Roger y SUHR, Marianne. *The Old House Handbook: The Essential Guide to Care and Repair*. Londres: Frances Lincoln, 2008. ISBN 9780711227729
  23. GOOGLE EARTH. Vista aérea del área central de la ciudad de Chañaral. 2021. Localización 26°20'49,38" S, 70°37'17,98" W, altura de la cámara 1.690 m. La imagen está girada 180° para hacerla coincidir con la orientación de todos los planos.
  24. GOOGLE EARTH. Vista aérea del área central de la ciudad de Chañaral. 2021. Localización 26°20'50,25" S, 70°37'15,93" W, altura de la cámara 364 m. La imagen está girada 180° para hacerla coincidir con la orientación de todos los planos
  25. Extensión CCHC. *Cámara Chilena de la Construcción: Galería de imágenes*. Disponible en <https://extension.cchc.cl/galeria/query.asp>
  26. PÉREZ-PEÑA, Natalia, VALENZUELA, Luis, EDUARDO DIAZ-VAZ, Juan y ANANÍAS, Rubén A. Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2011. Vol. 13, no 3, p. 253-266. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
  27. Meteoblue. *Clima Chañaral*. Disponible en [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral\\_chile\\_3895554](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral_chile_3895554)
  28. TORRES VARELA, Eduardo. (2019). Entrevista realizada en Chañaral, en agosto de 2019, por el co-autor Rosario Magro.
  29. Diagrama de las temperaturas máximas en Chañaral. *Meteoblue*. Disponible en [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral\\_chile\\_3895554](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral_chile_3895554)
  30. Diagrama de los días de sol en Chañaral. *Meteoblue*. Disponible en [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral\\_chile\\_3895554](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cha%c3%b1aral_chile_3895554)
  31. MONROY, Omar. *Aluviones e inundaciones en provincia de Chañaral. Siglos XIX, XX y XXI*. Chañaral, Chile: Corporación de Desarrollo Ciudadano de Chañaral, 2017. ISBN 9789563688405.
  32. ORTIZ, Rodrigo y BLANCHETTE, Robert. Desfibrado de maderas obtenidas desde las oficinas salitreras de Humberstone y Santa Laura en Chile. Un sitio del patrimonio mundial. *Maderas y bosques*. 2014. Vol. 20, no 3, p. 59-68. Disponible en <https://doi.org/10.21829/myb.2014.203152>

33. FRITZ DURÁN, Alexander y BERDICHEWSKY ARANDA, Katia. *Manual la construcción de viviendas en madera*. Santiago de Chile: CORMA, Centro de Transferencia Tecnológica, 2004, p. 350-357. ISBN 9789568398002.
34. CARPENTIER, Clémentz. L'humidité dans les bâtiments. *Informations Techniques*. 2011. Vol. 22. Disponible en <https://www.enertech.fr/pdf/45/t22-l-humidite-dans-les-batiments.pdf>
35. LESER S., Heinz. El sistema constructivo "Balloon-Frame": características básicas de la construcción tradicional en madera y su evolución histórica reciente. *Revista de Arquitectura*. 2000. Vol. 10, no 11, p. 18-21. <https://dearquitectura.uchile.cl/index.php/RA/article/view/30347>
36. GRAY, John Edward y WALKER Francis. *Catalogue of the Specimens of Neuropterous Insects in the Collection of the British Museum. Part III - (Termitidae-Ephemeridae)*. Londres: British Museum, 1853. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.9318>

**Submetido: 26/04/2021**  
**Aceito: 19/07/2021**