



REFUGIO DEL SOL: ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS Y ALCANCES FINALES DE LA PROPUESTA

Felipe Mateo López Flores

Universidad de Valparaíso, Chile, felipemateolopez@gmail.com

Palabras clave: quincha, estructura autoportante, morfología experimental, modelación cad/cam, prefabricación

Resumen

El presente artículo busca caracterizar los procedimientos finales, mediante verificaciones gráficas y análisis de las soluciones empleadas para la puesta en funcionamiento de la obra experimental Refugio del sol. Experiencia proyectual de diseño y construcción ejecutada entre los años 2016-2019, en la zona central de Chile, sector considerado altamente sísmico, de clima mediterráneo seco. La propuesta ha sido abordada desde la exploración formal en softwares 3D, estrategias de prefabricación modular y autoconstrucción asistida. Proponiendo un sistema tradicional de quincha de doble malla, adaptada a elementos prefabricados. Sistema que puede plantearse como replicable, con usos de diversos caracteres.

1 INTRODUCCIÓN. GÉNESIS Y ESTRATEGIAS GLOBALES DEL PROYECTO

Parte de esta experiencia fue descrita por López (2018), cuando los trabajos se encontraban en pleno desarrollo y se aprestaba la finalización de la obra. Procurando un seguimiento acucioso de la culminación de los trabajos, detalles de métodos de producción en revoques empleados, y sellos impermeables, aplicados en la superficie del domo. Además, recomendaciones de mantención, para la cáscara de barro experimental ejecutada.

Sin lugar a dudas, el concepto de refugio corresponde a uno de los espacios más primitivos que existen en la historia del hombre. Intrínsecamente, en este caso, se puede relacionarlo con el concepto de caverna, y no con una noción de nido (Fujimoto, 2012).

En el año 2016 comienza a desarrollarse el proyecto experimental de diseño sustentable; Refugio del sol, diseño de arquitectura y puesta en funcionamiento de un domo paraboloide, panelizado según estudios previos de modelación 3d Cad/Cam (Cañete; López, 2015). Esta instancia derivó del trabajo con modelos generativos, donde se intersectan dos geometrías de diferentes características; curvas fractales (Mandelbrot, 2005) con sólidos de revolución (figura 1). Desde estos ejercicios de modelación, surge la idea de panelizar, un volumen diferente de la semi-esfera, de modo que mantuviera su rasgo autoportante.

Para los modelos de prueba, se utilizaron placas plywood de 3 mm cortadas con láser, vinculadas mediante ensambles de piezas (sin anclajes, ni adhesivo), consiguiendo una curvatura interior, diferente a la geodesia externa, concibiendo un vacío propio. Se lleva a cabo una intensa exploración, de entramados y volumetrías de distintas formas; elipsoides, toroides y paraboloides. Para la obra 1:1 se consideró una metodología de pre-fabricación en serie, pero sin uso de manufactura digital.

Esta metodología contempla el uso de plantillas, impresas a escala real 1:1, extraídas desde un modelo 3D. Se considera como una alternativa eficiente, para pre-fabricar la estructura del módulo habitable, lo que, en teoría, abarataría costos asociados a obra gruesa, montajes in-situ y garantizaría fidelidad al diseño original.

El volumen se emplaza cerca de la ciudad de Valparaíso, en el sector costero de Laguna Verde. El encargo de diseño toma seis meses en desarrollarse como una instancia colaborativa, entre el arquitecto y los mandantes. Posteriormente se propone como un taller de autoconstrucción asistida, cuyas etapas finales se describen posteriormente. Algunos

factores que fueron tomados en consideración, van desde aspectos económicos/ecológicos, constructivos, estéticos/climáticos, hasta de usos flexibles en el futuro. Dado que la tipología de los domos ha sido profusamente explotada desde que Fuller (1961) patentara el sistema de sinergia triangular geodésico, se hacía imprescindible implementar creatividad e innovación en el proceso. De este modo se recalca el planteamiento experimental de la obra, el diseño de los componentes estructurales, prefabricados a modo de nervaduras en forma de cajones, el montaje de las terminaciones construidas in-situ, y los tratamientos de revoques empleados, sellados con pasta de arcilla hervida con aceite linaza y acrílico de cal, o como se conoce popularmente en Chile, sellador de cal. Como resultado del proceso se plantea una arquitectura de espacio unitario, auto-portante (Cañete; López, 2016), de aspecto primitivo y contemporáneo simultáneamente (figura 2).



Figura 1. Maqueta fractal, en proceso. Semi elipsoide panelizado con geometría iterada.



Figura 2. Elevación suroeste, emplazamiento del módulo con terminaciones básicas ejecutadas. (Crédito: M. Garrido, 2019)

Es relevante mencionar que, en Chile, no se encuentran normalizadas las construcciones autoportantes de tierra, salvo excepciones puntuales, a consideración de que existen muchas antiguas edificaciones en tierra, se cuenta con la norma NCh3332 (2013) en casos de reconstrucción patrimonial.

Las soluciones más difundidas, en general, son alternativas híbridas, donde se incorpora la tierra asociada a otra técnica constructiva-estructural, como es el caso del sistema elástico denominado tradicionalmente como quincha o bahareque, el cual es aceptado como tabiquería estructural. En esto, la distribución de los esfuerzos son transmitidos por una estructura maestra; En general, elementos portantes de madera aserrada de 2x4", donde la tierra en masa, o en módulo de adobillo, actúa solamente como material aislante, y en pocos casos, de revoque. Este encargo se ha desarrollado como una mutación de dicho sistema, incorporando elementos estructurales, no-estándar, diseñados en CAD (López, 2015) y prefabricados desde una plantilla impresa 1:1, como una estructura maestra, que define la geodésica del módulo.

La experiencia ha tomado largo tiempo de realización, debido a distintos factores, que influyeron en el contexto de las faenas: la distancia del predio del emplazamiento, es considerable con respecto de los centros de abastecimiento, carencias de agua potable, alcantarillado, electricidad, y mano de obra calificada. Esta última justifica la necesidad, de

implementar talleres de construcción colaborativa, con estudiantes de arquitectura de la Universidad de Valparaíso, arquitectos jóvenes de la misma institución y los mandantes.

2 OBJETIVOS

Definición, descripción y caracterización de los procedimientos y materiales empleados para la construcción del Refugio del Sol.

Análisis de los tipos de revocos, impermeabilización y soluciones generales en detalles de carpintería, con madera aserrada y tablero plywood.

Evaluación de la conducta interior y exterior de la cáscara geodésica propuesta, mediante verificaciones gráficas, fotografías, modelo 3D (figura 3) y dibujos de las distintas alternativas adoptadas, en relación a los efectos de agentes climáticos locales; lluvias, vientos y sismos.

Sistematización del procedimiento empleado, considerando los aciertos y errores de la propuesta.

3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Detalles de procedimientos. Descripción y tabulación de dosificaciones empleadas:

La figura 3 presenta el modelo virtual indicando los principales componentes de la estructura de la quincha. Para la fijación de los entramados auxiliares con la estructura maestra prefabricada, se construyeron bastidores internos, diagonales y meridianos, de 2x4" y 1x4". Confinados entre los paralelos, o anillos de amarre, de similar escuadría. Esta sub-división, posibilita vanos de diferentes tamaños, para puertas y ventanas. En su llega al piso, la doble malla auxiliar tiene disposición diagonal, y luego horizontal, hasta el vértice del volumen.

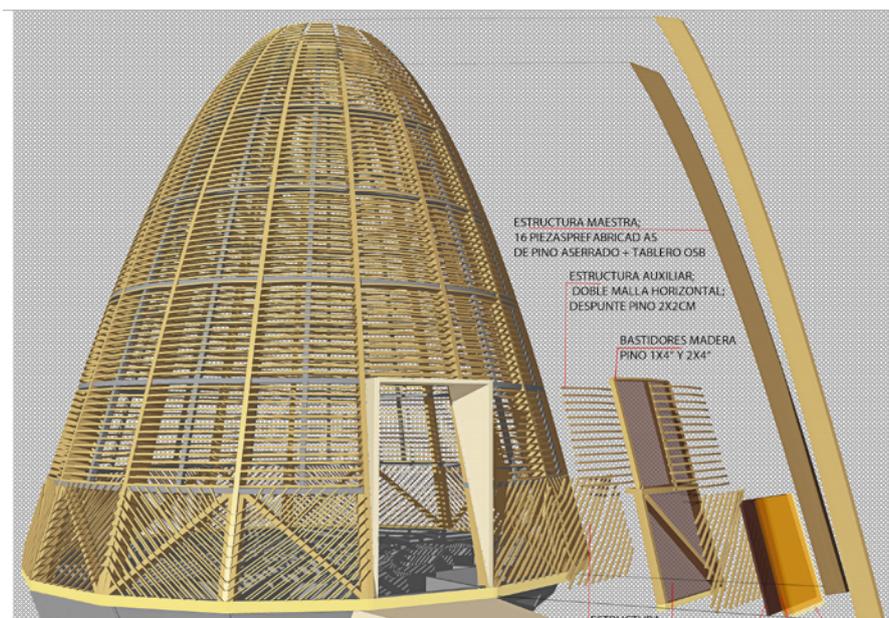


Figura 3. Modelo virtual 3D y principales componentes de la estructura de la quincha.

3.1 Sub-revoque o revoque tutor

Consiste en preparar una masa en base a tierra arcillosa que da recubrimiento a la estructura auxiliar de doble malla horizontal y diagonal (figura 3). Una preparación para

aproximadamente 100 L contiene 36 L de tierra orgánica tamizada, 20 L de arena gruesa harneada, 36 L de tierra arcillosa, harneada y agua para amasado, en cantidades de 8 a 10 L. Se consigue una pasta viscosa y trabajable, con aproximadamente un espesor de 2 cm. Tiene como función dar soporte de fijación a las mezclas consecutivas a la superficie del domo, y llenar vacíos dejados por defecto, en el entramado doble.

3.2 Revoque de inicio o revoque grueso

Constituye una capa de 3 cm de mezcla de barro aplicada sobre la estructura de doble malla (Minke, 2005), para las cuales se utilizan despuntes de pino bruto de 2 cm x 2 cm distanciados entre sí cada 2.5 a 3 cm y 10 cm de vacío entre los entramados complementarios. Los vacíos, o cámara interior, posteriormente se llenan con paja de trigo aglutinada con barro, preparado simplemente con tierra tamizada del lugar y agua, lo que conforma el relleno de aislación térmica, del módulo. Esta segunda capa de tierra se prepara con paja de trigo fermentada (sin picar) remojada en agua por tres semanas, mucilago de tuna nopal, harina blanca y tierra arcillosa harneada en tamiz de malla de 2 mm. Se mezcla los materiales y deja a reposar por 3 a 4 semanas, dispuestos en una pileta de 3 m³ fabricada con despuntes de madera, colocando sobre esta estructura una lámina de PVC grueso.

Una vez combinada la pasta con arena, forma una masa consistente, tomando un tono de color grisáceo-azulado, de textura viscosa, trabajable y olor intenso, pero no desagradable. La aplicación se ejecuta a mano en temporada de primavera-verano.

En relación al comportamiento del revoque tutor, se observan agrietamientos en sectores norte, debido retracciones por rápida pérdida de humedad en la superficie, que naturalmente queda expuesta a mayor incidencia solar. Es importante que esta capa de material cubra todas las porosidades, que el sub-revoque puede accidentalmente dejar, como indica la figura 4 y la tabla 1. Al secar, da una terminación gruesa y compacta. Se prepararon tres tipos de sub-revoques alternativos.

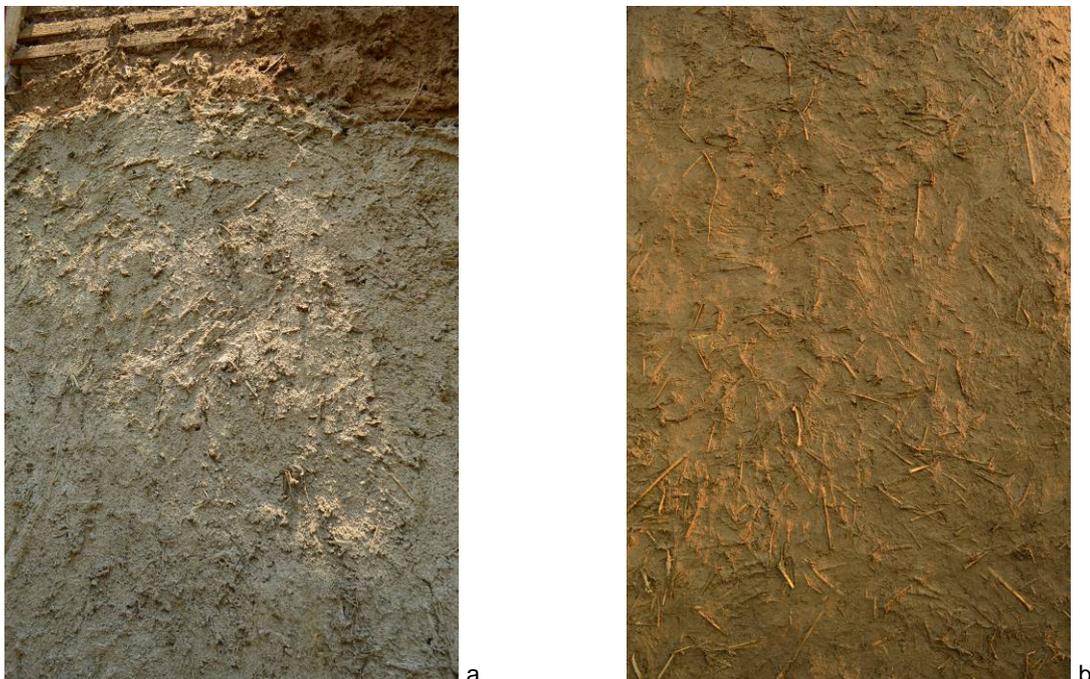


Figura 4. a) Revoque grueso, sobre revoque de inicio, recubriendo la estructura auxiliar de doble malla; b) textura de secado final del material, sin retracciones de fraguado.

3.3 Revoque fino

Consiste en la preparación y aplicación, en dos capas de 1 cm de espesor cada una, de mezcla dispuesta, con los mismos materiales anteriormente descritos, incluyendo leves pero

significativas diferencias: la paja de trigo se agregó picada, en pequeñas hebras de 1 cm a 2 cm; la arcilla es colada, en un tamiz más denso, de 1 x 1 mm. De este modo se obtiene una pasta aún más fina, que posteriormente se satura en agua y re-tamiza manualmente, para quitar piedras pequeñas, que puedan dar porosidad a la terminación final. Una vez reposada por dos semanas, en que se deja decantar la greda, y se separa del agua, se procede a preparar el revoque agregando estiércol de caballo, saturado en agua, por dos semanas, adhesivo vinílico, cola o “cola fría”, como se conoce popularmente en Chile, (de uso frecuente en uniones o ensambles de madera); se suma un balde de 5 kg de cal, y otro de cemento, con el fin de probar el comportamiento empírico de impermeabilidad de dicho material. A lo anterior, se agregan 9 palas de arena tamizada y agua suficiente para que permita un amasado manual, con pala o pies, generando viscosidad en la mezcla, trabajabilidad y homogeneidad. Al aplicar, se consigue una textura lisa que, cuando seca, presenta leves retracciones de fraguado, en los sectores norte y nor-poniente (figura 5 y tabla 2).



Figura 5. Elaboración de revoque fino en carretilla y textura final, aplicada sobre la superficie del domo

3.4 Sello del revoque

Consiste en generar una capa de arcilla, (de 1 cm a 2 cm) tratada con productos imprimantes, que dan impermeabilización al revoque fino, a modo de sello de la cáscara exterior. La preparación consiste en mezclar aceite linaza caliente, con sellante acrílico de cal, el cual es un producto elaborado con resina estireno-acrídica, de dispersión acuosa, utilizado generalmente en construcción, como terminación incolora, para muros de superficie alcalina (estucos, morteros, albañilerías, etc.), en proporciones de 2:1. Una vez que se calienta el aceite de linaza, se agrega el sellador de cal y se revuelve, mientras se homogeneiza la mezcla, se agrega arcilla saturada y colada en tamiz, batiendo la preparación continuamente, esperando que hierva, se agrega lentamente arena harneada en tamiz de 1 x 1 mm y se continúa revolviendo manualmente con pala, durante media hora. Mientras se calienta y se mezclan los componentes, la preparación toma viscosidad pastosa. Posteriormente, se deja entibiar el material producido, aplicándolo sobre la superficie del domo con rodillo, brocha o espátula. Una vez aplicado, comienza a fraguar y enfriarse. En ese instante, (antes de que seque), se alisa la superficie con una brocha húmeda con agua, consiguiendo una superficie bastante llana (figura 6 y tabla 3).



Figura 6. Aplicación del sello del revoque alisado en pleno invierno y terminación final

Al secar presenta poca porosidad, y casi nula retracción de fraguado, factor que impide la erosión por efecto de lluvias o vientos de alta intensidad, característicos del sector.

Tabla 1. Revoque grueso (para 1000 L. Aproximadamente)

Material	Cantidad	Observación
Tierra arcillosa	100 kg	Tamizada en malla de 2 mmx2 mm
Paja de trigo	4 fardos o balas	Saturada en agua, hebras sin picar
Mucílago de tuna nopal	35 L	Materia orgánica saturada en agua por dos semanas
Harina blanca	10 kg	Harina de trigo
Arena	40 L	Sin harnear
Agua	≅ 100 L	Potable o no

Obs.: Todos los materiales se revuelven a pié y dejan fermentar por al menos 15 días. Se vuelve a amasar cada 7 días y se vuelve a amasar previo a la aplicación.

Tabla 2. Revoque fino (para 100 L aproximadamente)

Material	Cantidad	Observación
Paja de trigo	10 L	Paja picada en hebras pequeñas de 1 a 2 cm
Mucilago de tuna-nopal	10 L	Idema a revoque de inicio
Arcilla saturada en agua	36 L	Pre-tamizada, decantada y separada del agua
Cola	5 kg	Pegamento vinílico para maderas
Estiercol de caballo	20 L	Saturado en agua y tamizado
Cal	5 kg	
Cemento	5 kg	
Arena	7 L	Harneada
Agua	-	Suficiente para obtener viscosidad en la mezcla

Tabla 3. Sello del revoque (para 80 L aproximadamente)

Material	Cantidad	Observación
Aceite linaza	10 L	Hervir por 5 a 10 minutos
Sellador de cal	5 L	Se agrega al aceite hirviendo
Arcilla saturada	38 L	Saturada en agua y decantada
Arena fina	27 L	Harneada, para dar estructura y volumen a la pasta

Obs.: La mezcla debe hervir por al menos 20 a 30 minutos

3.5 Impermeabilización final y carpinterías de detalles

Se aplica una película de aceite linaza hervida, mezclada con sellador de cal, en las mismas proporciones descritas, usando el procedimiento descrito en punto anterior. Se aplica la mezcla con brocha o rodillo. Esta mezcla se recomienda para mantenciones anuales en los meses de verano, que van de diciembre a marzo.

Juntas en carpinterías de puertas y ventanas; se ejecutan en placa plywood de 18 mm y pino cepillado, con uniones encoladas y atornilladas según se detalla en figura 7.

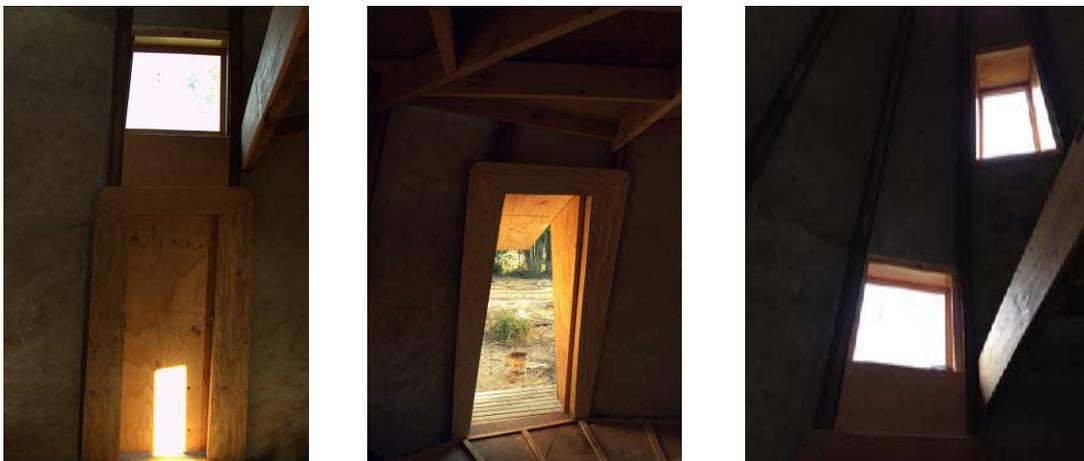


Figura 7. Detalles carpintería interior; accesos principales y vanos superiores este, sureste

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Uno de los desafíos de construir superficies sinclásticas (Fuller Moore, 2001) es conseguir vanos adecuados que den iluminación, ventilación natural, y accesos al interior. Que dichos elementos protejan adecuadamente el interior, o den cierre al recinto que sirven, sin perjuicio de las características higrotérmicas del proyecto, lo que es un tema relevante a resolver. Al ejecutar este módulo experimental, todas las soluciones de aberturas tuvieron que ser diseñadas y construidas, según los requisitos específicos, de curvatura de la cáscara, debido a que al tomar altura, el domo va presentando una curvatura más acentuada. Como se enunciaba anteriormente, las terminaciones interiores, marcos de ventanas, puertas y lucarna, se ejecutan con sus respectivos sellos de junta, entre el barro y el tablero de madera. Se fabrican cajas de terciado plywood, empotrados en la estructura y dentro de estos, se anclan ventanas y puertas proyectantes de una hoja, como se muestra en las figuras 6, 7 y 8.



Figura 8. Detalle de la fachada noreste, recubrimientos de grietas por retracciones en alféizar de ventana y grietas por sismo. Figura adyacente; detalle del interior, sector oeste

El módulo cuenta con dos puertas principales, y dieciocho ventanas de diferentes tamaños, dada la geodésica del domo, más una lucarna cenital. Al rellenar con barro, la junta entre las cajas de las puertas y ventanas con el módulo se corrobora agrietamientos de diferentes tamaños. Esto se soluciona al aplicar capas sucesivas de revoque grueso con hebras completas de paja de trigo, saturadas en agua, y posterior aplicación de revoque fino y sello de revoque, consiguiendo una adecuada junta libre de grietas por retracción de fraguado o diferencia de materiales. Para esto se utilizaron las dosificaciones que se especifican. Se comprueba la ductilidad de la preparación y la adaptabilidad de uso, a distintas soluciones.

Actualmente, la cáscara del domo ha sorteado con éxito todos los eventos de precipitaciones acontecidos a la fecha (figura 9 y tabla 4). Las cualidades higrotérmicas (tabla 4) del módulo quedan en evidencia luego de los temporales de lluvia del año 2018, los cuales se registraron entre los meses de mayo a septiembre. En un primer evento de precipitaciones, no se contaba con la aplicación del sello, de revoque descrito. Es decir, solamente estaban aplicadas las capas de revoque grueso y fino, por lo que presentaron infiltraciones en juntas de vanos principales, de puertas y ventanas con la geodésica, por capilaridad horizontal, por grietas en la cáscara, producidas por retracciones del revoque y por sismos de alta intensidad. Se registraron agrietamientos superficiales, más no cortes de tabiques, luego de un sismo de 7.0 Richter (figura 10).



Figura 9. Detalles de interior: humedad centralizada en tabique noreste, y situación luego de mantener ventilación cruzada noreste-suroeste, en planta baja y este-oeste en planta superior

Tabla 4. Comportamiento frente a lluvias en temporada de invierno

Visitas a obra / registro de humedad		
Tabiques	Lluvias del 17.05.2018	Lluvias intensas del 14.06.2018
Norte	Mucha humedad focalizada en alfeizar ventana alta	Muy poca humedad en alfeizar
Noroeste	Con eflorescencias	Muy poca humedad
Oeste	En dintel y ante pecho de ventana planta altillo	Poca humedad en dintel ventana altillo
Suroeste	En alfeizar oeste de puerta	En antepecho de ventana planta baja
Sur	Centralizada en planta baja	Disminución de humedad centralizada
Sureste	Centralizada en planta baja	Disminución de humedad centralizada
Este	Alta en el alfeizar este de la puerta	Buen comportamiento del alfeizar con membrana asfáltica
Noreste	Centralizada con mucha eflorescencia. En alfeizar de ventana	Menor en alfeizar de ventana

Obs.: En general, la cáscara presenta mejor comportamiento con las soluciones adoptadas, (sello de revoque y membrana asfáltica en vanos de puertas. En algunas ventanas esta faena se encuentra pendiente). La terminación final adoptada, consistió en una mano de imprimante acrílico waterproof, diseñado para albañilerías.

Esto pudo subsanarse, una vez empleado el sello de arcilla hervida, con linaza y sellador de cal, y colocación de láminas de membrana asfáltica, de 3 mm en juntas de vanos-cáscara. Después del temporal del 13-14 de Junio de 2018, una lluvia intensa de casi tres días, la de mayor intensidad del año, contra todo pronóstico, se notifica mucho mejor comportamiento (tabla 4 y figura 11).

El comportamiento térmico en invierno, es de notable menor calidad, especialmente en las primeras horas del día. Es en la mañana, cuando el interior del domo se encuentra más frío, ya que al ser los días mucho más cortos, la inercia térmica del barro se ve afectada, transmitiendo baja temperatura de exterior a interior, justo antes del mediodía. En el corto plazo, este efecto térmico negativo, se suplirá, con la implementación de una pequeña calefacción de combustión lenta.

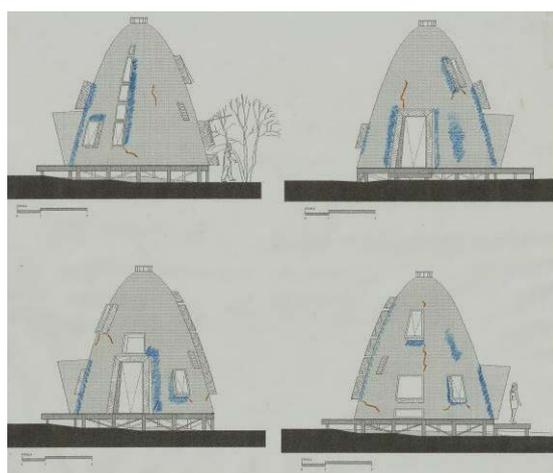


Figura 10. Grietas principales post sismo 7.0 y humedad registrada el 17/05/2018 (Color azul representa, las principales filtraciones de humedad al interior y color anaranjado las grietas post-sismo)

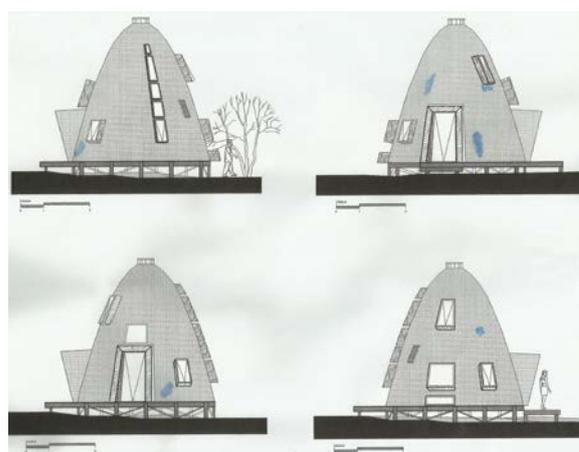


Figura 11. Situación de humedad registrada, luego del temporal de lluvias del 14/06/2018

En el registro de la figura 11, se verifica un mejor comportamiento que en temporal anterior. En agosto del 2019, se finaliza la impermeabilización de la cáscara total, con sellante acrílico para albañilería. Hasta la fecha, el interior no sufrió infiltraciones importantes, por efectos de posteriores lluvias invernales.

La sub-estructura (fundaciones) ejecutada, con las rectificaciones que se expusieron en López (2018) y el diafragma de piso ventilado, garantizan una plataforma que evita infiltraciones por capilaridad, ya que el emplazamiento presenta temporadas, de gran humedad, dada la proximidad con el océano. La estructura mantiene buen comportamiento sísmico hasta la fecha; los meridianos prefabricados y paralelos ejecutados dan prueba de ello. Una nervadura pandeó por sobrecarga de la viga maestra, la que conforma el segundo piso del nivel en altillo. Ante esta deformación, se procede a triangular interiormente, paños adyacentes, a esta pieza estructural, de igual modo, se triangularon las llegadas de todo elemento prefabricado al piso, como se grafica en la vista del modelo 3D (figura 3). Errores en la concepción de los detalles diseñados y las soluciones empleadas, se presentan graficadas en el escantillón general; se detalla la composición del tabique en quincha, una ventana tipo y dintel de la caja de acceso, como muestra la figura 12. En la figura 13 se observa el estado actual de la obra. La mantención recomendada, que hizo López (2018), consistió en preparar, una o dos veces al año, el sello hervido (tabla 3), y aplicarlo en agrietamientos, producto de eventuales sismos, que son constante natural en el país, y en zonas de la cáscara, que se erosionen por lluvias y/o fuertes temporadas de vientos invernales.

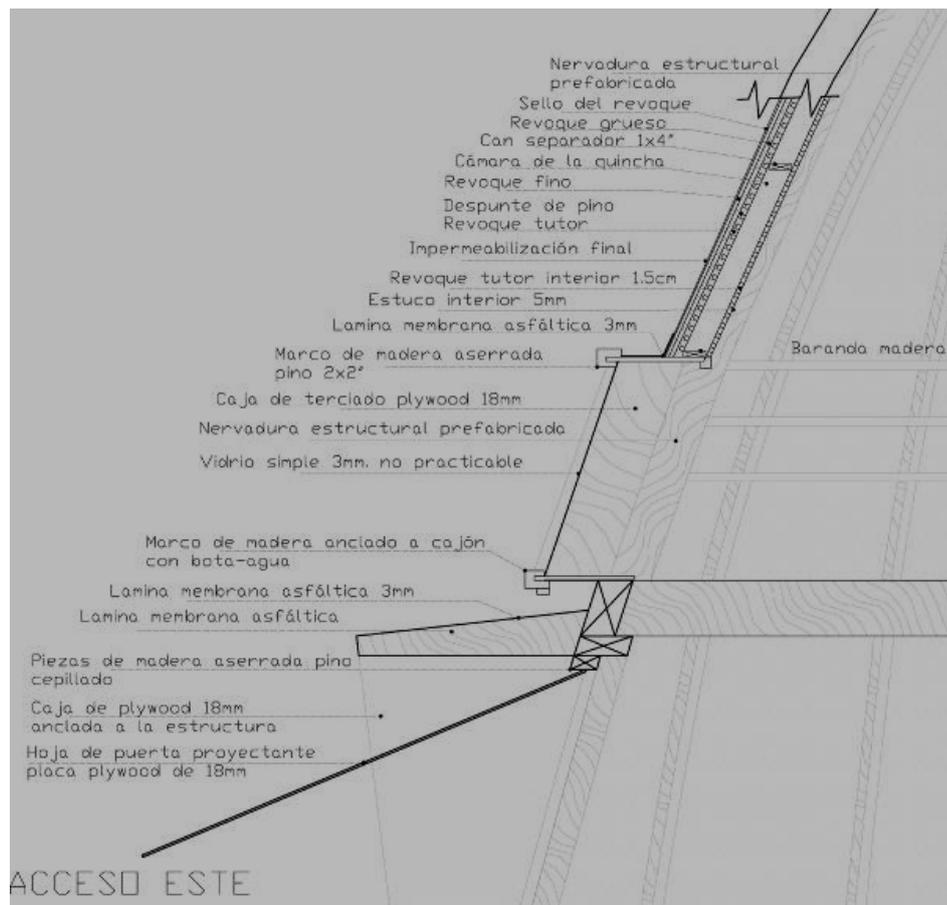


Figura 12. Sección del perfil /escantillón, pasando por el acceso este

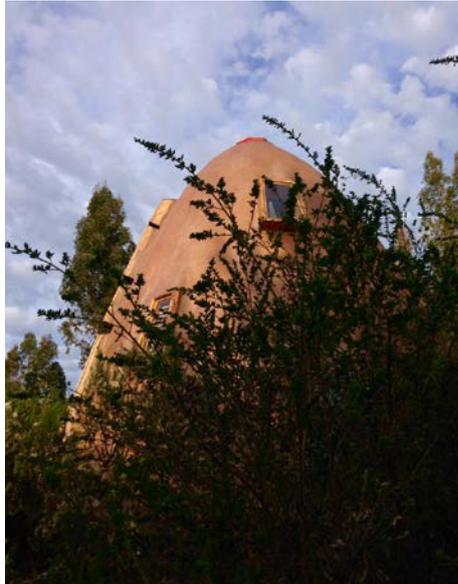


Figura 13. Estado exterior actual del proceso constructivo, con la imprimación de sellante para albañilerías

5 CONSIDERACIONES FINALES

Es relevante concebir procesos de diseño, no solamente como ejercicios abstractos, independientes del proceso constructivo, sino que integrados a una concepción global, que vincule ambas fases. En este aspecto, es destacable el rol que puede tomar el trabajo con elementos prefabricados, y vincularlos con técnicas constructivas tradicionales, in-situ. En contextos agrestes, de poca accesibilidad o recursos, donde se pueden dificultar las etapas de montaje, u obra, la prefabricación es una alternativa precisa, fiel al diseño y eficiente en términos de montaje.

Identificar factores que puedan influir en los tiempos de ejecución sean parámetros de emplazamiento, económicos, logísticos, o de recursos humanos, es significativo.

La transferencia de conocimiento, o capacitación en construcciones con materiales locales, o cotidianos como es la tierra o la madera se vuelve mucho más sencilla que con otros materiales industrializados, que requieren procesos más complejos.

La experimentación en arquitectura es relevante, sin experimentación no hay innovación posible. La experimentación llevará, consecuentemente, a abrir nuevas facultades para la disciplina, y consolidarla como una inter-disciplina. En este sentido las nuevas tecnologías, ofrecen posibilidades que los diseñadores no han tenido antes.

Es importante incorporar métodos, modelación o fabricación CAD/CAM en experimentación arquitectónica (López, 2012) y constructiva. Combinar estas técnicas nuevas con materiales o procesos tradicionales, de baja huella de carbono, puede ser una puerta de entrada a nuevos planteamientos, que haga que la sustentabilidad y la tierra sean realmente atractivos de inversión, estética, innovación, desarrollo y replicabilidad en diversos contextos y usos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cañete, O.; López, F.M. (2016). Desarrollos de modelos para refugio modular en base a estandarización de prototipos pre-fabricados. Argentina: Revista Pensum, 2(2). Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pensu/article/view/16517>

Cañete, O.; López, F.M. (2015). El domo generativo. Modelación morfológica y diseño paramétrico. Base del estudio de ensamblajes modulares en la fabricación de prototipos para sistemas Cad-Cam. Colombia: Modulo Arquitectura CUC, 15. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/737>

- Fujimoto, S. (2012). Futuro primitivo. España, El Croquis, 151. Disponible en: <https://www.librosarq.com/revistas/el-croquis-151-sou-fujimoto/#.XV4F9f5G201>
- Fuller, B. (1961). Tensegrity, Portfolio and Arts New Annual, N.4. Buckminster Fuller Institute. Disponible en: <http://www.rwgrayprojects.com/rbfnote/fpapers/tensegrity/tenseg01.html>
- Fuller-Moore (2001). Comprensión de las estructuras en arquitectura. México, Mcgraw-Hill, Interamericana.
- López, F. M. (2012). Paisajes, mapas y atracción. En: Cañete, O. (Editor y comp.). Exploraciones morfológicas digitales. Valparaíso: Editorial Garín. p. 67-72.
- López, F. M. (2015). Paisaje natural vs. Paisaje virtual. Notas y aplicaciones sobre mapeo tridimensional, entramados generativos y fabricación modular Cad/Cam. En: Cañete, O. (Editor y comp.). Bitácoras morfológicas. Valparaíso: Editorial Garín. p. 92-99.
- López, F. M. (2018). Análisis de una experiencia constructiva en base a prototipo modular, híbrido y autoportante en la zona central de Chile. 18º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/PROTERRA. p. 497-505
- Mandelbrot, B. B. (2005). Fractals and chaos. BioMedical Engineering OnLine, volume 4, article 30
- Minke, G. (2005). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Universidad de Kassel. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/360175111/Manual-de-construccion-para-viviendas-antisismicas-de-tierra-pdf>
- NCh3332 (2013). Estructuras- Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Requisitos de proyecto estructural. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización. Disponible en <http://admin.ryv.cl/upload/imagenes-editor/files/NCh03332-2013.pdf>

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Rodrigo Segura, Alejandra Tello, Francisco Rubio, Marco Fierro, Macarena Garrido, Verónica Vasquez Matos, Luis Pineda, Amparo González, Felipe Saavedra, Macarena Monsalve, Angel Palma, Juan Pablo Cisternas, Mario Varela, Oscar y Pablo Jerez, Alejandro Saldías, Cristian Chan Olivos, Luciano Arriagada, Verónica Arrieta, Omar Cañete, Luis Varas y Pablo Ortúzar. A todas las personas, que nos han dado aliento y ánimos, en el largo proceso. A mi familia por el constante apoyo y amor incondicional.

AUTOR

Felipe Mateo López es arquitecto por la Universidad de Valparaíso, Chile. Consultor en empresas de ingeniería, arquitectura y construcción en temas de diseño 3D, logística, gestión de recursos materiales, agua y suelos. Cuenta con trabajos publicados en países como España, Argentina, Colombia, Uruguay, Guatemala y México. Actualmente desarrolla el libre ejercicio de la profesión en Viña del mar, Chile.