

- ▲ **Palabras clave/** Arquitectura bioclimática, adaptación, clima, vernácula.
- ▲ **Keywords/** Bioclimatic architecture, adaptation, climate, vernacular.
- ▲ **Recepción/** 28 de marzo 2020
- ▲ **Aceptación/** 24 de julio 2020

Bioclimatismo y arquitectura de Sewell: Lecciones de un diseño adaptado al clima central andino¹

Bioclimatism and Sewell's architecture: Lessons from a design adapted to the central Andean climate²

Paola Jara Cerda

Arquitecta, Universidad de Santiago de Chile, Chile. MDesSc. Sustainable Design and Illumination, The University of Sydney, Australia. Laboratorio de Bioclimática, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Central de Chile, Chile. paola.jara@ucentral.cl

Paula Seguel Puebla

Arquitecta, Universidad Central de Chile, Chile. Master en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática, Universidad Politécnica de Madrid, España. Laboratorio de Bioclimática, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Central de Chile, Chile. paula.seguel@ucentral.cl

RESUMEN/ La arquitectura tradicional se caracteriza por un alto nivel de comprensión y adaptación al entorno natural. El presente estudio se focaliza en la arquitectura local del asentamiento minero Sewell. Emplazado en la zona climática andina de Chile, su morfología ha sido reconocida por su alto nivel de adaptación a las características geográficas y climáticas altamente hostiles del lugar. Sin embargo, los principios de adaptación de su arquitectura no han sido observados. En esta investigación se analiza cualitativamente un caso de estudio, el edificio residencial N°125, con el objetivo de visualizar y comprender las estrategias de diseño pasivas implementadas en respuesta al clima. El análisis se apoya en la bibliografía existente, un registro visual *in situ* y el diagrama bioclimático de Givoni-Milne. Los resultados indican que este edificio incorpora en su diseño estrategias de adaptación a las condiciones locales naturales. En su configuración se optimizan recursos naturales como la radiación solar, la luz y el aire. **ABSTRACT/** Traditional architecture is characterized by a high level of understanding and adaptation to the natural environment. This study focuses on the local architecture of the Sewell mining settlement. Located in the Andean climatic zone of Chile, its morphology has been recognized for its high level of adaptation to the hostile geographical and climatic characteristics of the place. However, the principles of adaptation of its architecture have not been studied. In this case study, residential building No. 125 is qualitatively analyzed with the aim of visualizing and understanding the passive design strategies implemented in response to climatic conditions. The analysis is supported by existing literature, an on-site visual record, and the Givoni-Milne bioclimatic diagram. The results suggest that this building incorporates adaptation strategies to natural local conditions in its design. In its configuration, natural resources such as –solar radiation, light, and air– are optimized.

INTRODUCCIÓN

La topografía, el clima y la disponibilidad de materiales para la construcción condicionan las formas de emplazamiento, creando paisajes únicos y otorgando enormes valores de identidad en cada comunidad (Tillería 2017). La arquitectura vernácula es el resultado del conocimiento tradicional basado en el enfoque de “prueba y error”. Este tipo de arquitectura aborda las limitaciones del clima local y muestra la máxima adaptabilidad y flexibilidad. El

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) define a la arquitectura local o regional como la expresión de valores históricos y auténticos reconocidos por una comunidad, que responden directamente a necesidades del medio ambiente cultural, físico y económico. Las estructuras, formas y materiales de construcción están determinados por el clima, la geología, la geografía, la economía y la cultura local, y evolucionan en función de cambios culturales, sociales, económicos

y materiales. Por otro lado, la arquitectura bioclimática es un concepto que integra el confort térmico humano con el clima exterior (Manzano-Agugliaro et al. 2015). Estudios sobre arquitectura tradicional han concluido que el bioclimatismo es una parte integral de la arquitectura tradicional y un parámetro decisivo para lograr una arquitectura sustentable. La comprensión de las respuestas bioclimáticas de esta arquitectura proporcionaría aprendizajes para su aplicación en el

¹ Artículo financiado por la Dirección de Investigación de la Vicerrectoría Académica UCEN (I+D 2017009). Su materialización fue producto del trabajo colaborativo con la Fundación Sewell. Laboratorio de Bioclimática, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Central de Chile.

² Article funded by the Research Directorate of the Academic Vice-Rectorcy UCEN (I+D 2017009) and implemented thanks to a collaborative effort with the Sewell Foundation.

diseño contemporáneo (Radhakrishnan et al. 2011). Chile ha sido habitado por una variedad de pueblos originarios (Aymaras, Diaguitas, Atacameños, Mapuches, entre otros) que desarrollaron su propia arquitectura (Whitman, Armijo, & Turnbull 2014). Adicionalmente, colonos europeos y americanos han dejado un legado arquitectónico y constructivo adaptado al territorio chileno. Sin embargo, la arquitectura local según zona climática-habitacional chilena ha sido poco estudiada y registrada, relegando la aplicación de los conceptos, los conocimientos y las técnicas heredadas de estas arquitecturas del diseño y la construcción contemporánea. Actualmente, son escasos los estudios que han analizado y registrado estas arquitecturas desde una perspectiva ambiental (Whitman y Turnbull 2014), (Palme, Guerra, & Alfaro 2014), (Müller 2008), (Kapstein 1988), (PRIEN 1988) y (Gutiérrez & Morales Meneses 1980). Surge así la necesidad de documentar los criterios bioambientales de este legado cultural y arquitectónico. Inscrito en la lista del Patrimonio Mundial en 2006, Sewell destaca por ser un ejemplo del fenómeno global de las colonias industriales establecidas en lugares remotos cerca de fuentes productivas (CMN & Dibam 2015). Ubicado en un lugar escarpado de la Cordillera de los Andes, fue creado basado en un esquema de “ensayo-error-rectificación”. Su morfología estuvo determinada por el imperativo productivo y por contingencias geográficas y climáticas altamente hostiles (Valenzuela 2005). Sin embargo, los principios de adaptación y diseño bioclimático de su arquitectura no han sido estudiados. El principal objetivo de esta investigación es identificar los elementos arquitectónicos y urbanos que evolucionaron como respuesta al clima en una de las áreas de la zona climática Andina de Chile. Para ello, se ha realizado un análisis cualitativo tomando como caso de estudio el edificio N°125.

Según la bibliografía existente, un registro visual *in situ* y un análisis bioclimático, el documento describe y registra las estrategias de diseño pasivas que fueron implementadas como respuesta de adaptación al entorno natural.

METODOLOGÍA

Los antecedentes de esta investigación se encuentran en el proyecto FONDART N°421310 (Armijo P., Roubelat M. & Jara C. 2018) y la metodología se compone de las siguientes etapas:

- (a) Caracterización de la zona:** Se entrega una visión general, centrándose en aspectos relevantes para el desarrollo de la arquitectura de Sewell: Contexto socio-cultural, geográfico y climatológico.
- (b) Elección del caso de estudio:** Criterios y condicionantes: (1) Uso residencial. El asentamiento poseía viviendas en altura y unifamiliares. Actualmente, siguen en pie solo el 30% de las construcciones originales. Consecuentemente, no hay referente construido de vivienda unifamiliar, solo vivienda en altura. (2) Conservación: El estado de conservación es variable, con algunos edificios en restauración y otros a la espera de serlo. El edificio N°125 es de los pocos bloques de edificios residenciales con cierto grado de intervención, conservación y condiciones de seguridad apropiadas para la ejecución del presente estudio. (3) Habitado. El campamento está deshabitado, pero con sus instalaciones industriales operativas. Algunos edificios, entre ellos el N°125, se encuentran parcialmente ocupados como oficinas.
- (c) Identificación de las estrategias de diseño pasivas:** Se analizan los datos climáticos de temperatura y humedad relativa facilitados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) para estimar un año climático promedio. En esta investigación se han contemplado los meses de invierno y verano del período 1982-1992. Los datos climatológicos utilizados corresponden a la temperatura y humedad relativa media diaria de cada temporada.

Ambas fueron estimadas considerando sus valores sinópticos (08, 14 y 20 horas) y según el gráfico bioclimático de Givoni-Milne (Givoni & Milne 1979). Basado en un gráfico psicométrico y los datos climáticos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, este predice las estrategias de diseño bioclimáticas más recomendables para un determinado clima, favoreciendo así condiciones térmicas interiores confortables. Se trata de una herramienta ampliamente utilizada en investigación, especialmente para la evaluación del confort térmico y/o estrategias de diseño pasivas en arquitectura vernácula (Philokyprou et al. 2018) (Desogus et al. 2016) (Manzano-Agugliaro et al. 2015), (Bodach et al. 2014), (Bouillot 2008).

(d) Análisis Descriptivo: Basado en la bibliografía existente y observaciones in situ, se analiza descriptivamente el diseño arquitectónico del edificio N°125 con la finalidad de identificar las estrategias de diseño pasivas implementadas y adaptadas al lugar. Para este análisis, se consideró como base y se adaptó el enfoque observado en la literatura (Bodach et al. 2014) y (Neila 2004). En estos se analiza la respuesta al clima de construcciones vernáculas seleccionando un conjunto de características del edificio y su entorno climático, socioeconómico y cultural.

(e) Comparación: Comparación de estrategias obtenidas según diagrama bioclimático, observaciones in situ y bibliografía.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Sewell está asociado a la división El Teniente de Codelco Chile y su origen se remonta a 1905. Tras el permiso gubernamental de explotación del mineral cuprífero otorgado a la empresa Braden-Copper Company, esta desarrolló un conjunto de obras arquitectónicas y viales en el campamento. El crecimiento fue gradual y las primeras construcciones se realizaron en el Cerro Negro entre los años 1904 y 1911. Su morfología estuvo determinada por la topografía de la cordillera, el clima y la

actividad productiva, factores que dieron como resultado un patrón urbano singular. Para 1968, Sewell albergó 15.000 personas aproximadamente, con una superficie construida de 175.000m² (Codelco Chile 2006). Sin embargo, a fines de la década del sesenta se inició un período prolongado de decadencia. Solo subsiste el centro de la ciudad del poblado original, gran parte del cual fue desmantelado y demolido a principio de los años ochenta. Actualmente no está habitado; cerca de 50 edificios originales se mantienen en pie y algunas estructuras siguen teniendo uso productivo.

GEOGRAFÍA

El campamento se ubica en la zona central de Chile, 60 km al oriente de la ciudad de Rancagua, en la Región de O’ Higgins, Provincia de Cachapoal, Comuna de Machalí. Se emplaza en plena Cordillera de los Andes, en el Cerro Negro, a una altura de 2.200 m.s.n.m., en latitud 34° 05’ S y longitud 70° 15’ O. Los límites naturales del asentamiento están dados por el río El Teniente en la ladera sur y el río Coya hacia el norte (figura 1). El límite poniente es el cruce de las dos quebradas y la formación de un cauce único; el límite oriente se encuentra determinado por la creación de las estructuras de Punta de Rieles.

CLIMA

Según la zonificación climático-habitacional de Chile, Sewell pertenece a la zona Andina. En términos generales, es una zona de atmósfera seca, con grandes oscilaciones de temperatura entre el día y la noche, y ventiscas y nieve en invierno. Su entorno carece de vegetación y posee gran contenido ultravioleta en la radiación solar. Está compuesta por varias subzonas actualmente poco estudiadas debido a su baja densidad poblacional. Dado que tiene grandes diferencias en latitud y altura, esta zona posee características muy particulares en su extensión y en general está sometida a condiciones muy severas (NCh1079 Of.2008) (Tabla 1).



Figura 1. Contexto geográfico (fuente: Elaboración propia en base a fotografía del Circulo Social Sewell, entre 1960 y 1970 aproximadamente).

TABLA 1. RESUMEN VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DE SEWELL

Temperatura (°C)	Temperaturas medias templadas en verano y bajas en invierno. Oscilación diaria de 10,5°C en verano y 7,9°C en invierno. Sin embargo, los extremos diarios alcanzan valores superiores a 30°C en verano y a 20°C en invierno.
Precipitación (mm)	Alta precipitación. Máximo diario de 148,3 mm, promedio anual de 785,1mm. Abundante nieve en invierno. Régimen de precipitaciones nevadas de 2 m. anual, con un máximo registrado de 13m en 1926.
Radiación Solar (Wh/m ² /día)	Promedios de radiación solar horizontal total entre 3,5Wh/m ² / día (julio) y 8.5 kWh/m ² día (enero).
Humedad Relativa (%)	La humedad relativa es moderada en verano; mayor en invierno. Promedios mensuales entre 53% (enero) y 68% (julio) aproximadamente.
Vientos *	Intensos, registro de hasta 140 km/h.
Observaciones:	
(*) Actualmente se cuenta con el registro de dirección del viento. Sin embargo, dada la cantidad de registros en 10 años, este se encuentra en proceso de análisis. Según descripción de sewellinos, en las mañanas y atardeceres predominaba el viento sur. En el transcurso del día, había viento norte que ingresaba por el sector del río Coya.	
Fuente: (Bustamante et al. 2009) (Eugenio de Solminihac 2003) (Gómez, Leser, and Salomone 2003)	

Tabla 1. Clima Sewell (fuente: Norma Chilena (NCh)1079 del 2008).

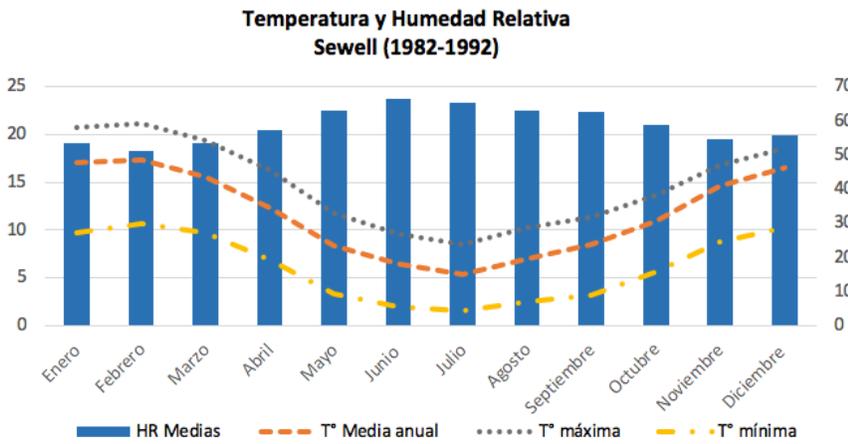


Figura 2. Climograma Sewell (fuente: Elaboración propia, 2019).

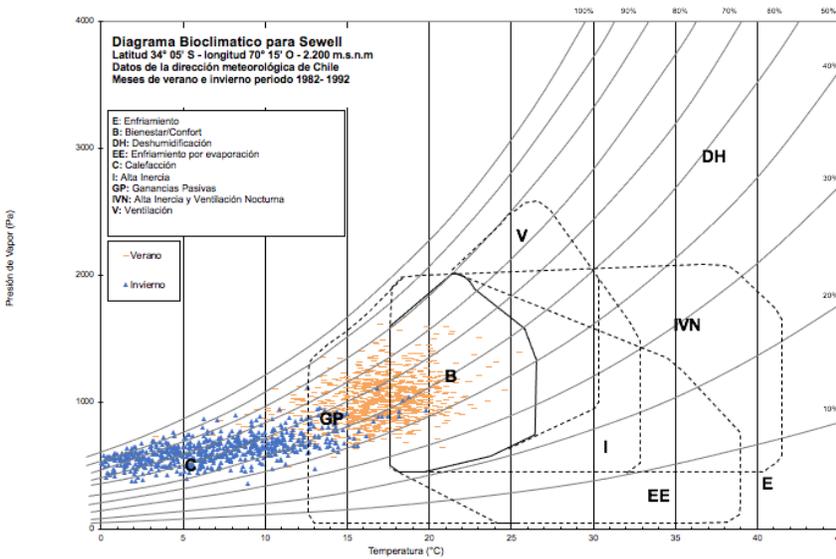


Figura 3. Gráfico bioclimático (fuente: Elaboración propia con herramienta desarrollada por Karen Allaker-Hans Rosenlund, 2000).

De acuerdo con la figura 2, durante el año Sewell presenta temperaturas medias que no superan los 20°C. Los meses de verano tienden a ser templados y los meses de invierno muy fríos, y son estos los que presentan las temperaturas mínimas,

máximas y medias más bajas (menor 10°C). Los meses de otoño y primavera tienden a ser fríos con temperaturas medias entre 10 y 15°C. Una de las características más importantes del clima de Sewell es la gran oscilación existente entre las temperaturas

mínimas y máximas diarias y medias. Esta característica favorece el empleo de inercia térmica para temperar el interior del edificio.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICAS SEGÚN GRAFICO BIOCLIMÁTICO DE GIVONI.

A objeto de establecer las estrategias bioclimáticas más representativas, se han analizado los períodos más extremos. En la figura 3 se utilizaron los valores de temperatura y humedad relativa media diaria exterior de la temporada de invierno y verano (1982-1992). Durante los meses de invierno, las temperaturas exteriores se encuentran fuera de la zona de confort, y en su mayoría, están por debajo de los 10°C, llegando incluso a valores de 0°C. Por ello, el aporte de calor será necesario, especialmente durante las horas más frías. Este aporte de energía podría procurarse por medio de ganancias pasivas y calefacción convencional. Las temperaturas de verano se concentran principalmente, entre los 15°C y 20°C, con la gran mayoría de ellas fuera de la zona de confort. Ganancias pasivas, alta inercia térmica, ventilación y enfriamiento son algunas de las estrategias que favorecerían el control de intercambio térmico del edificio durante esta época.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL EDIFICIO N°125

Reseña histórica.

Según la clase socioeconómica de los trabajadores, las viviendas de Sewell variaban en cuanto a calidad, superficie, servicios y ubicación dentro del campamento. En este sentido, se pueden identificar tres tipologías: (1) Unifamiliar aislado (empleados norteamericanos), actualmente demolidas; (2) edificios colectivos con pasillo central (empleados); y (3) edificios colectivos con pasillos de circulación exterior (obreros) (García 2005). El edificio N°125, cuya data de construcción es de 1931 aproximadamente, se emplaza en la ladera sur del cerro, en el sector

histórico central. Este bloque se construyó en el periodo denominado “Sewell ciudad madura” (1917-1966), etapa en la que se diversificaron los estilos de construcción de viviendas y servicios. La construcción fue pensada para uso tanto comercial como residencial y en él habitaban trabajadores y empleados. El primer nivel (sur) y el segundo nivel (noroeste), albergaban actividades comerciales, sociales y de servicios. El resto del edificio poseía un uso residencial con unidades de departamentos. Posterior al desalojo del campamento, este edificio sufrió algunas adaptaciones en forma y uso. Actualmente está poco habitado y funciona como centro de operaciones de oficinas mineras contratistas. Actualmente el primer nivel funciona como bodega, el segundo contiene oficinas y el tercer y cuarto nivel, dormitorios.

Morfología.

La morfología prevalente de los edificios de Sewell tiende a ser lineal y rectangular. Las viviendas unifamiliares eran herméticas, sin terrazas o corredores y las superficies promediaban los 150 m², permitiendo vivir puertas adentro durante los meses invernales (Gómez, Leser, & Salomone 2003). El edificio camarote N°125 es un bloque rectangular de cuatro niveles, de 15,4 m de altura y con un factor de forma (A/V) de 0,33 m²/m³ aproximadamente. De acuerdo con el estándar Passivhaus, es recomendable mantener una relación de este factor igual o menor a 0,7 m²/m³ y de acuerdo con la bibliografía existente, el factor recomendable para climas fríos es de 0,5. En términos generales, el edificio cuenta con un primer volumen de uso comercial y un segundo gran volumen de uso principalmente residencial interconectado por patios de triple altura (figura 4, corte BB’). Según planimetría existente, los niveles residenciales estaban compuestos por ocho unidades de viviendas, cada una conformada por baño, cocina, living, dormitorios y pequeña bodega (figura 4, planta). En el primer nivel, con orientación sur, confluyen los accesos a los locales comerciales y halls

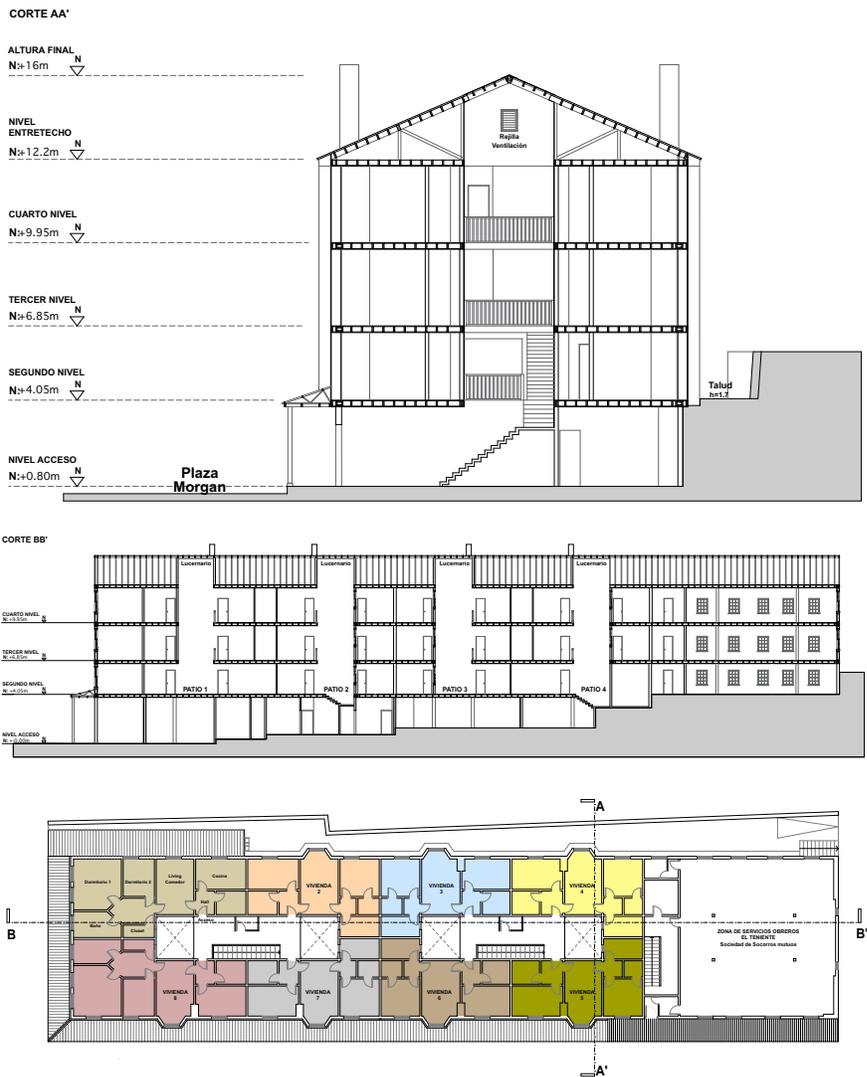


Figura 4. Secciones y planta tipo (nivel 3-4), respectivamente. Base planimétrica ente 1941 y 1950, Fundación Sewell (fuente: Elaboración propia, 2019).

que conllevan a los niveles superiores. La cara norte de este nivel se encuentra soterrada (figura 4, corte AA’).

Descripción de los componentes del edificio y su respuesta al clima.

Para el análisis de las estrategias de diseño bioclimático observadas en el caso de

estudio, se utilizó el listado de estrategias mencionadas en el diagrama bioclimático de Givoni-Milne y se adaptó el enfoque dado por la literatura existente (tabla 2).

(a) Patrón de asentamiento: La topografía del cerro fue el elemento determinante de la edificación, vías de circulación y arquitectura

Tabla 2. Resumen estrategias de diseño bioclimáticas identificadas en edificio N°125

ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS					
LIBRO F. JAVIER NEILA GONZÁLEZ	PUNTO		DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI	PUNTO	
Protección de la lluvia/nieve	✓	(c) (f) (g)	Calefacción por ganancias internas	✓	(j)
Protección del viento	✓	(e) (i) (h)	Calefacción solar pasiva	✓	(h) (i) (g)
Ventilación cruzada	✓	(i)	Calefacción solar activa		
Auto-ventilación	✓	(g) (i)	Humidificación		
Ventilación inducida			Calefacción convencional	✓	(j)
Aislamiento térmico			Protección Solar	✓	(g)
Inercia térmica	✓	(f)	Refrigeración por alta masa térmica		
Materiales autóctonos	✓	(d) ³	Enfriamiento por evaporación		
Forma integrada en una estructura urbana singular	✓	(a)	Refrigeración por alta masa térmica con refrigeración nocturna		
Forma adaptada al terreno.	✓	(c)	Aire acondicionado		
Forma de significado mágico			Deshumificación convencional		
Condicionantes del terreno.	✓	(e)			
Forma adaptada a la exigencia	✓	(b) (c) (e)			
Aprovechamiento energías renovables.					
Transportabilidad					

Tabla 2. Estrategias de diseño bioclimático (fuente: Elaboración propia, 2019).

del campamento (Garcés 2009). Los primeros asentamientos fueron precarios; la gente habitaba en ranchos, cuevas, en el cerro o adentro de la mina (Valenzuela 2005). Estas fueron las primeras respuestas vernáculas (imagen 1); viviendas a nivel de terreno, con muros de material pétreo del lugar y cubierta de planchas de zinc. Con el tiempo, los patrones de construcción fueron

progresando hasta configurar un conjunto urbano propio de la topografía y clima central andino, caracterizado por rodados, avalanchas, aludes de nieve y alta amplitud térmica (Garcés 2009). La urbanización se instaló en los faldeos del Cerro Negro, la cual tenía menos presencia de aludes. El conjunto está organizado por la gran escalera central. A partir de



Imagen 1. Vivienda primitiva, 1906 (fuente: CODELCO-Chile, División El Teniente [Archivo Coya]®, en Revista de Urbanismo N°8. Universidad de Chile, 2003).

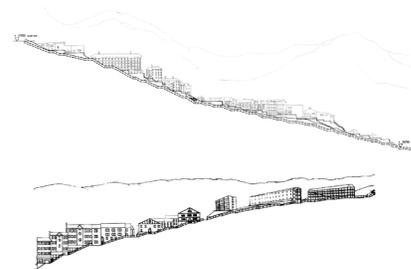


Figura 5. Corte longitudinal, escalera central (fuente: Las ciudades del cobre, Garcés et al, 2007)

esta, se crea la red peatonal de circulación interior mediante senderos y escaleras con espacios públicos constituidos en pequeños remanentes entre edificaciones. Construida a lo largo de la cumbre del cerro, con una inclinación de 15 a 20 grados (figura 5), permitía el acceso a escalas o calles secundarias que siguen la topografía del lugar formando la denominada estructura "espina de pescado" (figura 6). Desde ella, se distribuyeron los edificios de vivienda, equipamiento e instalaciones industriales; construcciones que se ordenan según la nivelación del terreno y laderas del cerro (Miranda 1998). Considerando la escalera principal como eje imaginario, sobre la ladera norte se tendió a localizar la gran mayoría (70%) de las construcciones habitacionales. En la ladera sur se ubicaron la industria y la estación del ferrocarril, sobre el lomo del cerro (figura7).

³ Si bien la gran mayoría de los materiales utilizados en la construcción de los edificios no es del territorio del campamento, algunos, como la piedra, fueron utilizados para mamposterías, muros de contención y fundaciones.

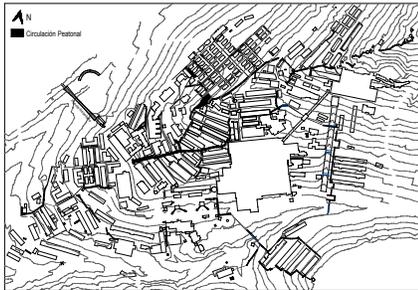


Figura 6. Estructura espina de pescado (fuente: Elaboración propia en base a planimétrica Fundación Sewell).

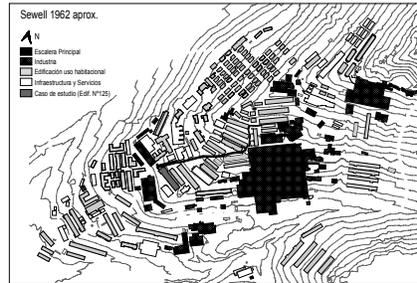


Figura 7. Distribución de usos (fuente: Elaboración propia en base a planimétrica Fundación Sewell).

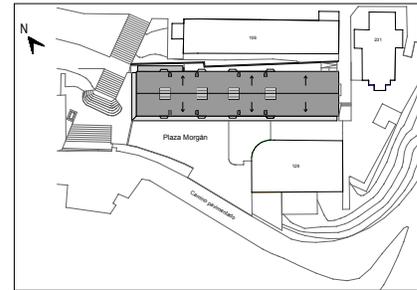


Figura 8. Emplazamiento edificio N°125, Base planimétrica, Fundación Sewell (fuente: Elaboración propia, 2019).

(b) Orientación: La continuidad de la cota y la forma rectangular del bloque(es), permite una envolvente con dos caras mayores principales y dos caras menores. Las dos mayores, con tendencia a orientación nort-sur, favorecen el ingreso de iluminación natural durante gran parte del día y captación solar (figuras 7 y 8). Adicionalmente, la priorización de una superficie de fachada soleada menor hacia el poniente permite controlar el ingreso de radiación solar al edificio en épocas de verano.

(c) Relación con el suelo: La disposición de los edificios en el terreno sigue mayoritariamente las curvas de nivel. En ocasiones, la poca disponibilidad de terreno llevó a construir contrapendiente (Gómez, Leser, and Salomone 2003). Ese es el caso del edificio N°125 y las viviendas unifamiliares del Barrio Americano. El edificio N° 125 corresponde a una unidad de geometría ortogonal que sigue las cotas de nivel (figura 8). Las estrategias de asentamiento están principalmente orientadas al manejo y la protección contra la nieve, el aguanieve y la lluvia. Para ello, generosas canalizaciones de cemento siguen el perímetro del edificio recibiendo el agua lluvia o nieve caída desde la techumbre. Adicionalmente, en el encuentro entre el cerro y el edificio, este es distanciado del terreno mediante la generación de un corredor de escurrimiento de aguas cuyo talud es de 2-2,5m de altura y de 1,5-3m de ancho. Esto permite que

las escorrentías por lluvia o derretimiento de nieve caigan a esta gran canalización, disminuye la probabilidad de infiltraciones de agua en el muro que enfrenta la pendiente y favorece la iluminación y la ventilación natural de los recintos con orientación norte del segundo nivel (imagen 2). La condición semienterrada norte del primer nivel respondería más a una condición morfológica del terreno y su

pendiente que a una respuesta bioclimática. **(d) El material:** El terreno proporcionaba piedra, la cual se utilizó en mamposterías, muros de contención y fundaciones. Al inicio se utilizaba madera de pino Oregon importado de Estados Unidos para la construcción de edificios habitacionales y equipamiento. Al poco tiempo, se comprobó que las maderas nativas del sur de Chile eran aptas para los trabajos requeridos en el



(A) Muro de contención en pendiente (B) Nivel de llegada inclinado (C) Canalización de aguas.

Imagen 2. Corredor de escurrimiento de aguas (fuente: Las autoras, 2019).



Imagen 3. (a) Estructura paramentos verticales, (b) radier y (c) recubrimiento envolvente (fuente: Las autoras, 2019).

campamento. A partir de 1920, se empezó a utilizar madera de roble, coigüe y araucaria (Gómez, Leser, and Salomone 2003).

(e) El sistema constructivo: Las condiciones climáticas y la accesibilidad al campamento impusieron la necesidad de implementar métodos constructivos livianos y de rápido montaje. La respuesta constructiva fue principalmente de entramados de acero y madera. La estructura de los edificios de madera se basa en el sistema constructivo platform-frame, que permitió generar estructuras livianas, flexibles y mayor eficiencia constructiva. Este se utilizó en casi todos los edificios en altura (Gómez, Leser, and Salomone 2003), posibilitando la construcción de edificios de hasta cinco pisos más ático y aprovechando el terreno al máximo (Codelco Chile 2006). La gran mayoría de los planos de construcción fue proyectado en Estados Unidos. Sin embargo, hubo necesidad de adaptarlos a las condiciones geográficas, climáticas y de seguridad que demandaba Sewell. Por emplazarse en plena Cordillera de Los Andes y en una región con registros sísmicos y terremotos, se incorporaron riostras a los entramados verticales en puntos estratégicos de su estructura. Estas piezas rigidizaban el edificio en sentido longitudinal y transversal contra cargas dinámicas de fuertes vientos (140 km/h) (imagen 3.a). Se emplea un radier de hormigón de 75 mm de espesor para la configuración constructiva del entrepiso. El piso de hormigón operaba como

retardador acústico e ignífugo (imagen 3.b) (Gómez, Leser, and Salomone 2003).

(f) Envolvente: La mayoría de los paramentos verticales exteriores de los edificios está recubierta con estuco de cemento, que se adhiere a mayas metálicas fijadas previamente a la estructura de madera. Del mismo modo, otros edificios están recubiertos con planchas de acero ondulado. Este sistema protege la madera de la humedad, de riesgos de incendio, del paso del viento y de la lluvia. Por otro lado, agrega masa térmica a la envolvente para sopesar las grandes oscilaciones de temperatura (imagen 3.c).

(g) Techumbre: La estructura de techumbre se compone de cerchas y costaneras de madera y sobre ellas, una cubierta de planchas de acero ondulado. Funciona a dos aguas con una pendiente aproximada del 44%, condición que propicia el escurrimiento de agua y nieve. Los entretechos son altos (3m), ventilados y no habitables. Las ventilaciones dan hacia los patios de luz y al exterior, permitiendo así la ventilación de espacios comunes, zonas húmedas (baños) y del propio edificio (imagen 5 y figura 4 corte AA'). Lucernarios y aleros de poca extensión (40cm) favorecen el ingreso de luz natural y



Imagen 4. Corredores norte (izquierda) y sur (derecha) (fuente: Las autoras, 2019).

radiación solar en los períodos fríos (figura 4 corte AA'-BB'). Los corredores techados norte y sur resguardan de la lluvia y nieve (imagen 5). Tanto el techo ventilado como los shafts de ventilación en cocinas (imagen 5) favorecen la autoventilación de la vivienda en verano; especialmente en invierno cuando hay pocas opciones de abrir ventanas.

(h) Fenestraciones: Las ventanas son pequeñas (1,2x1,7m) y están compuestas por madera, vidrio simple transparente y con sistema de apertura en guillotina. Este sistema de apertura y cierre controla el ingreso y la salida del aire y reduce las infiltraciones (imagen 6). La mayor cantidad de ventanas está situada en las fachadas con orientación norte y sur, lo que favorece el ingreso de iluminación natural directa e indirecta a lo largo del edificio y en casi todas las unidades de vivienda (figura 9). Tanto el tamaño de la ventana como la proporción de su área respecto del área total de la fachada (tabla 3) favorecen el control de pérdida de calor sin desfavorecer la entrada de luz diurna. El porcentaje de área vidriada de la ventana corresponde a 60% y 40% respecto de la madera (marco-palillaje).

(i) Distribución espacial: La organización espacial del edificio favorece la ventilación y la iluminación natural, así como la captación y el control de pérdida de calor del edificio y del interior de las viviendas unifamiliares. La iluminación natural, la captación de energía calórica y la ventilación de los espacios comunes son posibles gracias a una característica notable: la presencia de patios de luz de triple altura que conectan los niveles dos, tres y cuatro (Corte BB'). Cuatro patios a lo largo del bloque son iluminados gracias a la presencia de claraboyas en la techumbre (figura 9). Los patios -que también tenían una función social- facilitaban el encuentro en invierno. En las viviendas, la compartimentación espacial y la conexión de estos por medio puertas hace posible optimizar y controlar la calefacción de los recintos. Los espacios habitables están distribuidos de tal forma que cada uno de

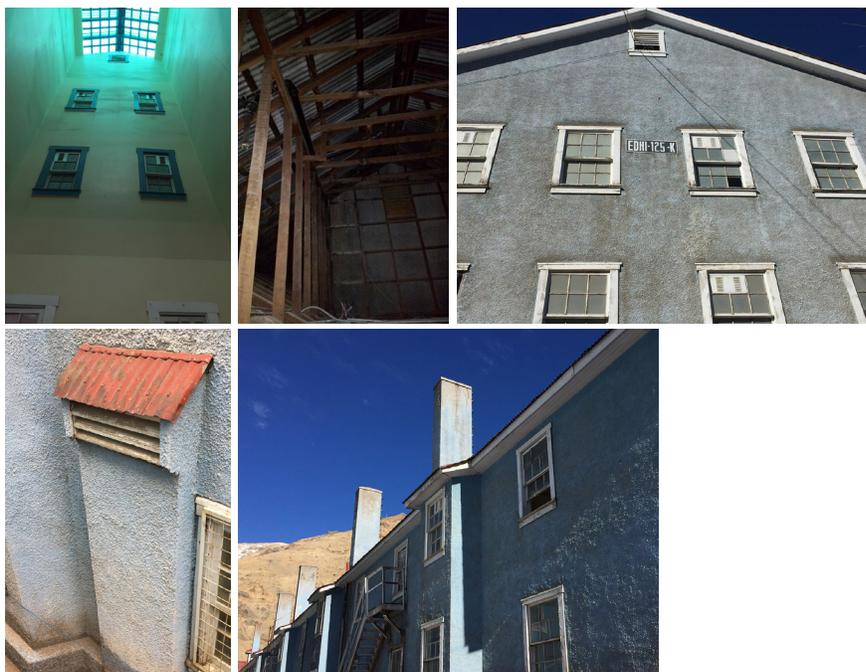


Imagen 5. Estrategia de autoventilación: Techo ventilado (imágenes superiores) y shafts (imágenes inferiores) (fuente: Las autoras, 2019).



Imagen 6. Tipología de ventana (fuente: Las autoras, 2019).

Tabla 3. Porcentaje Vano/Muro

FACHADA	AREA TOTAL (M ²)	AREA VANOS (M ²)	% VANOS	AREA MURO (M ²)	% MURO
Sur	677	180	27	497	73
Norte	595	131	22	464	78
Oriente	122	18	14	104	86
Poniente	185	53	28	133	72

Tabla 3. Porcentaje vano/muro (fuente: Elaboración propia, 2020).



Figura 9. Elevaciones. Base planimétrica en base a planimetría del año 1962. Fundación Sewell (fuente: Elaboración propia, 2019).

ellos posee una ventana operable, facilitando el ingreso de luz y aire. El acceso a la vivienda posee esclusas de doble puerta y un hall de acceso protegido antes de acceder a los otros recintos (figura 10).

(j) Ganancias internas: Cocinas eléctricas, de fierro forjado y a leña eran las tipologías utilizadas en la época. Durante el invierno, se usaban como estufa tanto en el día como en la noche. Adicionalmente, cuando era necesario, se utilizaban estufas eléctricas al interior de los dormitorios. Los espacios comunes del edificio no eran caleccionados.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que el edificio N°125 incorpora en su diseño estrategias que responden a una adaptación frente a las condiciones climáticas locales (Tabla 1). El diseño arquitectónico está optimizado para utilizar recursos naturales como la radiación solar, la luz y el aire. De acuerdo con el diagrama bioclimático de Givoni, las principales estrategias para este clima son las ganancias pasivas, la calefacción convencional, la alta inercia térmica, la ventilación y el enfriamiento. En este caso de estudio, se pudieron identificar estrategias que coinciden con estas recomendaciones, además e otras que permiten el control de la pérdida de calor, el ingreso de iluminación natural, la protección contra la lluvia-nieve y el manejo de escorrentías. La orientación y la presencia de pequeños aleros y patios interiores favorecen la iluminación natural del edificio y las ganancias solares y, por ende, la calefacción solar pasiva. Estos últimos, en conjunto con un techo ventilado, facilitan la ventilación del edificio durante el frío invierno. La compacidad del bloque, el diseño de ventanas de mediano tamaño con lógicas que apuntan a reducir la infiltración de aire y la compartimentación espacial de las viviendas, permiten controlar la pérdida de calor. La presencia de corredores techados, techumbres con fuerte pendiente y taludes a nivel de terreno posibilitan el

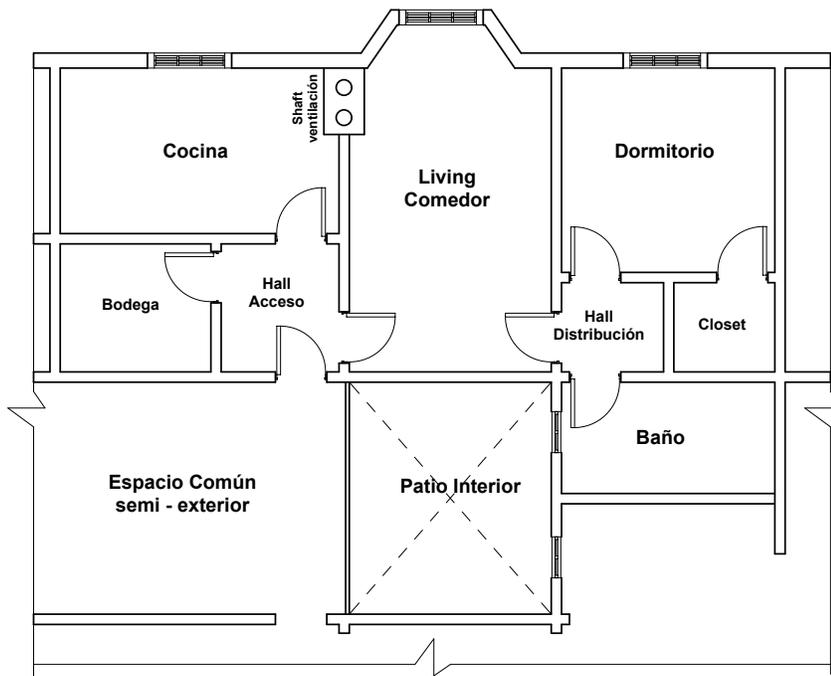


Figura 10. Planta unidad de vivienda (fuente: Elaboración propia en base a planimetría de 1940 aproximadamente, 2019).

manejo y la protección contra la nieve, el aguanieve y la lluvia. Sin embargo, este edificio muestra pocas características que mejorarían la calefacción pasiva por inercia térmica. Actualmente, este y otros edificios poseen un recubrimiento exterior de cemento que aumenta la masa térmica de la construcción. No obstante, no es posible ratificar que esta haya sido la

intención. Una mayor masa o tratamiento de aislación térmica en paredes, piso y techo optimizarían la pérdida de calor y el alto uso de calefacción convencional durante las temporadas frías. Este estudio ha permitido identificar estrategias de diseño pasivas utilizadas en un clima andino de alta montaña y en una de las zonas climático-habitacionales de Chile

poco analizada desde esta perspectiva. A pesar de ello, se hace necesario contar con mediciones empíricas sobre su rendimiento para comprender las ventajas y las desventajas de su diseño, especialmente aquellas relacionadas con el comportamiento térmico y la iluminación natural del edificio. El resultado de esta y de futuras investigaciones podría contribuir a la consideración de estas estrategias o al replanteamiento de ellas en la arquitectura contemporánea, además de servir para elaborar técnicas de construcción propicias para un clima de esta tipología. Aunque este estudio está estrictamente correlacionado con la característica climática de Sewell, la metodología entrega conclusiones útiles potencialmente aplicables en otros lugares de Chile y del mundo con características climáticas similares, especialmente si se considera la acción del cambio climático y su repercusión en escenarios climáticos extremos de frío y calor.

AGRADECIMIENTOS:

A Felipe Ravinet, y Simón Mac-Kay por información y gestión de visitas al campamento; a la Dirección Meteorológica de Chile; como fuente de información climática; a Romina Pérez Salas y Christian Araneda Ijerra, asistencia en terreno y dibujo técnico; a Manuel Soto y Osvaldo Rodríguez, del Club Social Sewell, por proporcionar fotografías y compartir sus experiencias en el campamento. ▲▲

REFERENCIAS

- Armijo P., Gabriela, Leticia Roubelat M., y Paola Jara C. 2018. "Vivienda Vernácula en Chile y su adaptación al entorno natural. Elaboración de Metodología para análisis cualitativo y cuantitativo. Generación de doporte digital participativo de recolección, divulgación y retroalimentación En red de casos de estudio." FONDART Nacional. Línea de Arquitectura. Modalidad Investigación. Santiago, Chile.
- Bodach, Susanne, Werner Lang, and Johannes Hamhaber. 2014. "Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal." *Energy and Buildings* 81:227-242.
- Bouillot, Jean. 2008. "Climatic design of vernacular housing in different provinces of China." *Journal of environmental management* 87 (2):287-299.
- Bustamante, Waldo, Yoselin Rozas, Rodrigo Cepeda, Felipe Encinas, and Paula MARTINEZ. 2009. "Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social." Santiago, Ministerio de Vivienda y Urbanismo división Técnica de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética (CNE).
- CMN, and dibam. 2015. Sitios de patrimonio mundial en Chile. *World Heritage Sites*. Codelco Chile, Division El Teniente. 2006. Sewell, *The City of stairs*: Codelco Chile, Division El Teniente.
- CODELCO Chile, División El Teniente. 2003. "Colección fotográfica CODELCO- CHILE. División El Teniente". *Revista de Urbanismo. Universidad de Chile* (Nº: 21).
- Desogus, Giuseppe, Leonardo Giuseppe Felice Cannas, and Antonello Sanna. 2016. "Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: The Sardinian case study." *Energy and Buildings* 129:574-588.
- Eugenio de Solminihaç, I. 2003. "Sewell, historia y cultura en un asentamiento humano organizacional." *Revista de Urbanismo* (8):ág. 85-123.
- Garcés, Eugenio. 2009. "Sewell y los pelambres." *ARQ (Santiago)* (71):58-61.
- Garces Feliu, E., Baros Townseno, M. and Cooper Apablaza, M. 2007. *Las ciudades del cobre*. 1st ed. Santiago de Chile: Editorial Universidad Católica de Chile.
- Gómez, Luis, Heinz Leser, and Vanessa Salomone. 2003. "El sistema constructivo plataforma (platform frame) en Sewell." *Revista de Urbanismo* (8):ág. 145-158.
- Gutiérrez, Leyton Eugenio, and Jorge Morales Meneses. 1980. *Arquitectura y clima en el norte grande: sistemas energéticos pasivos*. Universidad del Norte. Escuela de arquitectura.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). NCh1079 2008. *Arquitectura y construcción: Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*. Chile
- Kapstein, Glenda. 1988. *Espacios intermedios: respuesta arquitectónica al medio ambiente: Il región: Universidad del Norte*.
- Manzano-Agugliaro, Francisco, Francisco G Montoya, Andrés Sabio-Ortega, and Amós García-Cruz. 2015. "Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49:736-755.
- Givoni, Baruch, and Murray Milne. 1979. "Architectural Design Based On Climate". *Energy Conservation Through Building Design*. New York: McGraw-Hill.
- Miranda, Sergio. 1998. "Sewell una ciudad derramada en el cerro: crónica de un patrimonio." *Santiago, Cuadernos Luxacon*:1-22.
- Müller, Ernst. 2008. "Análisis Térmico y Recomendaciones para el Diseño de Casas Solares Pasivas y la Difusión de Viviendas Sustentables." II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES-Florianópolis.
- Palme, Massimo, José Guerra, and Sergio Alfaro. 2014. "Thermal performance of traditional and new concept houses in the ancient village of San Pedro de Atacama and surroundings." *Sustainability* 6 (6):3321-3337.
- Philokyprou, Maria, Aimilios Michael, Stavroula Thravalou, and Ioannis Ioannou. 2018. "Thermal performance assessment of vernacular residential semi-open spaces in Mediterranean climate." *Indoor and Built Environment* 27 (8):1050-1068.
- PRIEN. 1988. *Medición del comportamiento agregado de viviendas mediante instrumentación*. Chile: Programa de Investigación en energía Universidad de Chile (PRIEN).
- Radhakrishnan, S, R Shanthi Priya, S Nagan, and MC Sundararaja. 2011. "Climate Responsive Traditional Architecture of Chettinadu Housing in Tamilnadu, India-A Qualitative and Quantitative Analysis During Summer." *International Journal of Ventilation* 10 (1):89-97.
- Tillera, Jocelyn González. 2017. "La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula." *AUS [Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad]* (8):12-15.
- Valenzuela, Marcela García. 2005. "Sewell, Patrimonio de la minería Chilena.", Universidad de Chile.
- Whitman, Christopher, Gabriela Armijo, and Neil Jon Turnbull. 2014. "The Ruka Mapuche: clues for a sustainable architecture in southern Chile?."
- Whitman, Christopher, and Neil Turnbull. 2014. "Environmental comfort in the living heritage of the Chilean Araucania: The Ruka Lafkenche and the Fogon Pehuenche."