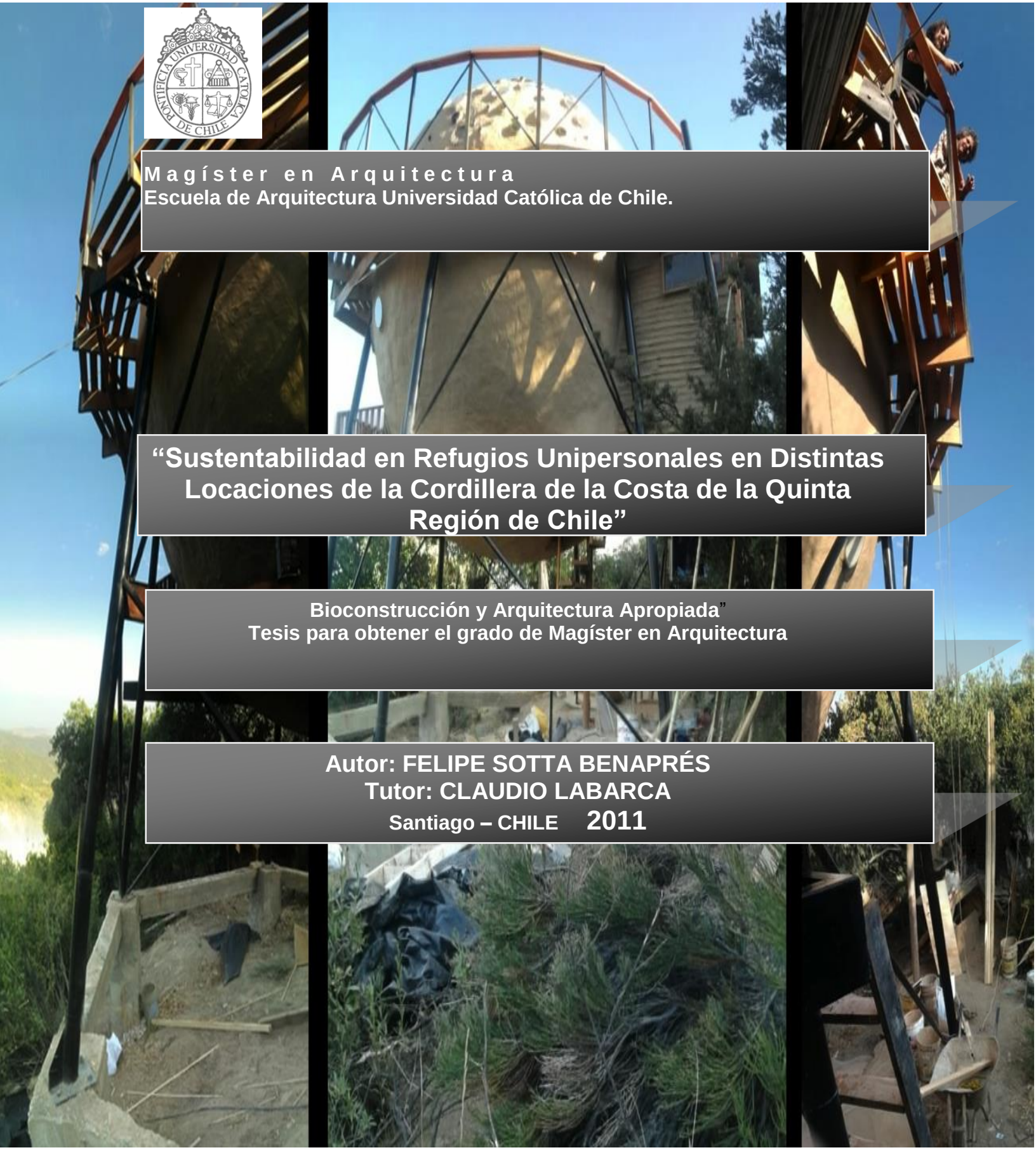


M a g í s t e r e n A r q u i t e c t u r a
Escuela de Arquitectura Universidad Católica de Chile.

"Sustentabilidad en Refugios Unipersonales en Distintas Locaciones de la Cordillera de la Costa de la Quinta Región de Chile"

Bioconstrucción y Arquitectura Apropiada"
Tesis para obtener el grado de Magíster en Arquitectura

Autor: FELIPE SOTTA BENAPRÉS
Tutor: CLAUDIO LABARCA
Santiago – CHILE 2011

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDOS.....3-4
RESUMEN.....5
INTRODUCCIÓN.....6-7

CAPITULO I
Formulación del proyecto.....8-9

i.1) Formulación del Proyecto.....8
i.2) Objetivo General.....8
i.3) Objetivos específicos.....9

CAPÍTULO II
Marco Teórico.....10-22

ii.1) Origen del Término Sustentable.....10
ii.1.2) Elementos del Desarrollo Sustentable.....11
ii. 1.3) Arquitectura sustentable.....11-12
ii.2) Arquitectura y Bioclimatismo.....13-14
ii.2.1) Orientaciones adecuadas.....14
ii.2.2) Envolventes térmicamente eficientes.....15-16
ii.2.3) Explotación del recurso natural de la luz solar.....16
ii.2.4) Ventilación controlada.....16
ii.3) Bioconstrucción.....16
ii.3.1) Elementos de la Bioconstrucción.....16-17
ii. 3.2) El Adobe.....17
ii.3.3) Quincha Adobe.....17-18
ii.4) Ahorro de agua.....18-19
ii. 4.1) Humedales.....19
ii.4.1a) Baño seco.....19-20
ii.4.1b) Uso de la orina.....20
ii.4.2) Estructuras geodésicas.....20-21
ii. 4.3) Habitáculos Esféricos.....21
ii. 4.4) Free Spirit Spheres.....21-22

CAPÍTULO III
Marco Metodológico; Presentación del proyecto ejecutado....23-110

iii.1 Proyecto Esfera.....23-24
iii.2 Proyecto P1..... 25
iii.2.1 Descripción programática.....25
iii.3 Proyecto P2..... 25
iii.3.1 Descripción programática……26
iii.4 Proyecto P3…… ……..……..27
iii.4.1 Descripción programática……...27-29
iii.5 Materialidad y Estructura…… ….29
iii.5.1 Proyecto 1…….29-30
iii.5.2 Proyecto 2…..……30-32
iii.5.3 Proyecto 3…..…… ……33-34
iii.6 Estudio del comportamiento térmico y energético……..……..35
iii.6.1 Evaluación energética…… ……..……35
iii.6.2 Vivienda P1; Envolvente……..…… …… ……36
iii6.3 Características y propiedades térmicas…...…..…… ……..36-39
iii.6.4 Vivienda P1; Simulación energética…… …… … ……..40
iii.6.5 Demanda energética…… …… ……....40
iii.6.6 Gráfico de temperatura del aire…..…… ……41-42
iii.6.7 Grafico comparativo de ganancias y pérdidas…..……42-43
iii.7.1 Vivienda P2; Envolvente…...…… …… …...43-45
iii.7.2 Vivienda P2; Simulación energética…..…… …… … …46
iii.7.3 Demanda energética…..…… ……... 46
iii.7.4 Gráfico de temperatura del aire…...…… ……47-48
iii.7.5 Gráfico compartivo de ganancias y pérdidas…… …… ….....49
iii.7.6 Vivienda P3; Envolvente….....…50-52
iii.7.7 Vivienda P3; Simulación energética …..…… ……...53
iii.7.8 Gráfico de temperatura del aire…..…… ….54-55
iii.7.9 Gráfico comparativo de ganancias y pérdidas….. …… …….56
iii.7.10 Análisis General “Insolation Analysis” Gráfico comparativo de radiación directa…… …….57-58
iii.8 Estrategias; Diagramas de comportamiento…. …..…… ..….59
iii.8.1 Diagramas de comportamiento P1…..……...59-61
iii.8.2 Diagramas de comportamiento P2…… … …….60
iii.8.3 Diagramas de comportamiento P3…..……...61-62
iii.9.1 Construcción del proyecto 1…… ……62-65
iii.9.2 Construcción del proyecto 2 …..…… …..65-88
iii.9.3 Construcción del proyecto 3…… ..89-110

GLOSARIO…… ……..11-114
CONCLUSIONES.....115-119
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....119-123

RESUMEN

En esta investigación se presentan las bases teóricas y metodológicas de un estudio que consta de; el proyecto, la evaluación y la construcción de tres refugios unipersonales basado en; la bío-construcción y el bioclimatismo. En busca de la expresión empírica de las materias propias de la sustentabilidad en la arquitectura, las temáticas que se abordan resuelven materias ecológicas en procesos propios de la construcción de viviendas, dando forma a una edificación enfocada en; el ser humano, su entorno, su calidad de vida y el aprovechamiento de los recursos. Desde esta visión holística del proceso proyectual y edificatorio, este trabajo incorpora los conceptos de habitabilidad, confort térmico y ahorro, profundizando en las raíces de los conceptos que suscriben en la sustentabilidad.

El proyecto “Esfera”, denominado de este modo por la formalización del espacio arquitectónico que adoptan los refugios determinados por el estudio, investiga las potenciales de la materialización en la obra de; la aplicación de proporciones naturales, la producción de alimentos, el reciclajes de las aguas, el uso de baños secos, la realización de estrategias de ventilación, calentamiento pasivo, el uso de materiales locales, el aprovechamiento de la luz solar y varias otras operaciones que son expuestas y analizadas en su aplicación durante la investigación.

Cada proyecto es evaluado en cuanto a la eficiencia de su envolvente, comportamiento térmico, condiciones lumínicas y demandas energéticas.

Se definen soluciones constructivas para resolver las exigencias de los conceptos asociados en la etapa del proyecto en respuesta a los principios que suscribe.

Se modifican prácticas en la edificación experimentando con materiales, técnicas y estrategias de construcción con el fin de crear nuevas metodologías que den respuesta a las exigencias de cada faena.

En el estudio se exponen el diseño y los sistemas utilizados en el proyecto, su evaluación y el proceso de construcción, con los resultados logrados en cada uno de los tres modelos.

Palabras clave: **bioclimatismo, bioconstrucción, sustentabilidad.**

INTRODUCCIÓN

La investigación desarrolla **tres modelos** de arquitectura sustentable. El estudio experimenta desde lo teórico-práctico con los procesos y métodos de formalización arquitectónica que nacen de estrategias bioclimáticas, que dan respuesta ambiental a los requerimientos climáticos de dos contextos distintos.

Durante el desarrollo del proyecto se selecciona materiales locales de bajo costo con características, térmicas, acústicas y estructurales apropiadas para las condiciones de cada clima, orientación y uso.

Arquitectónicamente se aprovechan los recursos naturales, el sol, el viento, la orientación, la ubicación, los cambios térmicos y en general las distintas condiciones de las estaciones, para lograr las condiciones de confort más apropiadas con el máximo de ahorro de energía.

En el proceso de gestación del proyecto, se determinó la ubicación de la vivienda sobre el terreno, en esta etapa se tuvo en cuenta; la orientación, la cantidad de radiación solar, la pendiente, la calidad del suelo, la dirección del viento y la presencia de humedad. La recopilación de esta información permitió determinar la ubicación de los recintos que componen el programa de las viviendas, según los diferentes requerimientos de regulación de las condiciones ambientales interiores de cada uno.

En general todos los emplazamientos rurales poseen en mayor o menor medida un microcosmos ecológico propio con; plantas, insectos y animales que interactúan en procesos de interdependencia y colaboración sean estos nativos o insertados, al momento de iniciar la construcción se tuvo en cuenta la protección de estos **sistemas biológicos** evitando contaminación ocasional o permanente que pudieran afectar el funcionamiento de estas preexistencias.

Las estrategias de **eficiencia energética** utilizadas en los modelos son variadas: orientaciones adecuadas, envolventes térmicamente eficientes, paredes y suelos de alta inercia térmica, aprovechamiento de la luz solar, climatización natural, ahorro de agua, implantación de las energías renovables, captación solar pasiva, galerías de ventilación controlada, consideración de vegetación como reguladores de la temperatura, etc. Estas estrategias varían para adecuarse de una forma holística y creativa en los diferentes espacios y condiciones climáticas locales, es por esta razón, que cada modelo ha requerido incorporar diferentes métodos para alcanzar el confort ambiental.

Además de considerar el impacto en los trastornos locales que pueda provocar la obra en su proceso y en su posterior funcionamiento en el lugar inmediato, se

consideró también la energía y la cantidad de emisiones de carbono a la atmosfera que involucraron la **producción de los materiales** de construcción, y en el momento de su selección se consideró; su traslado hasta el pie de la obra, su vida útil y el impacto en el ambiente de su posterior ruina. De este modo la variable de sustentabilidad intenta ser abarcada por el estudio a cabalidad.

La construcción de los modelos es un desafío adicional que tiene su importancia para la investigación, ya que es una muestra real y cuantificable de que los proyectos; funcionan bioclimáticamente y suscriben dentro de los estándares de la arquitectura sustentable.

La **evaluación energética** y cálculos de propiedades térmicas de las envolventes permite prever las posibles demandas energéticas y comportamiento térmico teórico al interior de las viviendas y de este modo hacer modificaciones en la etapa de proyecto para mejorar el comportamiento ambiental interior de estas. Para ello debemos considerar el clima donde se emplazan las mismas y a que zona térmica pertenecen, de esta manera es posible establecer una comparación entre los valores reales y el valor base considerando la actual Ordenanza. O.G.U.C art 4.1.10

Para concluir, el proyecto aquí presentado refleja la congruencia entre el diseño, la estructura y sistematización racional de su proceso de construcción, la complejidad y amplia variedad de sus instalaciones, así como la comprensión y el dominio de los fenómenos naturales que lo afectan. .

CAPITULO I

FORMULACIÓN DEL PROYECTO

La investigación se ha realizado durante el período previo, durante y después de la construcción de este proyecto. Esta se emplaza en dos locaciones de la V región de Valparaíso; ambas en la cordillera de la costa Caleu, 32º 59´ 11.77" Sur, 70º 59´ 26.97" Oeste, elevación 1287 m, clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. La vega 33º 01´ 57.90" Sur, 71º 02´ 45.05"Oeste, elevación 725m, clima templado cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada (7 a 8 meses).

Este proyecto se inicia en la búsqueda de contrastar los efectos del emplazamiento de la vivienda en tres distintas alturas con respecto al suelo o terreno, basados en el mismo tipo de construcción y programa. El objetivo general consiste entonces en: Experimentar con tres modelos refugios unipersonales que poseen la característica de estar diseñados y construidos bajo los principios de una arquitectura sustentable, realizando en el tiempo un estudio comparativo en términos de habitabilidad, confort térmico y diversas técnicas de Bioconstrucción.

Objetivo General:

Experimentar con tres modelos de arquitectura sustentable, realizando un estudio comparativo entre ellos, en términos de habitabilidad, confort térmico y diversas técnicas de Bioconstrucción.

Objetivos Específicos:

1. Mencionar, definir y desarrollar conceptos fundamentales que están a la base de la **bioconstrucción y la sustentabilidad** en la construcción de viviendas unipersonales.

2. Desarrollar un ejemplo de proyecto de arquitectura que abarque la mayor cantidad de aspectos relacionados con la **sustentabilidad** tanto en los aspectos de ahorro minimizando el gasto energético, como de impacto ambiental usando materiales naturales y locales.

3. Experimentar con **estrategias bioclimáticas** tanto en el diseño arquitectónico como en la construcción de los modelos.

4. Demostrar que la **vivienda ecológica** ofrece iguales adelantos y comodidades que una vivienda unipersonal convencional y aporta en sí misma variadas e incrementadas ventajas.

5. Estudiar el comportamiento **térmico y energético** de las tres viviendas construidas en el proyecto, tomando en cuenta la envolvente, sus características y propiedades térmicas, la demanda energética de cada modelo, midiendo la temperatura del aire interior-exterior en conjunto con las pérdidas y ganancias energéticas y la radiación directa y sus consecuencias al interior de cada modelo, planteando las estrategias de comportamientos que resuelvan las situaciones en cada caso.

6. Edificar los modelos. Demostrar cuáles son las **técnicas constructivas** más adecuadas para minimizar el impacto ambiental y tener una experiencia empírica de que los prototipos pueden ser construidos, funcionan bioclimáticamente y suscriben dentro de los conceptos de sustentabilidad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

II. 1 Origen del Término Sustentable:

Para iniciar una aproximación a los fundamentos teóricos, cuyos pilares han sido la base elemental en la praxis del proyecto “Esfera” de bioconstrucción de este trabajo que a continuación se presentará, se considera necesario antes, mencionar los elementos subyacentes que dan origen a estos. Uno refiere al concepto de sustentabilidad que surge a partir de encuentros realizados en diversas instancias mundiales donde se abordaban aspectos de la ecología mundial y del desarrollo industrial. En el año 1987 el término “desarrollo sostenible o sustentable” se define en el informe “Brundtland” 1988, Este pertenece a un informe socio-económico diseñado y montado por diversas naciones para la ONU. En este informe, se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible o sustentable. El término refería al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. Esta visión tenía como consecuencia un cambio radical en lo referente a sustentabilidad, esencialmente en el ámbito ecológico, además de brindar un marco responsable que pone hincapié en el contexto económico y social del desarrollo.

El concepto va tomando fuerza luego de la cumbre de la Tierra en 1992 en la ciudad de Río de Janeiro. En principio, este concepto fue utilizado primordialmente en el dominio ambiental, pero pronto adquiere énfasis en otros ámbitos como el de la salud, la educación y comienza a llevarse al lenguaje de los gobiernos que buscan crear nuevas formas de gobernar, teniendo en cuenta estilos de gestión innovadores de desarrollo.

En el año 2002, la conferencia de las Naciones Unidas fue la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002), donde se discutieron las estrategias globales a implementar para promover los principios de la sostenibilidad y asegurar su adopción por parte del conjunto de las naciones y en todas las regiones del planeta.

El término de desarrollo sustentable hace referencia a un modelo socioeconómico que cubre las necesidades actuales sin mermar ni afectar la capacidad de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones. En diversos ámbitos, como la industria implica disminuir deshechos y amplificar los recursos renovables, incluyendo el reciclado y la optimización de los productos y su durabilidad en el tiempo como su calidad, eficiencia y eficacia.

II. 1.2 Elementos del Desarrollo Sustentable:

El desarrollo sustentable se compone de tres elementos, el económico, social y ambiental. El económico considera la eficiencia como necesaria para su desarrollo, la estabilidad y el crecimiento. El social considera la equidad, movilidad social la participación humana, estimulación cultural y el desarrollo colectivo. El ambiental contempla la biodiversidad, la mantención y la integridad de los ecosistemas.

El paradigma de la sostenibilidad plantea una nueva epistemología con formulas de asociación colectiva y el trabajo de redes. La era pasada, denominada época moderna, se caracterizó por un antropocentrismo, dónde el hombre era el centro y el ecosistema un depósito de materia primas, afectado por un consumo irresponsable. En la época actual, la posmoderna, se habla de biocentrismo, es decir, la vida es el foco central y el hombre y los ecosistemas son organismos interdependientes.

II.1.3 Arquitectura Sustentable:

La arquitectura sustentable funciona como un "ecosistema" son construcciones basadas en sistemas energéticos que fomenten el ahorro, con materiales de construcción de bajo impacto ambiental, se considera el reciclaje y la reutilización de los residuos, incorporando el concepto de movilidad. La sustentabilidad implica la generación y gestión de cambios en el estilo de extracción y explotación de recursos, donde el desarrollo tecnológico y la inversión se complementan, teniendo en cuenta las posibilidades del presente y del futuro para resolver las necesidades del ser humano, cumpliendo así con los objetivos pilares del concepto, los cuales están dirigidos a mejorar la calidad de vida protegiendo el ecosistema global.

La disciplina Toma en cuenta las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del contexto ambiental de las construcciones, minimizando cualquier impacto y maximizando el rendimiento. Reduce el uso de materiales de alto impacto ambiental, priorizando los que requieren de bajo consumo energético en su producción. Reduce el consumo energético en el uso de los espacios en sistemas de calefacción, refrigeración, iluminación, usando para esto recursos energéticos renovables. En síntesis es el balance energético global de la edificación tanto en el diseño como en la construcción, su uso y el final de su vida útil, maximizando la satisfacción en comodidad hidrotérmica, salubridad, iluminación y habitabilidad de las edificaciones.

Construir desde un modelo sostenible es posible mediante una visión que ponga el foco de su que hacer desde una mirada holística e integradora, escalando por; sectores económicos, municipios, barrios, países o casas individuales, de esta forma abarcar la problemática del impacto y del consumo desde lo local a lo global acotando en diferentes escalas las distintas soluciones según el tamaño. Para lograr este objetivo es necesario estudiar los tiempos de desarrollo de cada tamaño en sus contextos económico, social y ambiental.

Se resume que los principios de un desarrollo sustentable, en el cual el mundo de la arquitectura puede incorporarse al ecosistema, se basan en un análisis del ciclo de vida de los materiales, en el desarrollo del uso de materias primas y energías renovables, la maximización de los materiales y la consideración de las energía utilizada en su extracción, explotación y su posterior reciclaje. Las técnicas de construcción deben estar acorde a un mínimo deterioro ambiental, la ubicación de la vivienda y su impacto con el entorno, el consumo de energía en su funcionamiento y el reciclado de los materiales cuando la casa ha cumplido su función y se derriba.

II.2 Arquitectura y Bioclimatismo

La arquitectura bioclimática, como se ha relacionado conceptualmente anteriormente, consiste en el diseño de edificaciones teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles como el sol, vegetación, lluvia, vientos para disminuir los consumos de energía. La arquitectura bioclimática toma en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort térmico interior, esta lleva una relación sistémica entre el diseño arquitectónico y la eficiencia, recurriendo a los procedimientos mecánicos, como sistemas de apoyo.

Lo que persigue un tipo de construcción de estas características es armonizar los espacios y crear óptimas condiciones de confort y bienestar para sus ocupantes, creando espacios habitables que cumplan con un propósito funcional y expresivo, y que sean físicamente adecuados, es decir, que favorezcan el desarrollo integral del hombre y de sus actividades. Las operaciones interactivas entre medio y construcción tiene la finalidad de cooperar con la sustentabilidad, consiguiendo eficiencia energética. Es decir, lograr la calidad del ambiente interior con unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad y calidad del aire.

La construcción bioclimatica no se caracteriza por un rasgo concreto ni se limita a un conjunto de normas o requisitos. Se trata de un proceso completo que abarca desde la elección del terreno en que iniciará la construcción hasta la proyección de la estructura con criterios de eficiencia, cada clima y locación tiene sus propios requerimientos para alcanzar el confort, y con esto diferentes respuestas de diseño para cada caso.

Arquitectura solar pasiva incorpora en el diseño de la casa el uso eficiente de la energía solar y sin utilizar elementos mecánicos, la eficiencia y el conford los alcanza por medio del diseño arquitectura y la correcta elección de los materiales según los requerimientos de cada caso.

Los principios para el aprovechamiento de recursos naturales hacen referencia a favorecer efectos esperados: Generar efectos tales como tratamiento de la humedad, armonía con los cambios climáticos como el efecto invernadero. Las ventanas protegidas mediante persianas, alargadas en sentido vertical, y situadas en la cara interior del muro, dejan entrar menos radiación solar en verano, evitando el efecto invernadero. Por el contrario, este efecto es beneficioso en lugares fríos o durante el invierno, por eso, tradicionalmente, en lugares fríos las ventanas son más

grandes que en los cálidos, están situadas en la cara exterior del muro y suelen tener miradores acristalados.

En cuanto a la orientación de la construcción, captación solar. Tanta más energía solar se capte, mejor, ya que en una vivienda bioclimática es la principal fuente de climatización en invierno. En verano se utilizan otras técnicas para evitar al máximo la incidencia de los rayos del Sol. En el hemisferio norte, por ejemplo, se debe orientar la superficie de captación hacia el sur y en la dirección opuesta en el hemisferio sur.

En los sistemas de captación de energía solar pasiva la captación se realiza aprovechando el diseño de la vivienda, sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos. Esto provoca un desfase entre los aportes de calor y el incremento de la temperatura. Funciona a diferentes niveles: Ciclo diario: En el invierno, la masa térmica estratégicamente colocada almacena calor solar durante el día para liberarlo por la noche y en el verano, realiza la misma función, sólo que el calor que almacena durante el día es el de la casa, manteniéndola fresca, y lo libera por la noche, por medio de la ventilación. Ciclo interdiario: La masa térmica es capaz de mantener determinadas condiciones térmicas durante algunos días una vez que éstas han cesado. Por ejemplo, puede guardar el calor de días soleados de invierno durante algunos días nublados. Ciclo anual: se guarda el calor del verano para el invierno y el fresco del invierno para el verano.

II.2.1 <u>Orientaciones adecuadas:</u> Con el fin de optimizar recursos naturales como el Sol incidente a lo largo del día las ventanas se abren en un muro con orientación hacia el ecuador.

La tierra es una esfera que gira alrededor del sol, la radiación solar desciende con la mayor incidencia posible en noventa grados sólo en la zona comprendida entre los trópicos, el lugar en que la radiación cae con un ángulo máximo va variando a lo largo del año, siendo la episodio de noventa grados en el trópico de cáncer el 21 de Junio, etapa en que es el solsticio de verano en el hemisferio Norte y máximo en el trópico de capricornio el 21 de Diciembre, en la época de verano en el hemisferio Sur, es por esto que existe un potencial enorme de captación de radiación solar que se consigue con una orientación de las ventanas hacia el ecuador.

Debido a que la radiación va cambiando corrido el año, se puede lograr efectividad con el empleo de aleros y otros dispositivos con lo que se alcanza un calentamiento selectivo del interior de la vivienda según sea la época del año. Durante la época de invierno, los rayos caen inclinados en relación a otras etapas del año, esto beneficia la captación de la energía solar a través de los muros y las ventanas verticales, por el contrario, en la época estival es cuando las temperaturas son altas, por tanto debiera evitarse el ingreso de la radiación solar al interior de la construcción, el angulo con que caen los rayos solares son de menor inclinación y la disposición de aleros o cornisas cumplen esta función de sombrear muros, ventanas y paramentos en épocas estivales refrescando al edificio.

II.2.2 **Envolventes térmicamente eficientes:** Con el fin de mantener la temperatura interior en los niveles de confort, la envolvente debe evitar las fugas térmicas impidiendo el intercambio térmico entre el interior y exterior, para esto los muros de la construcción deben de estar eficazmente aislados y evitar los puentes térmicos.

"inercia térmica. Se mide con base en la capacidad térmica (C), a partir de la cantidad de calor que puede almacenar un elemento por unidad de masa, al incrementar su temperatura un grado centígrado. Si es mayor, mejor: entre más inercia térmica tengan, más ayudan a aislar el edificio y a mantener una temperatura constante en el interior."[1]

Los muros con inercia térmica, hacen de receptores y contenedores de temperatura liberando el calor en la noche que ha sido acumulado durante el día producto de la radiación solar, cuando la temperatura del aire del interior desciende los muros comienzan a enfriarse lentamente liberando calor al interior del espacio este lo tempera durante la ausencia de radiación. A mayor grosor, espesor, mayor es su masa térmica, por tanto, mantendrá este equilibrio térmico en temperaturas en climas de extremos.

"Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica o, lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en $m^2.K/W$ (metro cuadrado y kelvin por vatio). Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica: λ es inferior a $\lambda<0,085$ kcal / $m^2.°C$ medido a 20 °C (obligatorio) ó 0,10 W/m^2K. La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica. Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos. Algunos, muy escasa, como los metales, por lo que se dice de ellos que son buenos conductores; los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros) tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos. Cuando se produce un "agujero" en el aislamiento, producido por un material muy conductor o un agujero físico, se habla de un puente térmico."[2]

Un puente térmico es una banda donde se transmite más fácilmente el calor, por ser de diferente material o espesor. Otros elementos envolventes son las denominadas paredes y suelos de alta inercia térmica, concepto que significa, capacidad física de un material para conservar su temperatura. La inercia térmica es importante para garantizar un ambiente climático confortable, equilibrando la temperatura acumulada durante el día, el calor que devolverá la noche para garantizar una temperatura media.

La transferencia de calor a través de los materiales, se puede realizar mediante los mecanismos de conducción, convección y radiación. El efecto conjunto de las tres formas de transferencia de calor, se expresa mediante el coeficiente global de pérdidas de cierre (K), que simboliza la cantidad de energía calorífica gastada por un cierre por segundo, por metro cuadrado de superficie y por cada

grado centígrado de diferencia entre la temperatura exterior y la interior, entre más pequeña, más aislamiento térmico. La masa de calor tiene la capacidad de acumular energía en forma de calor. Ésta puede ser liberada nuevamente al ambiente, cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales. Con esto se evitan las diversificaciones de temperatura dentro del piso.

II.2.3 Explotación del Recurso Natural de la luz Solar

El principio del ahorro está también relacionado con la reducción de las necesidades de luz artificial es por esto que el aporte de luz natural cobra relevancia para lograr este objetivo. La luz natural puede ser recibida de forma directa o reflejada de este modo la gradación de la luz en cada espacio de la vivienda se relaciona con la función de la actividad que se va a realizar. Las protecciones móviles de ventanas y vanos permiten reducir la luz en caso de sobrecalentamientos y la disposición de las aberturas de manera que se pueda captar la luz desde dos o más orientaciones diferentes son las decisiones que componen a la estrategia de iluminación.

II.2.4 Ventilación controlada:

La ventilación controlada maneja la renovación de aire de un recinto, es decir las características del aire con el que vamos a renovar los metros cúbicos de aire y la frecuencia en que lo vamos a realizar, esto es por ejemplo en invierno podemos ingresar aire caliente proveniente de un invernadero para calentar el recinto y en verano podemos extraer aire cercano al suelo de la fachada sur, de este modo estamos renovando con aire fresco que ayuda a disminuir el sobrecalentamiento. La forma más eficiente de renovar el aire de un recinto es por medio de la ventilación cruzada donde se permite el ingreso por la superficie inferior de un muro y se deja salir por el lado superior del muro opuesto, esta operación permite asegurar una renovación completa de los metros cúbicos de aire de un recinto.

II. 3. BIOCONSTRUCCION

II. 3. 1 Elementos de la Bioconstrucción:

La bioconstrucción recupera e innova de acuerdo a la ecología reincorporando antiguas formas de construcción. La bioconstrucción toma en cuenta a la hora de construir factores medioambientales, diseñando y construyendo viviendas más respetuosas con el medio y el ecosistema del entorno. Estas edificaciones son realizadas con materiales de bajo impacto ambiental, reciclados o altamente reciclables, o extraíbles mediante procesos sencillos.

Para esto es fundamental que el diseño tome como prioritario la elección de los materiales, los sistemas de gestión del agua y de los residuos. Los materiales empleados, deben ser naturales, no tóxicos, duraderos y reciclables.

En la construcción de viviendas tradicionales existen sustancias perjudiciales para la salud de quienes las habitan, estos elementos se encuentra en el cemento, el que puede contener peligrosos metales pesados, en las pinturas y barnices derivados del petróleo emanan venenos volátiles como son el xileno, las cetonas, el tolueno y en los materiales de PVC que incluyen elementos biocidas en su producción y combustión.

Los beneficios de la bioconstrucción es que los materiales ocupados tienen una menor energía involucrada en sus procesos producción, de este modo reducen el impacto ambiental antes de llegar a la obra. Mejora el bienestar de sus usuarios ya que percibe a toda construcción como un organismo vivo; nace, vive y muere planteándose en cada una de estas etapas. En relación con el usuario, al ser materiales orgánicos libres de tóxicos se piensa como la tercera piel, luego de la del cuerpo y la ropa como expresa Friedensreich Hundertwasser.

II.3.2. El Adobe

"El barro como material de construcción a perdido credibilidad debido al desconocimiento de sus amplias posibilidades, al prejuicio de ser considerado el "material de los pobres" y a que gran parte de las viviendas recientemente construidas en tierra colapsaron por el efecto de últimos sismos…es posible diseñar y construir estructuras simples empleando muros de tierra para obtener una resistencia máxima contra efectos de un sismo". (Minke. G., 2005, p. 5)

Existen varias formas de fabricar el adobe, estas pueden ser con el uso de moldes, unidades cortadas del suelo, con moldes y tierra muy húmeda o poco húmeda y por compactación, como el que se fabrica sin moldes, moldeados a mano. Éstos se pegan con mezcla de lodo y cal para formar una pared robusta y a la vez flexible.

"Una solución para estabilizar muros de barro contra los impactos horizontales del sismo es utilizar elementos verticales de madera o bambú dentro del muro, anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado… Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos, debido a que no se puede apisonar bien la tierra debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene una anclaje con la tierra se debilita la sección en estos puntos y pueden aparecer quiebres horizontales durante el sismo". (Minke. G., 2005, p. 19).

II.3. 3. Quincha Adobe

La **Quincha**, esta palabra que significa cerramiento, pared o muro tiene su origen del quechua. Este tipo de construcción es típico del sector sur del continente americano. Es una construcción que tiene la forma de un entramado de bambú, paja, cáñamo, que a su vez es recubierta con barro. Las características positivas de este tipo de construcción es que son antisísmicas, ya que el entramado absorbe la vibraciones, con lo que se evita estas se irradien a lo largo de la estructura. Lo liviano de este tipo de edificación es que se evitan derrumbes de mayor envergadura y peso. Por otro lado tiene la característica de ser altamente aislante térmico, esto porque el barro le proporciona una buena inercia térmica.

El sistema constructivo definido por el estudio para realizar los modelos es una variación de la quincha, se ha definido como estructura de pies derechos diagonales vigas y entramado de tabiques, madera de pino de diferentes secciones que constituyen las estructura del muro, posteriormente a esto se ha rellenado o encofrado con barro el interior del tabique y posteriormente a esto se ha revocado con barro cubriendo toda la superficie del muro. El anterior sistema constructivo rescata las características antisísmicas de la quincha tradicional y engrosa los muros con el relleno interior de los tabiques rescatando también sus cualidades térmicas a la vez que entrega más resistencia y mayor tolerancia al sismo.

Dentro de las ventajas se pueden mencionar las siguientes: es de simple ejecución y de muy bajo costo. Además posee características de acumulación térmica y por ser de baja conductividad conserva uniformemente las temperaturas. Ya que es un producto totalmente manual, no requiere del uso de maquinarias que utilicen energía eléctrica, ni productos químicos, solo ocupa materiales naturales. Es un material totalmente reciclable, y biodegradables, tanto en la construcción como en la demolición. No requiere de ser transportado ya que su materia prima está en el mismo lugar, evitándose con esto costos y uso de maquinarias pesadas.

II.4 Ahorro de Agua.

El criterio de sustentabilidad del agua toma como principio el estudio de este recurso natural tomando en cuenta la captación de aguas lluvias, la reutilización de aguas grises, la depuración biológica y la gestión eficiente de ahorro y consumo.

Tratamiento de aguas grises son sistemas de purificación y distribución de las aguas. Las aguas grises son las generadas del lavado, de baño, lavamanos, menos escusado, ducha y hasta de la lavadora, constituye entre el 60% y 80 % del agua utilizada en el hogar. Primordialmente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables
Estas aguas pueden ser recicladas hasta ser utilizadas en el riego de jardines y hortalizas, huertos, árboles frutales ya que son un principio activo de gran valor como abonos.

A través de un proceso de purificación por humedales, se consigue reutilizarlas para usos de la casa en los que no se requiere de agua potable. Su uso también abarca acciones de limpieza, el riego del jardín o el estanque del escusado, que es un gran desperdiciador del agua potable. Este sistema de reciclaje requiere de la disposición de más de un circuito hidráulico en la casa con el fin de separar el agua potable, el agua reciclable y el agua reciclada. Este sistema debe ser instalado durante la construcción, previniendo así el tener que generar cambios estructurales una vez construida ya que es un sistema bastante complejo en términos de operación y requiere tener la cautela de visionar posibles dificultades.

II.4.1 Humedales

El término específicamente refiere a que se puede tratar mediante Humedales, es decir, este sistema consiste en el uso de pozas o estanques preparados a modo de un gran filtro con el fin de reciclar usando las aguas residuales grises. Este sistema trabaja de igual modo que el anterior en el sentido que pasa por distintos estanques de purificación, este sistema la limpieza se logra mediante el uso de plantas.

"Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto. El tratamiento es sencillo si contamos con el espacio verde suficiente, aprovechando la capacidad de oxigenación y asimilación de las plantas del jardín o el huerto mediante un sistema de drenaje de enramado".[3]

II.4.1 **a) Baño Seco:**

El término baño seco tiene esta acepción ya que no se utiliza agua para la evacuación de orina y excrementos. El sistema del baño seco ha ido ganando terreno gracias a la visión de la eco-construcción que lo ha incorporado como parte de la totalidad del proyecto que respeta la ecología y promueve la sustentabilidad, es por esto que su aplicación ha crecido mucho durante los últimos años. Los equipos modernos de baño seco se diferencian de los antiguos, porque el excremento no va directamente al suelo ya que esto generaba la producción de malos olores. Existen una variedad de baños secos con formas y diseños diferentes. Algunos de ellos son los llamados baños secos composteros y también los denominados parcialmente composteros, eléctricos o con separador de orina.

El baño seco es un sistema de baño ecológico que tiene las propiedades de evitar el gasto de agua ya que no la usa en su funcionamiento. Se debe aclarar que es tremendo el contraste entre este tipo de baño y el tradicional ya que este último ocupa alrededor de trece litros por descarga. En cambio, el baño seco no requiere de agua para su funcionamiento, no contamina, ni favorece la existencia de insectos, moscas ni malos olores. Otra característica importante es que es muy bajo el costo que requiere para ser emplazado, es fácil de instalar y tiene las condiciones de adaptarse a cualquier ambiente. Dentro de la característica de este artefacto es que se encuentra hoy en día en el marcado con una amplia variedad, desde uno sencillo hasta uno lujoso. Es un baño higiénico. En su estrcutura posee un sistema circular o también denominado cíclico, ya que de éste se puede obtener de sus deshechos un compostaje que se convierte en un buen abono para los árboles y los jardines. El baño en sí mismo es un recipiente que tiene la característica de ser intercambiable. Por un lado, recibe los desechos sólidos y por otro, mediante un separador de los orines, estos caen a otro recipiente para los líquidos. Lo sólido evacuado es tapado con material orgánico como hojas secas, aserrín, estos materiales se almacenan en el mismo lugar donde se encuentra el baño. Este tipo de baños comúnmente es aprovechado por personas que tienen huertas, con este material de desecho se puede fabricar el composta para huertas o granjas

[3] http://www.mailxmail.com/curso-contaminacion-agua-riesgo-ecologico-economico-social/tratamiento-aguas-nivel-domiciliario

orgánicas. En el caso del baño seco, la fermentación es aeróbica, a esto se refiere que ocupa oxígeno ya que los desechos sólidos se convierten en tierra.

En vez de tirar la descarga de agua se pone aserrín y además el papel higiénico, el que se convertirá en tierra aserrín sobre las fecas. En el lado del receptor de orina se ocupa muy poco de agua solo para limpiar y evitar olores. Cuando se llena el recipiente donde han caído los sólidos con el aserrín, este se deja ventilando hasta que alrededor de seis meses se obtiene fertilizante. Cabe destacar que no se pueden votar otros elementos que no sean orgánicos, ya que este tipo de sistema no es un basurero como lo suelen ser los baños tradicionales donde algunos usuarios dejan caer materiales inorgánicos.

II.4.1 b) El uso de la orina

La orina como tal tiene mayores propiedades nutritivas que las heces ya que cuenta con gran cantidad de oligoelementos equilibrados, en el fondo, es un fertilizante nutritivo que se puede utilizar de forma directa por las plantas. La orina cuenta con la propiedad que de ser mayoritariamente estéril, por lo que puede usarse sin necesidad de ningún tratamiento anterior, por esto se puede recoger de manera separada y ser usada como fertilizante para las plantas en el jardín.

II.4.2 ESTRUCTURAS GEODÉSICAS

Un domo o una cúpula geodésica, Es una estructura espacial reticulada compuesta por barras y nudos que unidos entre sí forman un tejido sinérgico extremadamente resistente y liviano. Con estos elementos por lo general se montan entramados mono capas y cuando las dimensiones de diseño son muy grandes (más de 80 mts. de diámetro) se usan dos mallas o capas paralelas externas y una malla interna conectiva.

Las cúpulas o domos geodésicos se estructuran a partir de un poliedro denominado icosaedro, que está constituido por 20 triángulos equiláteros. Proyectando las aristas de estos triángulos planos a una superficie esférica originamos triángulos equiláteros curvados. A partir de aquí, dependiendo del tamaño y el uso, se efectúa una nueva subdivisión de estos triángulos equiláteros curvados en una nueva retícula de triángulos más pequeños, lo que origina la denominada frecuencia de la que estará compuesta el domo o cúpula geodésica. Cuanta más alta la frecuencia, más barras y nudos intervienen en su composición, y más esférico o curvado resultara.

La estabilidad optima de una cúpula o domo se alcanza con una red esférica completamente cerrada y con apoyos simétricos en toda su base o ecuador. Aberturas en la misma perjudican la estabilidad de la misma, como así también las cargas del viento originan fuerzas adicionales considerables y requieren una construcción especial del nudo de apoyo. La principal ventaja de un domo o cúpula geodésica es su relación peso-resistencia-volumen. La esfera es la forma geométrica que más volumen contiene en relación a su área. La liviandad de sus

componentes unidos formando grandes placas laminares sinérgicas dan una extraordinaria resistencia en relación a los relativamente pocos componentes que lo conforman. La facilidad de ensamble de sus partes es otra ventaja muy importante, ya que permite que una amplia red social pueda construir con prácticamente ningún conocimiento o poca dirección de obra, instalaciones para una gran variedad de usos.

II. 4.3. Habitáculos Esféricos

Como se mencionó en párrafos anteriores, se puede afirmar la relevancia del círculo como forma en la bioconstrucción, la construcción de la esfera encierra el maximo volumen en un área determinada, esta condición del volumen por un lado ahorra en material de construcción y por otro minimiza la superficie de contacto con el exterior, disminuyendo la trasmitancia térmica y haciendo el habitáculo mas eficiente.
En términos constructivos la estructura geodésica es una forma de llevar a cabo este volumen por medio de un icosaedro truncado, constituido por hexágonos y pentágonos. A partir de este poliedro, se ejecuta una división de cada hexágono en seis triángulos iguales, enseguida de cada pentágono en cinco triángulos. En construcción a estas medidas de acción se le denomina triangular una superficie.
Las garantías o ventajas de diseño y construcción de la estructura esférica están bien fundamentadas ya que como decíamos previamente presenta comparativamente la menor superficie de cobertura para un área dada, con esto se reduce el área expuesta a transferencia de calor interior y exterior, por lo que requiere bajos espesores de aislación para conseguir una alta eficiencia energética. Hablando de una eficiencia lograda tanto para calefacción como para ventilación por su forma esférica.

Los domos en su circulación natural del aire, por su estructura y condiciones de diseño se pueden aprovechar al máximo el aire caliente para la calefacción del segundo piso, con esto se reduce notablemente el consumo de energía. A estas condiciones favorables de sustentabilidad y eficiencia, se agrega que la forma interior del domo hace que se produzcan flujos de aire caliente, pero también frío que pueden emplearse para el control adecuado de la temperatura interna. De esta manera actúa como un reflector de amplias proporciones hacia abajo, que irradia y concentra el calor en el interior. Estas condiciones permiten prevenir la perdida radial del calor y los hace muy resistentes a las inclemencias de los cambios atmosféricos y variedades de un extremo a otro de temperaturas dadas las temporadas, esta es una buena razón por lo que el domo cumple con los mejores requisitos para todo tipo de climas, de hecho se están usando predominantemente en las construcciones para los polos.

II.4.4. “Free Spirit Spheres”

“Mínimo impacto. Estas casas se llaman **“Free Spirit Spheres”** y han sido creadas por el diseñador Tom Chudleigh con el objetivo de coexistir con el bosque afectándolo lo menos posible. Las esferas tienen el tamaño de una habitación. La elección de la esfera como forma permite a la vivienda influir lo menos posible en el bosque circundante, la lluvia discurre por su superficie y vuelve a caer al bosque, el impacto sobre la iluminación inferior es el mínimo así como la modificación de las corrientes de aire.” [4]

Externamente la forma esférica es muy apropiada a la vida en el bosque. Ya que en el lugar existe el peligro que un viento, una tormenta, o nieve caiga sobre la casa árbol, la forma esférica es muy óptima para estas condiciones de contexto. Toda la estructura, incluidas las escaleras de caracol y los puentes colgantes se cuelgan de cuerdas. Los árboles están protegidos de los cables o cuerdas que pasan alrededor de ellos formando las uniones con las escaleras de caracol. Las esferas van en armonía con la vida en un bosque maduro.

“Eva es hecha de tiras de cedro y fue nuestra esfera a mano primero. Eva es de 9 pies de diámetro (2800 mm) y tiene 2 - 4 'de diámetro ventanas. Tiene un cómodo edredón cubre cama individual, un sofá para sentarse, armarios y espacio en el mostrador”

Una esfera puede trasladarse con facilidad dentro del bosque por medio de cuerdas y aparejos. Aunque trepar a los árboles es lo más complicado del traslado, pero generalmente se hace entre varias personas, de hecho, se necesita alrededor de tres hombres al día para obtener el resultado del cambio e instalación y generalmente se requieren varios días más para establecer la escalera y puentes colgantes. El conjunto de configuración se reduce en un día y desaparece sin dejar rastro.

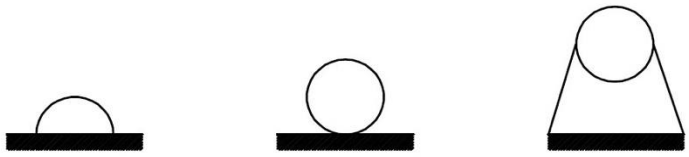
[4] http://www.urbanarbolismo.es/blog/?p=90

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO EJECUTADO

A continuación se presenta el proyecto que comprendió la construcción de tres refugios unipersonales, proyecto que en sus fases, para diferenciarlos se han denominado PI P2 P3.



III.1. PROYECTO "ESFERA"

El estudio contempla el proyecto de tres modelos de refugio unipersonal, estos se han sintetizado formalmente en tres fases del ascenso de una **esfera**, desde el apoyo en el terreno en su ecuador formando una cúpula, luego el apoyo en el terreno en su base mostrando el volumen entero y finalmente fundando en palafitos dejando un espacio entre el terreno y la esfera. La experimentación formal de esta operación arquitectónica del emerger de este cuerpo, entrega diferentes respuestas a diferentes requerimientos de cada modelo y un sin fin de variables en términos de la forma como vivir el espacio.

La selección de la esfera como volumen de experimentación espacial se debe a las ventajas que presenta esta forma en términos de seguridad, economía, eficiencia energética.

Los domos son la **construcción asísmica** por excelencia, por singular forma resisten fácilmente terremotos y huracanes. La fuerza inherente de los muros y techo de junto a la superficie de doble curvatura del domo, lo hacen una estructura muy estable. Desde el punto de vista estructural una cúpula delgada puede considerarse un elemento bidimensional de doble curvatura con simetría radial, respecto al centro de la esfera inscripta. Los esfuerzos predominantes son de tracción en el sentido de los paralelos y de compresión en el sentido de los meridianos. Estructuralmente sus ecuaciones de equilibrio corresponden a una lámina de revolución. En las cúpulas de sección circular y de pared delgada se producen esfuerzos de flexión porque la circunferencia se aleja de la forma óptima de catenaria, cayendo la resultante fuera del tercio medio de la sección, pero éste alejamiento está generalmente por encima de la catenaria, lo cual permite anular

ésta flexión con anillos horizontales en forma de paralelos trabajando a la tracción y permitiendo así ajustar el polígono funicular de fuerzas a la forma circular requerida. Las superficies de doble curvatura, -Elipsoide, Paraboloide e Hiperboloide- entre ellas la esfera, son las que representan la mayor resistencia con el menor espesor. Es por eso que los domos resultan ser las estructuras más resistentes que se pueden construir, debido a que toda la estructura trabaja como un solo elemento solidario.

Menores costos iniciales: bajo ciertas condiciones, los domos pueden costar significativamente menos, comparado con la construcción tradicional. Los domos son una económica forma de almacenaje, ya que tienen la habilidad y fortaleza de contener un gran volumen de materiales."[5]

La inherencia de la masa termal de los domos, así como la resistencia a la penetración del calor del aislamiento pasivo, produce ahorros de energía de hasta un 50% comparado con la construcción de albañilería tradicional. De todos los sólidos con una misma área superficial, la esfera es la que encierra el mayor volumen. Por ejemplo: "Un CUBO de lado de 2,40m. tiene un área envolvente de 34,56 m2 y un Volumen de 13,82 m3. Una ESFERA de radio de 1,65m. tiene un área envolvente también 34,56 m2, pero un volumen:19.10 m3. Esto representa 38% mas. Esta propiedad hace que el domo tenga la menor superficie envolvente para una misma superficie construida, lo cual equivale a tener menos superficie de contacto con el exterior, por lo tanto menos superficie de transferencia térmica, lo que explica la gran eficiencia energética y térmica del domo."

Dos son las características de estas superficies mínimas que las hacen ideales para la construcción de cubiertas arquitectónicas: en primer lugar, es evidente que al ser mínima la superficie también lo es su peso, lo que permite desarrollos de gran ligereza. En segundo lugar, la tensión superficial en estas formas está completamente equilibrada, lo que dota a las construcciones de gran estabilidad.

Al estar los tres módulos confinados al interior de la esfera, que como decíamos en el párrafo anterior es la forma mas eficiente de usar una superficie, al mismo tiempo esta condición comprime el espacio y lo reduce a su mínima expresión demarcando y limitando el espacio interior, por esta razón que como requisito a los módulos deben tener un espacio exterior directamente relacionado con cualquier habitación de la esfera y que estuviera configurado como parte del proyecto. La posibilidad de acceder a un exterior inmediatamente después de la bóveda entrega al habitante un contraste entre el cobijo de las estructuras y la expansión del exterior, de un comprimido a dilatado evitando la sensación de estar confinado.

El segundo requisito que se estableció para los módulos fue mantener una doble acceso o salida, es decir configurar el acceso principal y a la vez dejar una salida de servicio o alternativa

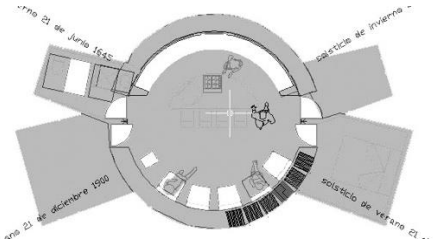
[5] http://www.sudysign.cl/ventajas-de-construir-domos.php

III. 2. Proyecto P1

P1

El proyecto se emplaza en las faldas del cerro el roble dentro de la reserva nacional el roble, a 1275 metros al nivel del mar en la cordillera de la costa quinta región.

III.2.1. DESCRIPCION PROGRAMATICA P1



El refugio está planteado con un espacio central que contiene el comedor estar y cocina, y dos brazos que contienen un dormitorio y un baño. Los metros cuadrados finales son **43.60 m2** lo que lo hace una vivienda funcionalmente muy eficiente por la cantidad de **programa** que contiene en proporción a los metros cuadrados finales. Esto debido a la forma circular de su planta que proporciona una optimización de la superficie evitando rincones y esquinas que no tienen una función específica en el general de las plantas rectangulares.

La planta circular está dividida en su diámetro por la **primera circulación** determinada por el vínculo entre el acceso y la conexión con el dormitorio y el baño. Esta disposición divide el interior de la planta circular en dos permitiendo diferenciar el área de estar y la cocina comedor. El espacio utilizado para el uso del comedor aprovecha el área de esta circulación entregando una eficiencia en el uso de la superficie de la planta, el estudio detallado de la antropometría de esta operación permite que la superficie actúe multifuncionalmente entregando la máxima eficiencia en la mínima superficie.

La **segunda circulación** está dispuesta de forma perimetral por la parte superior de la mesa central que funciona como comedor cocina, esta permite el acceso y la circulación a través de la cocina que se encuentra dividida entre un mueble perimetral que funciona como mesón de trabajo y recibe al lavaplatos, este mueble se considera inserto en el espesor del muro exterior por lo que no ocupa superficie interior, al igual que los closet que usan el espesor del muro del estar. La mesa del comedor recoge la cocina y el balón de gas que queda escondido abajo junto a un pequeño refrigerador.

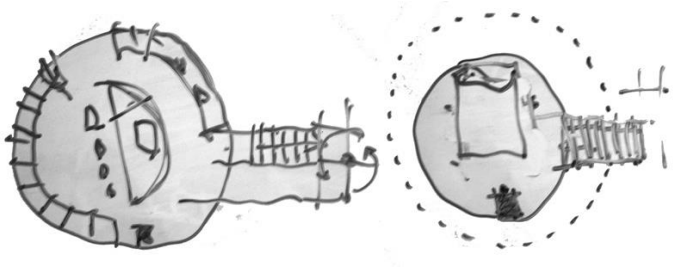
De la planta circular se desprenden dos brazos de forma radial, estos abren paso al dormitorio y al baño, formalmente estos volúmenes funcionan juntos entregando la lectura de un solo volumen unitario que atraviesa la planta circular por la mitad. El

dormitorio tiene dimensiones convencionales 3m x 3m y esta solucionado de forma rectangular angulado, contemplando una cama matrimonial. El baño contempla dos escusados requisito del baño seco un lavamanos y una ducha incorporada al suelo del recinto que cuando no esta en uso funciona como circulación al exterior.

III.3. Proyecto P2 **P 2**

El proyecto se emplaza en la zona de la vega a 750 metros del nivel del mar, esta zona es quebrada Alvarado ubicada en la cordillera de la costa en la ladera poniente.

III.3.1. DESCRIPCION PROGRAMATICA P2



El refugio está planteado en dos pisos, ocupando las **dos plantas** que se pueden habitar de una esfera de diámetro 6 metros, la primera planta ocupa el ecuador de la esfera con **28.22** m2 y la segunda la parte inferior con **17.33m2**, la planta superior presenta una mayor superficie que la primera, debido a que la mayor área posible en la superficie que deja el corte de una esfera por un plano, es haciéndolo pasar el plano por el punto medio de la esfera su ecuador, a medida que alejamos el corte de este punto medio el área que presenta la superficie que deja el plano disminuye por efecto de la curvatura y la menor distancia a la periferia de la esfera. Dos brazos dan termino a los volúmenes que conforman el refugio entregando 7.3 m2 mas lo que da un total de **52.85m2** totales del modulo

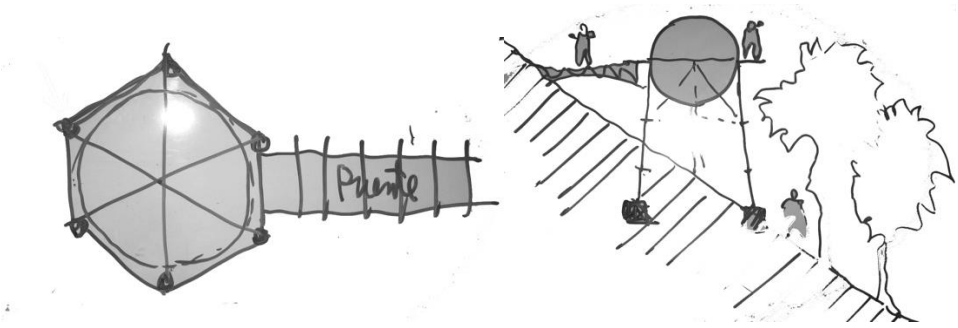
El terreno presenta una pendiente pronunciada la que es aprovechada por el modulo para conformar un acceso por el segundo piso. De este modo desde una primera mirada desde arriba de la pendiente donde se accede al terreno y esta la calle, se observa solo la media esfera teniendo una lectura del volumen como un domo simple.

El **segundo piso** recibe el comedor estar y cocina, con la misma estrategias de circulación que el primer caso, dos circulaciones una diametral y la otra perimétrica entregan las directrices para ordenar el espacio bajo las exigencias del programa y las exigencias de la geometría circular. las circulaciones construyen un sistema de recorrido en sí mismas y entregan acceso y salida en sus dos extremos, al oriente conectan con el hall de acceso espacio que recoge una pequeña superficie de entrada y el vacío de la caja de escala que conecta con la primera planta. En el otro extremo, al poniente se encuentra el balcón que entrega un espacio exterior techado con la vista al paisaje y la pendiente.

El acceso se conecta al segundo piso con un desnivel que está resuelto por dos peldaños con el fin de diferenciarlo ambos espacios sin desconectarlos espacialmente, continuando el descenso desde el segundo piso llegamos al descanso de la escalera donde está la conexión con el baño a una media altura, esta solución se entrego con el fin de resolver la altura necesaria para dar cabida a los hornos solares por debajo del baño que exige la técnica del baño seco.

El **primer piso** se encuentra el dormitorio que además de la cama y closets considera un escritorio que sigue la forma que entrega el perímetro de la parte inferior de la esfera, el espacio está formado por paredes cóncavas que se angosta hacia el piso y de agranda hacia el cielo en forma circular dando a entender claramente que se está en la parte inferior de la esfera. La superficie está dividida diametralmente por la circulación la que define dos lados la cama y el escritorio, en el extremo oriente conecta con la escalera y al extremo poniente con una puerta que da a una terraza a nivel de suelo el que entrega el espacio exterior del primer piso, de esta forma la circulación central del espacio entrega el funcionamiento y ordena el programa de la habitación.

III. 4. Proyecto P3 **DESCRIPCION PROGRAMATICA P3**



El refugio está planteado en tres pisos, ocupando las **dos plantas** que se pueden habitar de una esfera de diámetro **5.54** metros, la primera planta ocupa el ecuador de la esfera con **24.13** m2 y la segunda la parte inferior con **13.9m2**. Un volumen que emerge de la segunda planta da termino a al modulo con una superficie de **4.2 m2** entregando una superficie total al refugio de **42.23 m2**

El terreno presenta una pendiente sur, y un lugar muy emboscado, el entorno es de árboles nativos, quillayes, robles, litres, maitenes, en general árboles añosos los que no se quieren tocar por ser uno de los recursos paisajísticos del lugar que se quieren conservar ya que además de entregarle un carácter naturaleza virgen al lugar, proyectar el habitáculo entre ellos fue considerado como una ventaja y lograr ubicar al modulo es parte del empoderamiento que desarrollara el proyecto con respecto a su ubicación y contexto inmediato.

Lo anterior es una de las motivaciones para **elevar la esfera** hasta lograr un tercer piso, logrando emerger desde la copa de los árboles y alcanzar la vista y el sol. Esta operación libera la primera planta a nivel de suelo, configurando un espacio exterior sombreado y cobijado por la construcción que permite una terraza a nivel de los troncos de los árboles, fresco y ventilado. A continuación un segundo piso que responde a la lógica del follaje, emboscado a media altura tiene una vista media protegido del viento pero con una sensación de altura de separación del suelo de levedad. Y finalmente un tercer piso que sobresale de la copa de los árboles para mostrarse y funcionar como mirador, expuesto al sol y con una vista al paisaje en 360.

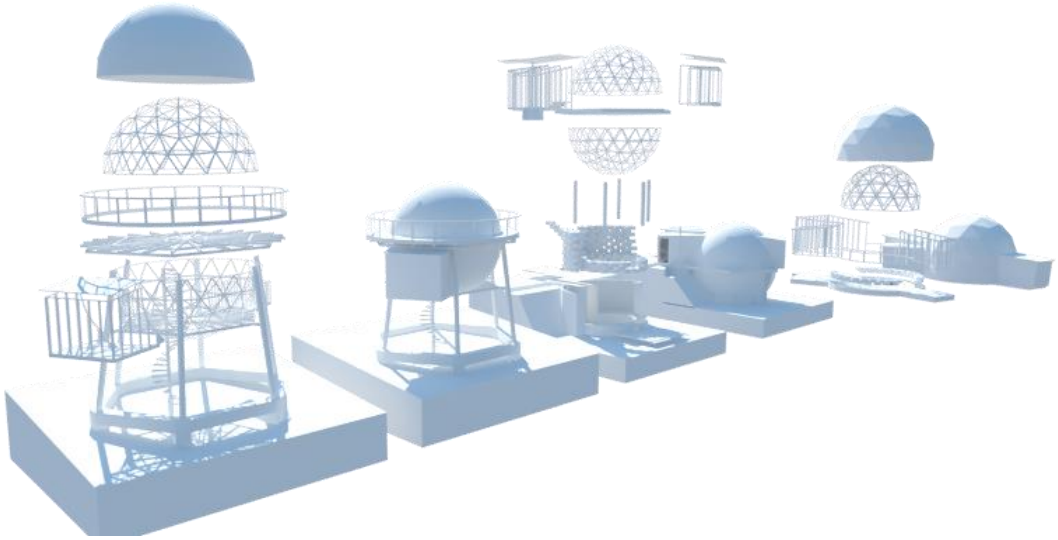
El proyecto contempla **dos accesos** desde el terreno al palafito, el primero es un puente colgante que tomando la cota superior de la pendiente y sin cambiar de nivel de forma horizontal conecta con el tercer piso directamente, entregando un acceso inmediato y sin escalas a esta planta que contiene el estar comedor cocina, zona principal y más publica de la esfera. El **segundo acceso** es una escalera caracol que configura la circulación vertical entre los tres pisos, comenzando desde el nivel de suelo desde la terraza inferior en un acenso giratorio de 270 grados llega al segundo piso, donde se encuentra con la puerta de acceso, esta operación permite que la esfera tope sutilmente el suelo solo con el eje de la escalera, dejándola limpia y expuesta sin un volumen de envolvente que endurezca el contacto del refugio con el terreno. Una vez en el segundo piso y abierta la puerta de acceso la escalera de caracol deja 90 grados libre para acceder al segundo piso y luego continua su ascenso al tercer pido en una curva final de 270 grados.

El tercer piso se pensó como el área principal del modulo, con mayor superficie contiene el comedor estar cocina, con una variación en la disposición de los muebles con respecto a los módulos anteriores por efecto de la intervención de la superficie por parte de la escalera caracol, en esta ocasión se priorizo el espacio libre y los muebles fueron reducidos y se separaron la cocina y el comedor, entregando mayor espacio libre. El área interior de este recinto está dividida por dos circulaciones la primera construida por el recorrido entre los diferentes actos recogidos en los muebles del programa, y la otra por la conexión entre la llegada de la escalera y la puerta que da hacia el exterior. El ecuador de la esfera contempla un balcón continuo y periférico en el total del contorno exterior, este funciona como mirador y plantea un tercer recorrido circular y exterior que amplía las posibilidades de movimiento a este nivel.

El **segundo piso** está compuesto por el área de dormitorio y el escritorio la planta circular y de paredes cóncavas amplían su perímetro desde el suelo hacia el cielo, permitiendo la ubicación de un camarote en forma de escalera y el escritorio que sigue la curva de forma perimetral del muro en el que esta adosado, el espacio está dividido en dos circulaciones principales, la primera que se presenta en forma diametral y conecta al oriente con el balcón espacio exterior correspondiente a esta área del modulo, y al poniente con el baño y el acceso del modulo. Y la otra circulación que crea la escalera de forma vertical y que es la conexión hacia abajo con la puerta de acceso y hacia arriba con el tercer piso.

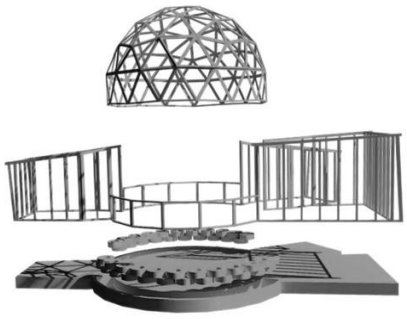
El único volumen que emerge de la geometría de la esfera y que tiene una relación geométrica con el balcón es **el baño** que se conecta en la parte inferior del ecuador del modulo, este contempla el wc, lavamanos y ducha.

III.5. MATERIALIDAD Y ESTRUCTURA.



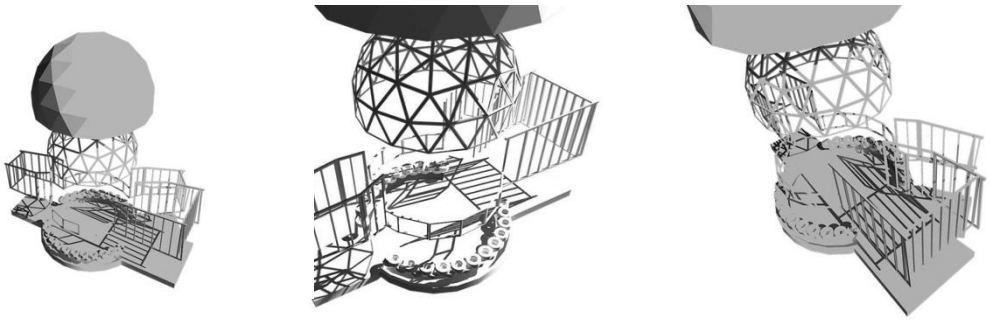
Los tres modelos están construidos en base a técnicas constructivas de bioconstrucción con materiales extraídos del entorno inmediato o de la recopilación de elementos reciclados. Los materiales locales utilizados son madera, adobe, fardos de trigo, caña o bambú, piedras bolones y de cantería y los materiales reciclados como neumáticos, botellas, fierros de desecho industrial, tarros, tubos etc. Los volúmenes se construyen a partir de la estructura de domos geodésicos de distintas frecuencias según los requerimientos de cada proyecto. En la imagen superior las tres esferas con sus respectivas imágenes de la descomposición de los elementos constructivos.

PROYECTO 1



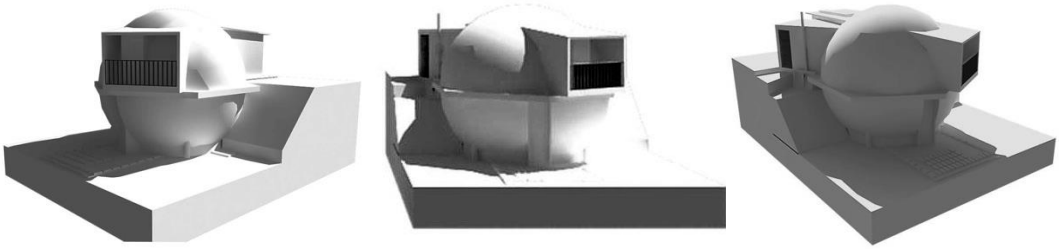
El primero es la media esfera (domo) esta tiene una estructura de madera de 1”x 4” la que conforma el espesor de los muros, el terciado estructural de 18 mm se puso

como cielo interior, sobre eso y ocupando todo la madera de 4” se coloco adobe, luego de esto un revoque de 1” de barro, luego malla hexagonal estuco de cemento y membrana elastoceica impermeable. A la izquierda la forma del recinto copular central con sus brazos que emergen del volumen esférico, a la derecha el detalle la descomposición de los elementos constructivos.

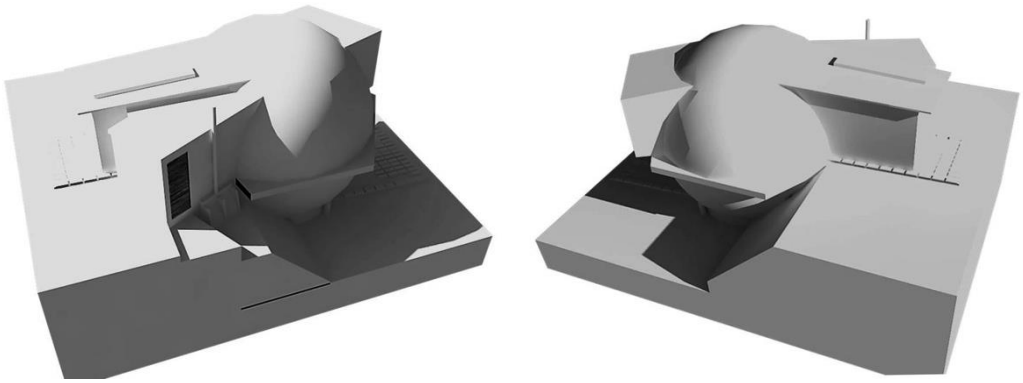


los cimientos son en base a neumáticos rellenos con tierra y compactados a combo, luego un anillo de sobrecimiento que estabiliza las cargas horizontales del ecuador del domo. Los brazos en quincha de barro de espesor 4” son construidos a partir de el encofrado del barro en el tabique por medio de bambú, dejando este elemento como parte de la terminación del revoque final. La ventana principal esta orientada hacia el norte procurando una buena captación de radiación solar.

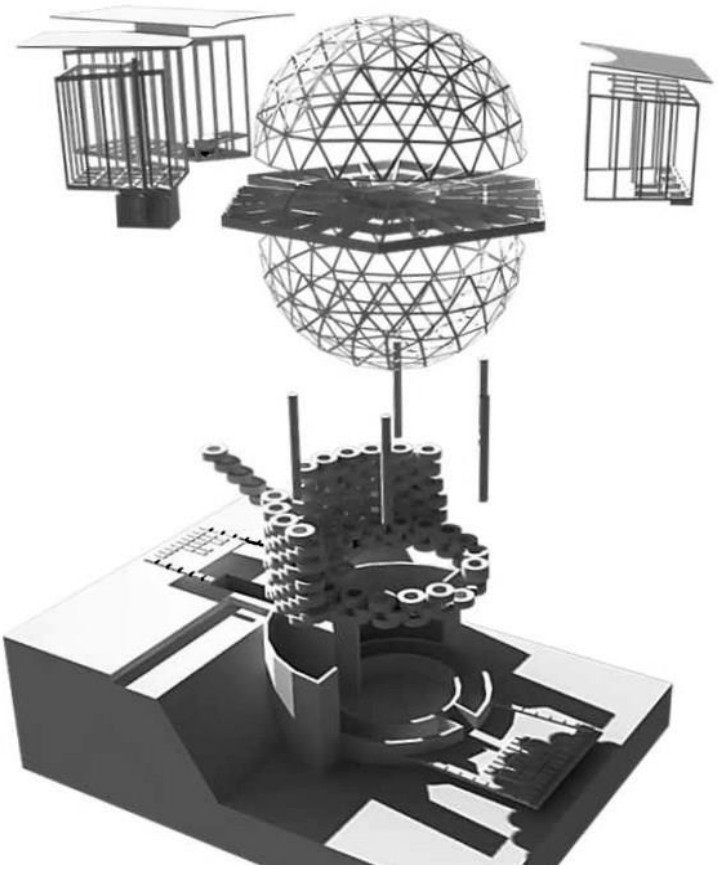
PROYECTO 2



El segundo proyecto es la esfera sobre la tierra, El domo central se especifica a partir de estructura en madera, el interior o cielo interno se especifica plancha de terciado dejando el espesor de 4" de la estructura de madera libre mostrando las nervaduras de la estructura por el interior. por fuera se disponen fardos de trigo con un espesor de 50 centímetros de forma y posición similar a una albañilería convencional.



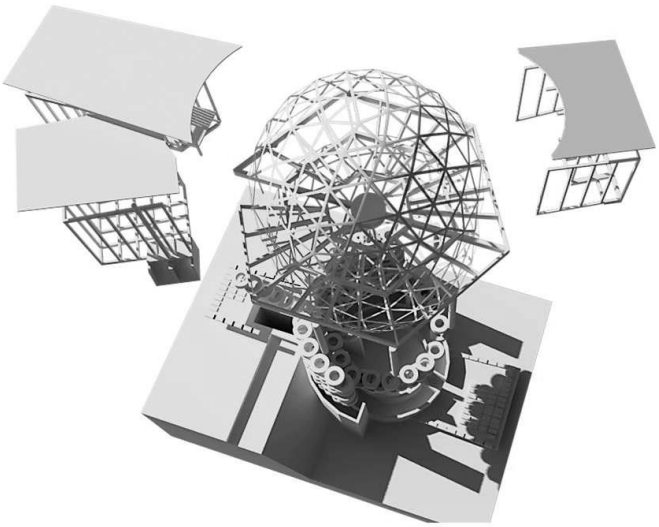
La cantería entre fardos se especifica en barro, luego de esto se dispone un revoque de barro a toda la superficie, se cubre con malla hexagonal, se estuca toda la superficie con cemento y finalmente se cubre con una membrana elastoseica.

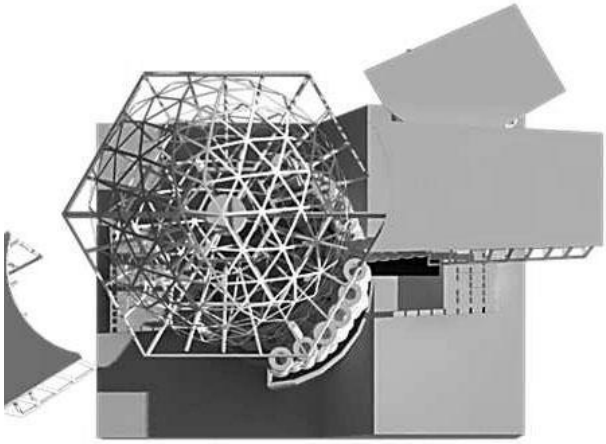


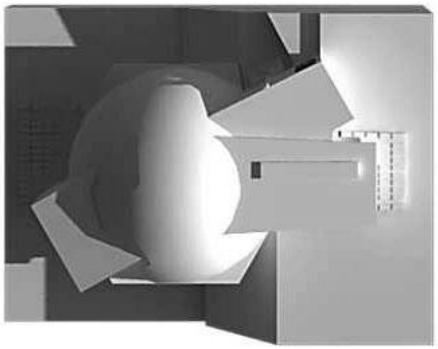
Los cimientos como el muro de contención que retiene el terreno en pendiente son de neumáticos rellenos de tierra y compactados a combo, estos se disponen en forma de una albañilería convencional y son cruzados con espárragos de 10 y de 8. Seis postes de madera sostienen la plataforma de piso del segundo nivel.

En cuanto a los brazos, es decir al acceso al baño y a la escalera, se especifica una tabiquería de 4” de espesor, cubierta con bambú de media pulgada por lado para conformar la quincha, luego de esto se rellena el tabique con adobe los 4”, luego de esto entre los bambús que quedan a la vista se le da un revoque de barro de ¼ de pulgada al interior y al exterior el mismo revoque pero se le agrega cal y tuna para impermeabilizar.

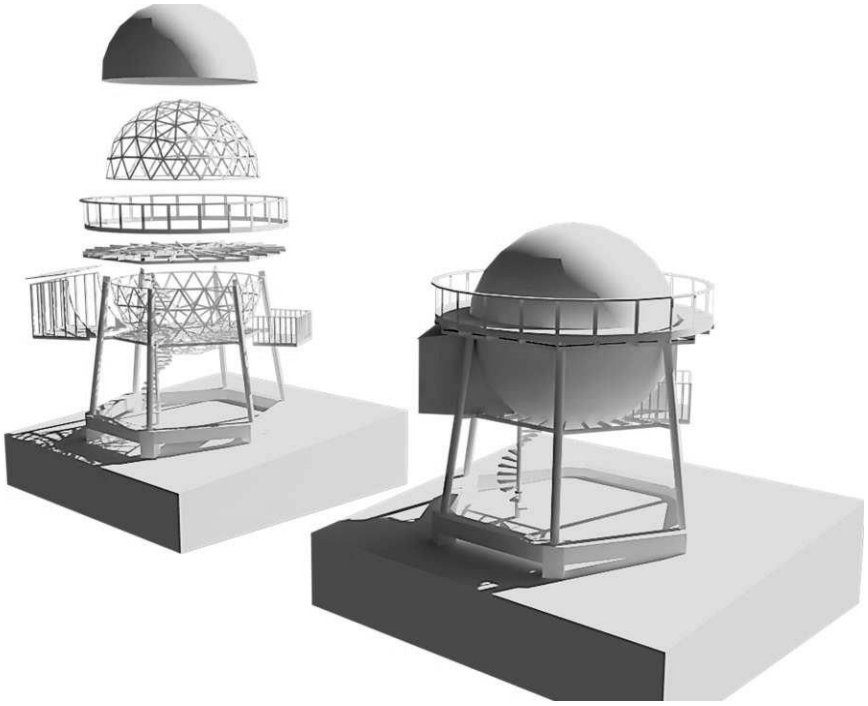
El primer piso tiene como piso un estabilizado, gravilla, radier y luego piso de madera. En el segundo piso es un envigado de piso y luego machihembrado de 1”. En el frente este domo tiene el ventanal principal que da al norte y que hace funcionar al domo como un gran horno solar.







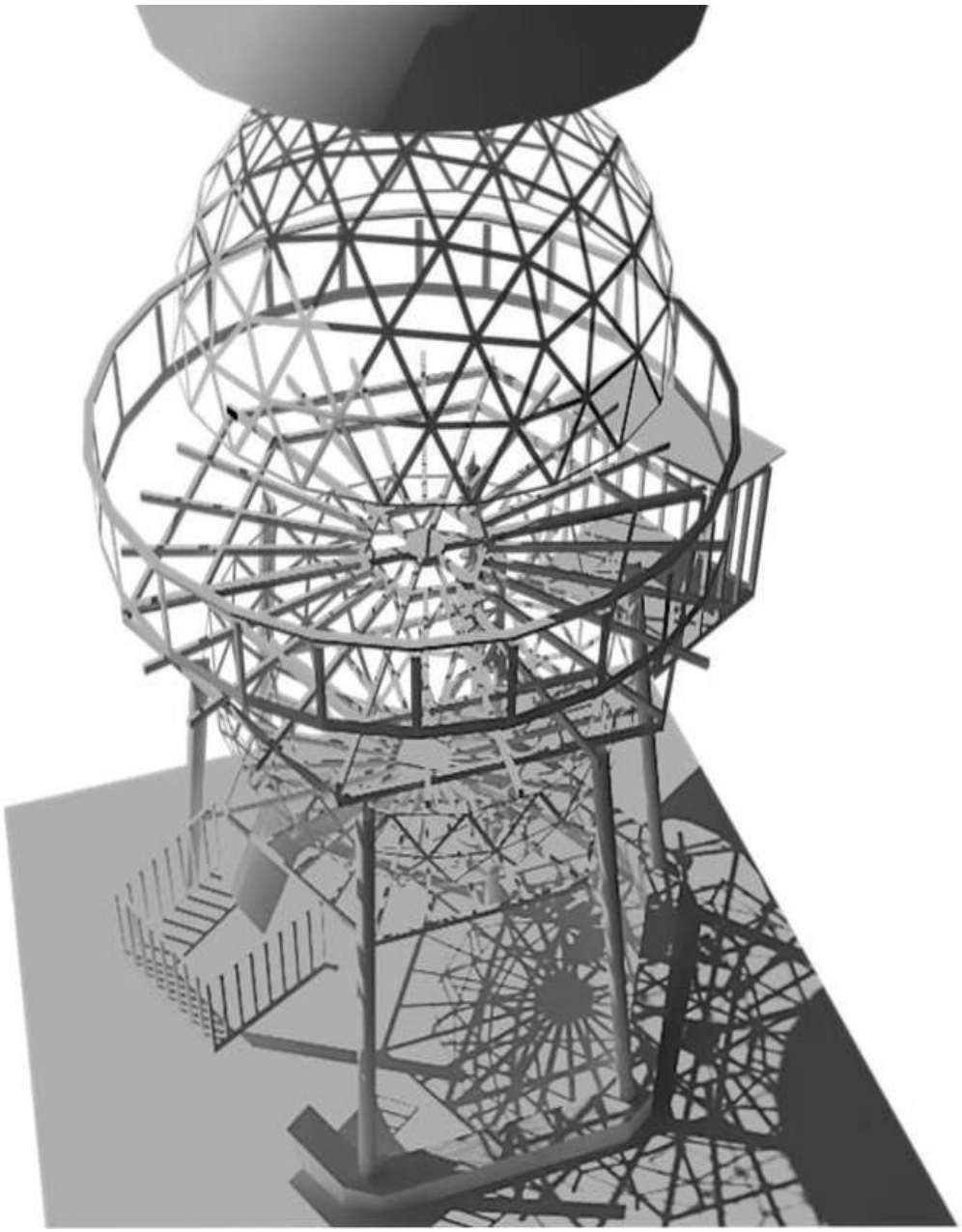
PROYECTO 3



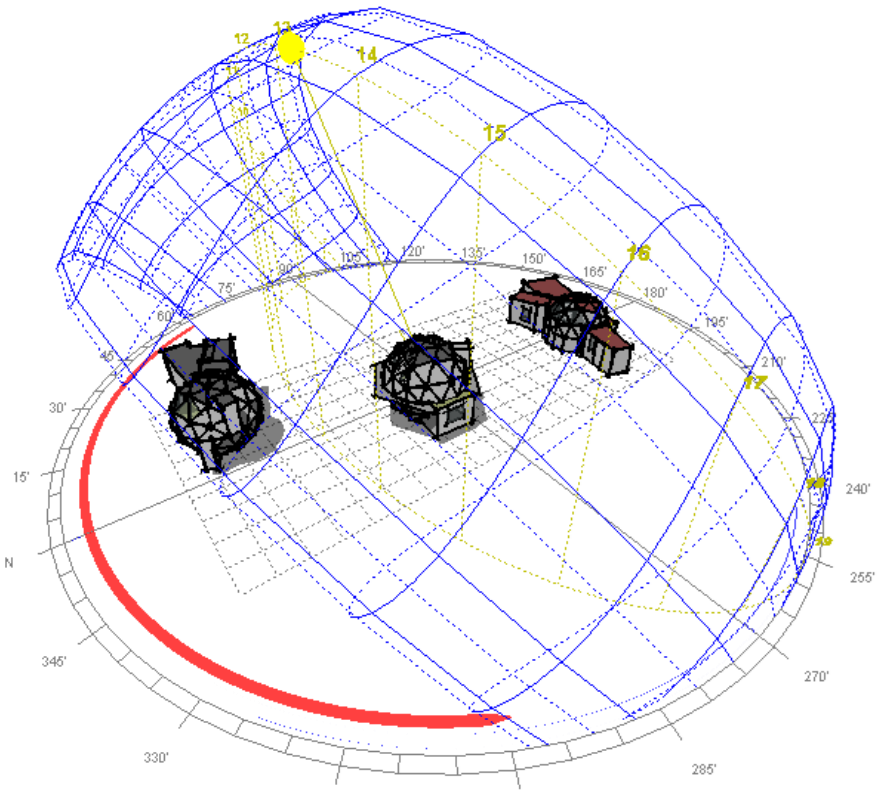
Esta esfera está dispuesta en forma de palafito los cimientos son convencionales, es decir de enfierradura y hormigón las vigas de sobre cimiento son del mismo material y método constructivo. Los postes o pilares son de fierro, junto con dos vigas maestras que constituyen las piezas principales de la estructura, el resto de elementos estructurales son todos en madera.

La estructura del domo geodésico es a partir de triángulos que se dimensionan según la frecuencia y el radio de la esfera, la envolvente es de barro y ventanas de botellas y frascos. Existen una serie de piezas metálicas que funcionan como uniones entre madera y fierro y en otros casos entre elementos de madera con madera.

En general la **esfera en palafitos**. Tiene el mismo sistema constructivo y espesores que el primero pero bajo distintas condiciones estructurales y de habitabilidad.



III. 6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ENERGÉTICO



III. 6.1 EVALUACIÓN ENERGÉTICA

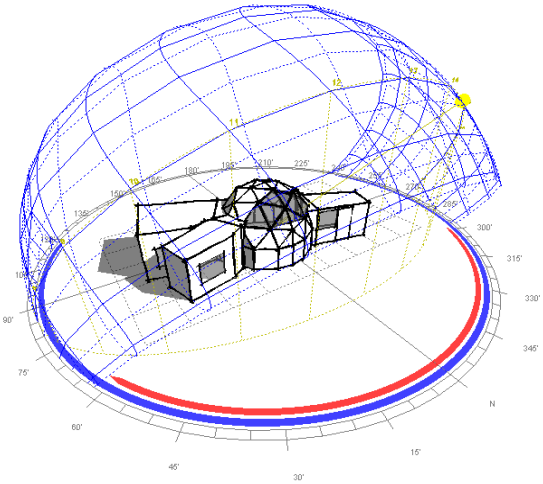
El proyecto de Evaluación energética y cálculos de propiedades térmicas de las envolventes plantea las posibles demandas energéticas y comportamiento térmico teórico al interior de las viviendas, entre otros.
Para ello debemos considerar el clima donde se emplazan las mismas y a que zona térmica pertenecen. De esta manera es posible establecer una comparación entre los valores reales y el valor base considerando la actual Ordenanza. O.G.U.C art 4.1.10

Las viviendas a analizar se ubican en las siguientes localidades:
-Vivienda A: Sector Caleu. V región (Cordillera de la Costa)
-Vivienda B: Sector La vega V región (Cordillera de la Costa)
-Vivienda C: Sector Caleu. V región (Cordillera de la Costa)

Según la OGUC. Las viviendas evaluadas pertenecen a la ZONA TÉRMICA 2, para la cual se establecen las exigencias térmicas mínimas señaladas a continuación.

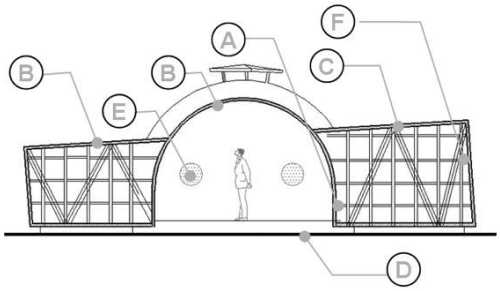
ZONA	TECHUMBRE U [W/m2ºC]	MUROS U [W/m2ºC]	PISOS VENTILADOS U [W/m2ºC]
2,00	0,60	3,00	0,87

III.6. 2. VIVIENDA P1 ENVOLVENTE

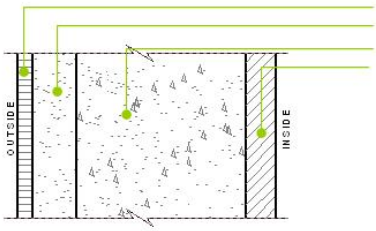


En este caso, para la envolvente del Domo se considera la parte inferior como muro utilizando los valores señalados; cuando la inclinación está por debajo de los 60º (como establece la Norma), pasan a utilizarse los materiales para techumbre.

III.6.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES TÉRMICAS



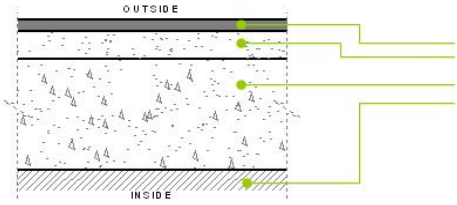
A



Muro Domo A y C	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque de Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Terciado Estructural	0,018	0,104	528	1600	0,17
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,49**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,03
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,68
TIME LAG [hrs]					4,60

Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP

B1

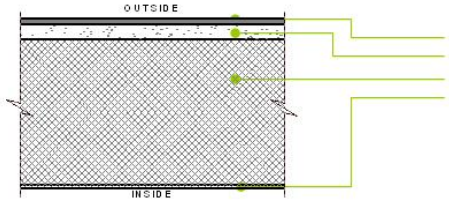


Techumbre Barro	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Madera Pino machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,34**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,96
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					3,67
TIME LAG [hrs]					2,35

Como se observa en la tabla “B1”, los valores propuestos para la envolvente no cumplen con la Ordenanza vigente la que establece una mínima transmitancia térmica mínima de **0,6 [W/m2ºC].** Para ello se modifican los componentes de la techumbre sustituyendo los 10cm de adobe por 25 cm. de paja.[6]

[6] Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP

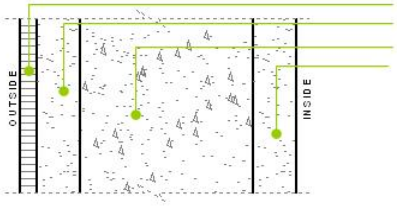
B2



Techumbre Barro y Paja	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Paja	0,25	0,12	200	230	2,08
Madera Pino machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**2,31**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,43**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**3,97**
TIME LAG [hrs]					**3,35**

En este caso se cumple el mínimo establecido en la OGUC.[7]

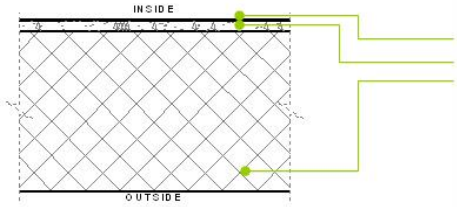
C



Tabique Quincha Barro	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Mortero Cal	0,01	0,87	1600	980	0,01
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,35**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**2,85**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**4,35**
TIME LAG [hrs]					**5,60**

Para la elaboración del componente se consideran valores térmicos aproximados para la quincha compuesta por juncos huecos.[8]

D



Piso	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
int					
Pino Machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Radier Simple	0,1	0,73	2300	920	0,14
Terreno natural	1,5	0,837	1300	1046	1,79
ext					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**2,20**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,46**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**4,13**
TIME LAG [hrs]					**12,00**

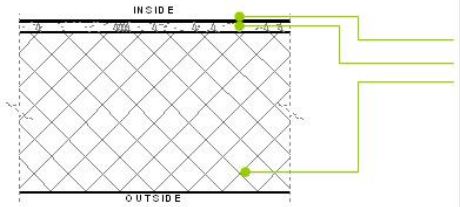
9

[7] Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP

[8] Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP
Valores bambú según el artículo *Transformación e Industrialización del Bambú. Geovanna Barbaro. Arquitecta.*

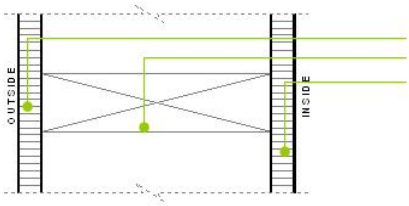
[9] Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP

D



Piso	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
int					
Pino Machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Radier Simple	0,1	0,73	2300	920	0,14
Terreno natural	1,5	0,837	1300	1046	1,79
ext					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**2,20**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,46**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**4,13**
TIME LAG [hrs]					**12,00**

F



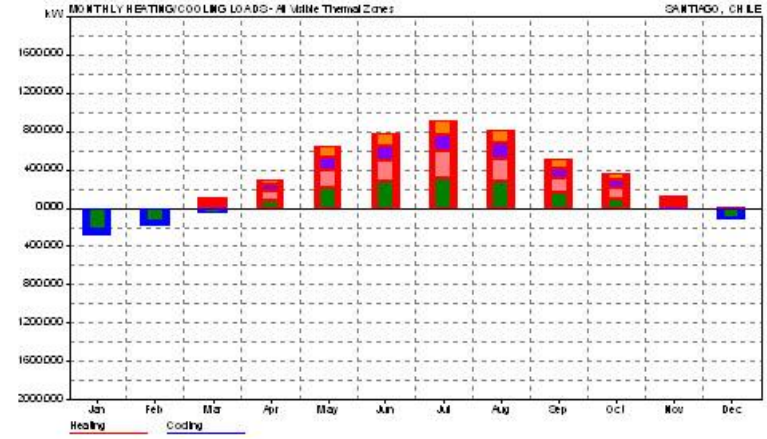
Puertas	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
Contrachapado	0,005	0,14	530	1400	0,04
Cámara de aire	0,03	0,024	1	1000	1,25
Contrachapado	0,005	0,14	530	1400	0,04
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**1,50**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,67**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,65**
TIME LAG [hrs]					**0,40**

III.6.5 VIVIENDA P 1 SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Al momento de Evaluar las viviendas en términos de demanda energética y Thermal Confort, éstas se compararan con una vivienda de igual forma y tamaño, pero con materiales ajustados a la norma para ver la efectividad de los mismos.
Para la evaluación se utiliza la base de datos de clima de Santiago; clima mas próximo según archivos de clima del software Ecotect.

III6.5 DEMANDA ENERGÉTICA

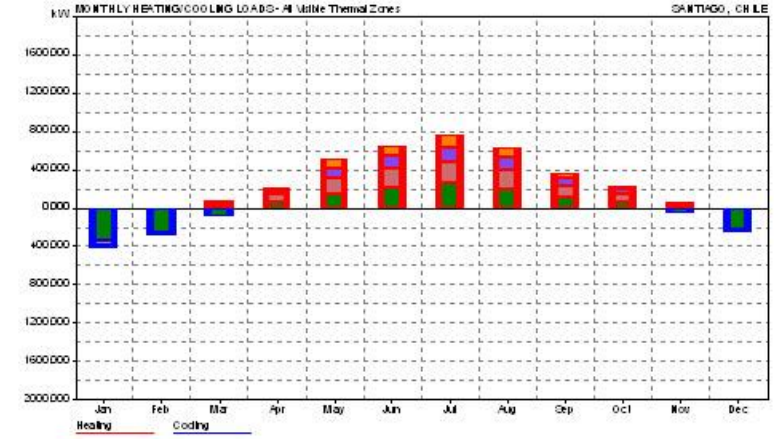
ENVOLVENTE SEGÚN NORMA



127 Kwh.-m2 al año

MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 3.774 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 2.125 kW at 20:00 on 15th January			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kVAh)	(kVAh)	(kVAh)
Jan	0.000	290.579	290.579
Feb	0.419	180.356	180.775
Mar	113.242	52.952	166.194
Apr	300.517	0.000	300.517
May	643.653	0.000	643.653
Jun	787.537	0.000	787.537
Jul	925.607	0.000	925.607
Aug	811.243	0.000	811.243
Sep	511.216	0.000	511.216
Oct	365.802	0.000	365.802
Nov	126.386	14.206	140.592
Dec	126.33	117.106	129.739
TOTAL	4.598.252	655.200	5.253.452
PER M²	127.441	18.159	145.600
Floor Area:	36.082 m2		

ENVOLVENTE PROYECTADA



98 Kwh.-m2 al año

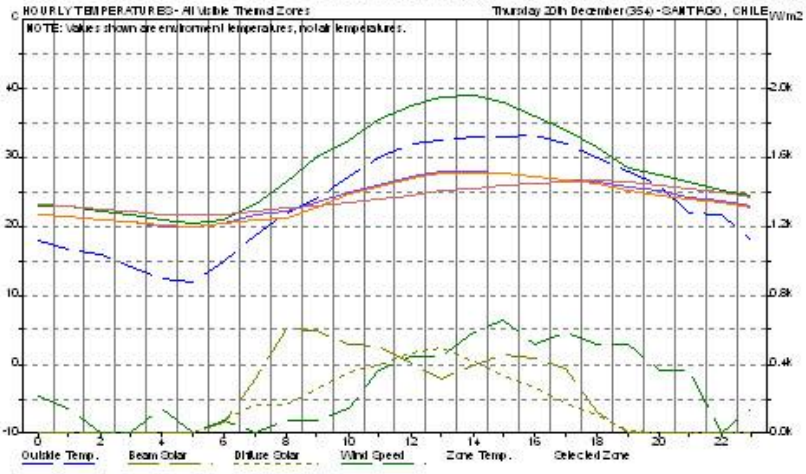
MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 3.809 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 3.255 kW at 21:00 on 20th December			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kVAh)	(kVAh)	(kVAh)
Jan	0.000	418.518	418.518
Feb	0.000	278.736	278.736
Mar	76.456	83.311	159.768
Apr	217.783	0.000	217.783
May	506.399	0.000	506.399
Jun	655.891	0.000	655.891
Jul	767.372	0.000	767.372
Aug	638.283	0.000	638.283
Sep	371.924	0.000	371.924
Oct	231.520	0.000	231.520
Nov	72.626	47.164	119.790
Dec	0.731	263.057	263.789
TOTAL	3.538.936	1.090.786	4.629.722
PER M²	98.083	30.231	128.314
Floor Area:	36.082 m2		

Los gráficos muestran una disminución en cuanto a la demanda energética (rojo). La que se explica pues los valores U propuestos son menores a los establecido en la Normativa.
Cabe destacar que el Domo proyectado a medida que la envolvente asciende (pasa de muro a techo), debe ir adaptando sus valores U, puesto que el calor tiende a subir y la transferencia en la techumbre es mayor. Es por eso que en la parte superior del domo se considera un valor de techumbre paja (componente B).

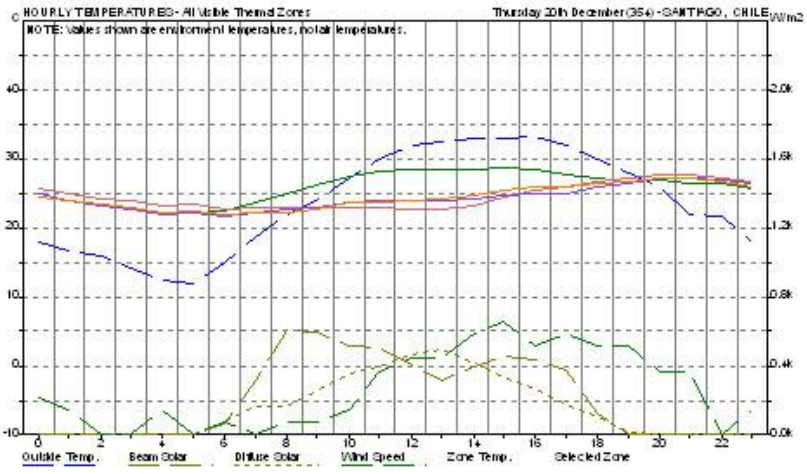
La demanda para ventilación se muestra sólo para indicar que es necesario incorporar estrategias de ventilación para evitar el sobrecalentamiento en épocas estivales y no se incorpora en el cálculo de demanda energética.

III.6.6 GRÁFICO TEMPERATURA DEL AIRE

ENVOLVENTE SEGÚN NORMA (Promedio de los días más calurosos)



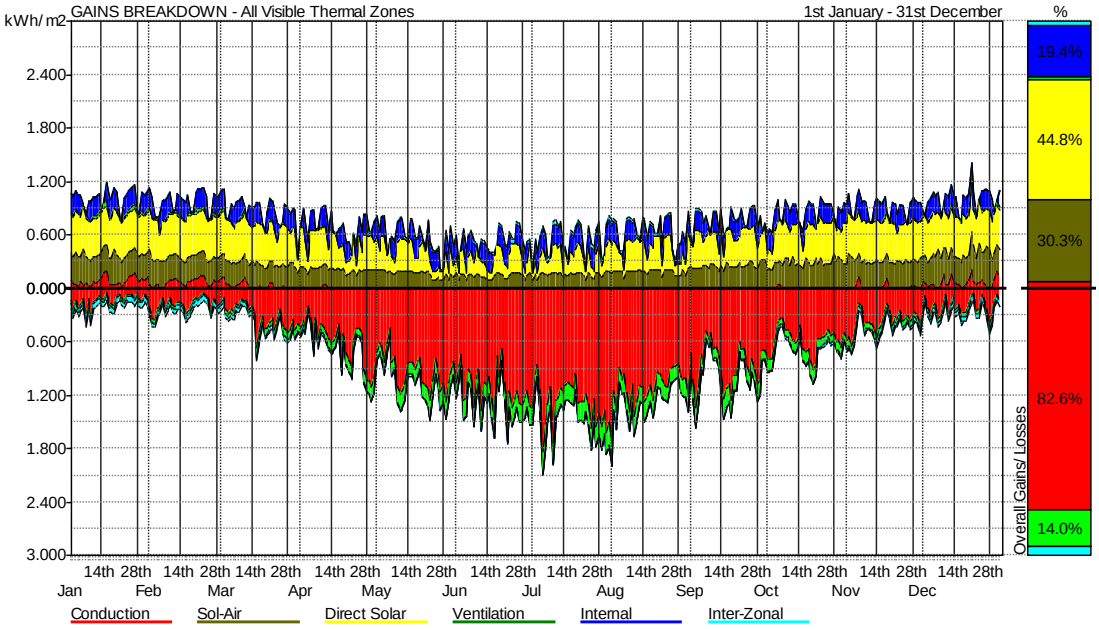
ENVOLVENTE PROYECTADA (Promedio de los días más calurosos)



°T exterior °T interior Domo °T interior Otros recintos

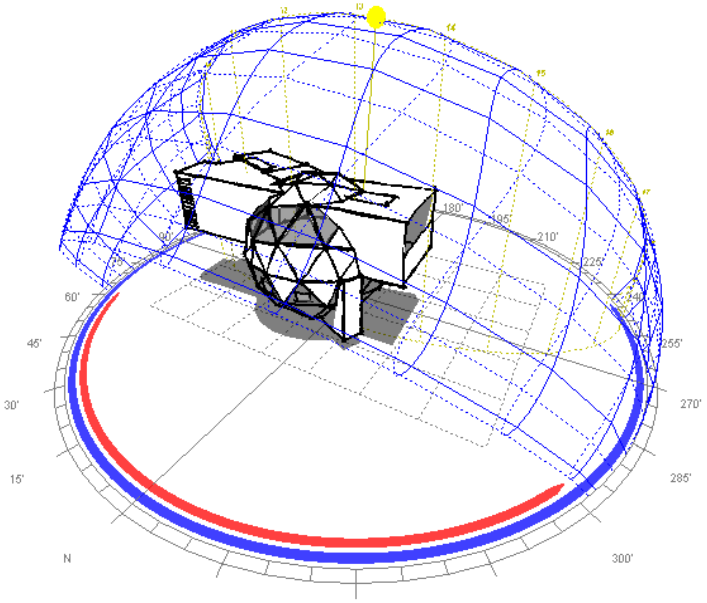
Las temperaturas para la envolvente proyectada, se mantiene constantes durante la mayor parte de la jornada debido a una mayor inercia térmica. Por otro lado se observa un sobrecalentamiento debido a la radiación directa y no a las temperaturas exteriores. Si se observa con atención, se descubre que las mayores alzas de temperatura coinciden con el período de incidencia solar y no con el aumento de la temperatura exterior. Si bien es cierto, este sobrecalentamiento que mejoraría el confort durante el invierno, disminuye con la envolvente proyectada pues como se menciona anteriormente el muro absorbe parte del calor interior. Ésta pequeña diferencia puede ser sustituida por alguna fuente de calor interna (humana o artificial).

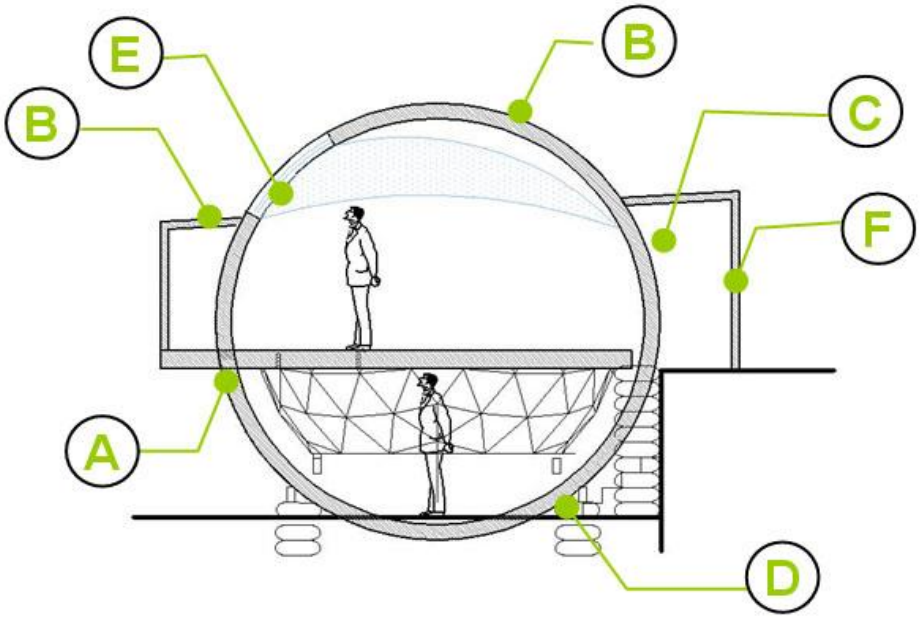
GRÁFICO COMPARATIVO GANANCIAS Y PÉRDIDAS



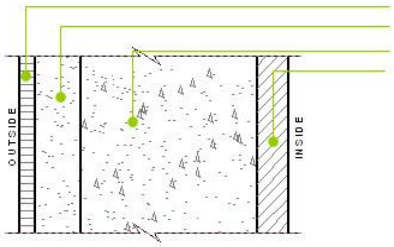
En primer lugar, se observan que las ganancias (superior) son menores que las pérdidas, siendo un 82,6% de estas pérdidas, responsabilidad de la envolvente. Esta pérdida se explica por la presencia de ventanas parte de la techumbre lo que podría reducirse utilizando algún sistema de aislamiento interior para en Invierno.
Por otro lado un 44,8% de las ganancias corresponde a la ganancia solar directa que ingresa por las ventanas (lucarnas) y un 30,3% a la ganancia indirecta por medio de la envolvente. Éstas indicarían un sobrecalentamiento durante el verano el que obliga a utilizar algún atenuante como un sombreadero y/o ventilación cruzada.
Valores de Ganancia Internas (19,4%) y pérdidas por Ventilación (14,0%), pueden ser modificados y dependen de los estándares programados para cada recinto.

III. 7.1 VIVIENDA P2 ENVOLVENTE



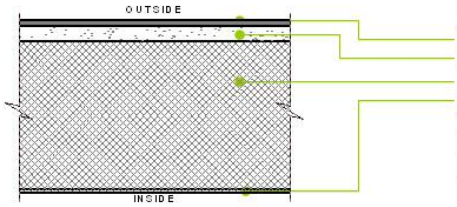


A



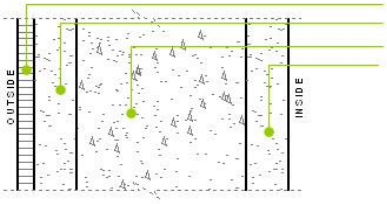
Muro Domo A y C	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque de Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Terciado Estructural	0,018	0,104	528	1600	0,17
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					0,49
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,03
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,68
TIME LAG [hrs]					4,60

B



Techumbre Barro y Paja	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Paja	0,25	0,12	200	230	2,08
Madera Pino machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					2,31
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					0,43
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					3,97
TIME LAG [hrs]					3,35

C

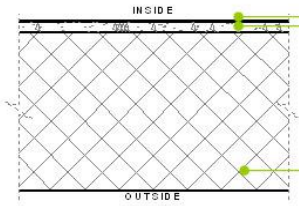


Tabique Quincha Barro	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Mortero Cal	0,01	0,87	1600	980	0,01
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					0,35
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					2,85
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					4,35
TIME LAG [hrs]					5,60

Para la elaboración del componente se consideran valores térmicos aproximados para la quincha compuesta por juncos huecos. [10]

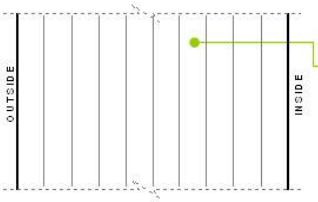
[10] Datos según Listado Oficial de Materiales Según Tabla 6 Nch 853 of. 91
Valores Admitancia y Thermal lag obtenidos de software CYMAP
Valores bambú según el artículo *Transformación e Industrialización del Bambú. Geovanna Barbaro. Arquitecta.*

D



Piso	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
int					
Pino Machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Radier Simple	0,1	0,73	2300	920	0,14
Terreno natural	1,5	0,837	1300	1046	1,79
ext					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**2,20**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,46**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**4,13**
TIME LAG [hrs]					**12,00**

E



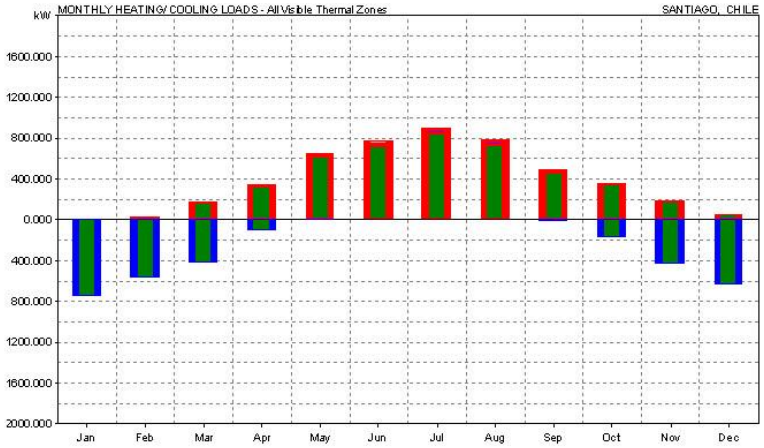
Ventana	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
Int					
Vidrio Simple	6	1046	2300	836	0,01
ext					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,19**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**5,38**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**5,00**
TIME LAG [hrs]					**.**

III. 7.2 VIVIENDA P2 SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Al momento de Evaluar las viviendas en términos de demanda energética y Thermal Confort, éstas se compararán con una vivienda de igual forma y tamaño, pero con materiales ajustados a la norma para ver la efectividad de los mismos.
Para la evaluación se utiliza la base de datos de clima de Santiago; clima más próximo según archivos de clima del software Ecotect.

III.7.3 DEMANDA ENERGÉTICA

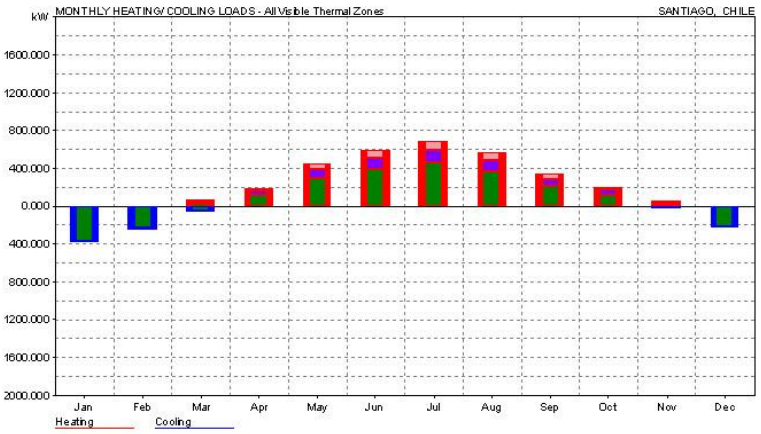
ENVOLVENTE SEGÚN NORMA



130 kWh-m2 al año

MONTHLY HEATING/ COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 5.032 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 5.810 kW at 14:00 on 20th December			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Jan	10.852	745.440	756.291
Feb	31.619	571.592	603.211
Mar	170.802	423.539	594.341
Apr	338.011	107.511	445.522
May	650.517	8.810	659.327
Jun	769.031	0.000	769.031
Jul	894.446	0.000	894.446
Aug	780.322	0.000	780.322
Sep	490.860	17.394	508.254
Oct	355.891	169.960	525.851
Nov	185.163	443.236	628.399
Dec	49.305	638.573	687.878
TOTAL	4.726.821	3.126.055	7.852.876
PER M²	130.926	86.587	217.513
Floor Area:	36.103 m2		

ENVOLVENTE PROYECTADA



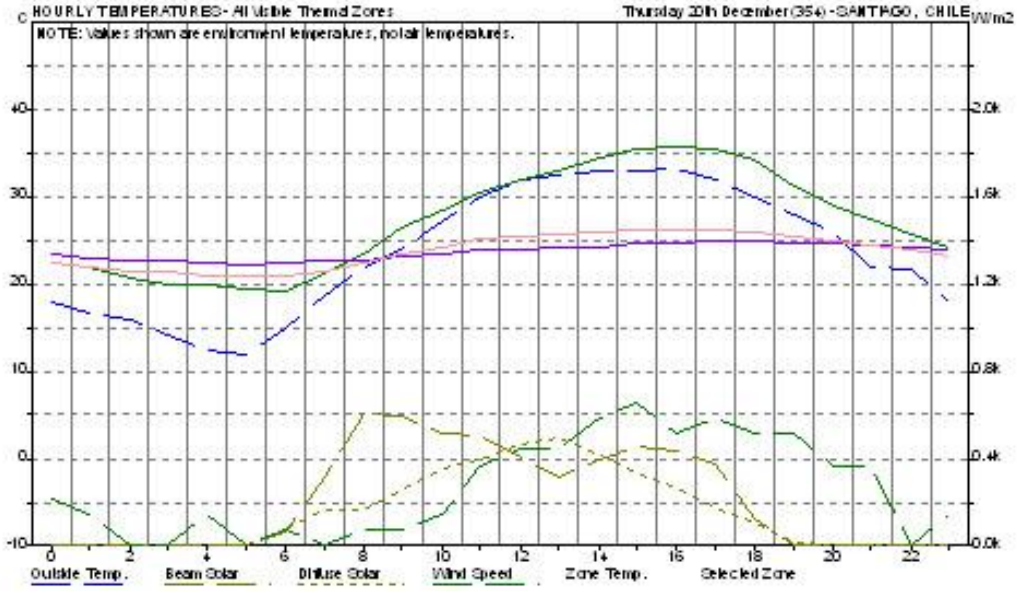
88 kWh-m2 al año

MONTHLY HEATING/ COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 3.326 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 3.417 kW at 20:00 on 20th December			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Jan	0.000	382.192	382.192
Feb	0.000	245.722	245.722
Mar	65.331	55.192	120.523
Apr	196.591	0.000	196.591
May	459.110	0.000	459.110
Jun	590.555	0.000	590.555
Jul	689.501	0.000	689.501
Aug	574.737	0.000	574.737
Sep	340.272	0.000	340.272
Oct	209.650	0.000	209.650
Nov	57.673	28.446	86.119
Dec	0.000	228.295	228.295
TOTAL	3.183.421	939.848	4.123.269
PER M²	88.176	26.032	114.209
Floor Area:	36.103 m2		

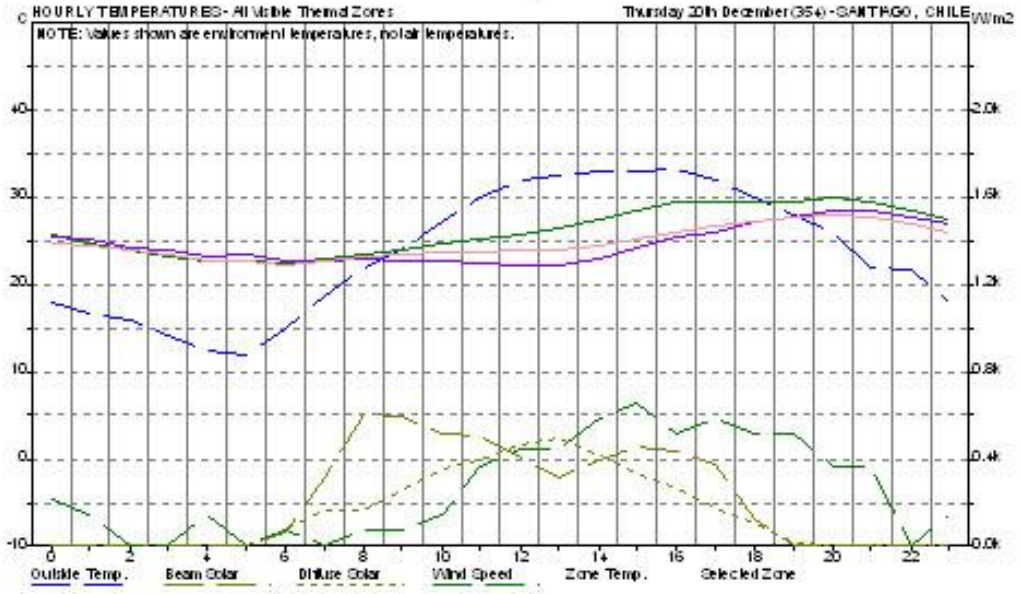
Las diferencias que se muestran en cuanto a demanda y ventilaciones son similares a la vivienda A, lo que se debe a la similitud de sus componentes.

III.7.4. GRÁFICO TEMPERATURA DEL AIRE

ENVOLVENTE SEGÚN NORMA (Promedio de los días más calurosos)



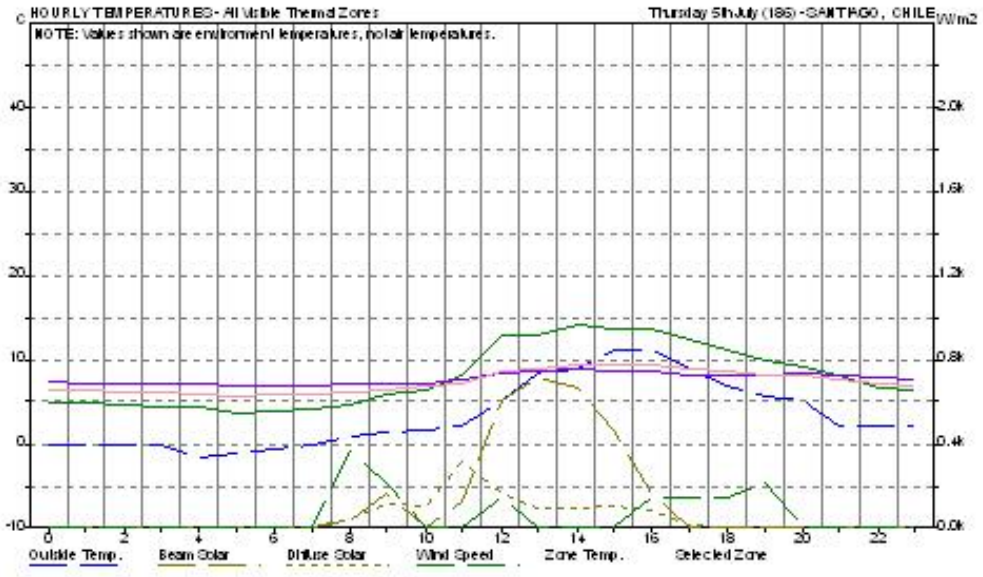
ENVOLVENTE PROYECTADA (Promedio de los días más calurosos)



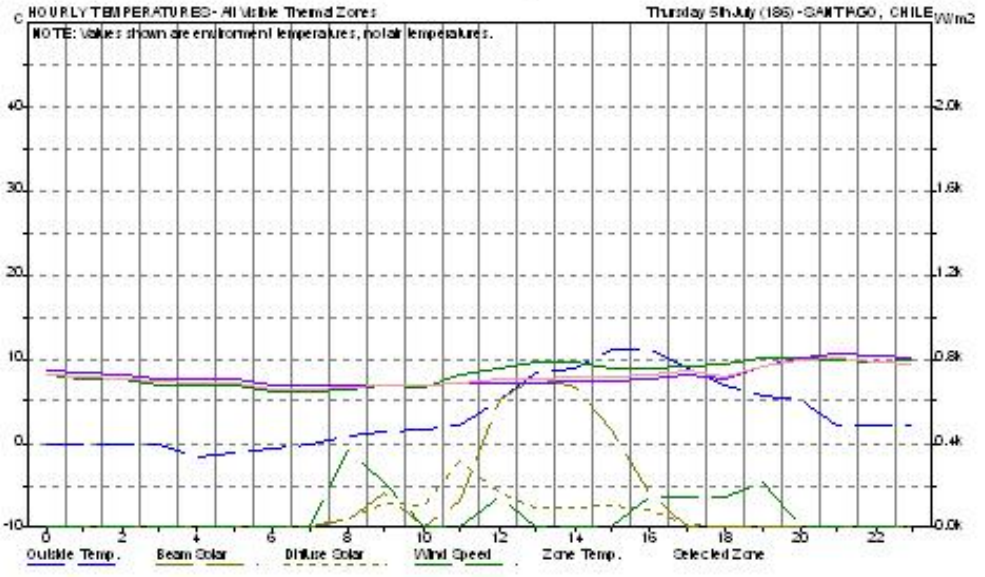
ºT exterior ºT interior Domo ºT interior Otros recintos

Durante los meses cálidos, la vivienda proyectada mantiene valores similares de temperaturas al interior de sus recintos debido a las similitud de sus muros y envolvente en general. Sólo se observa un aumento de temperatura al interior del domo por la acción de la radiación directa.
Se observa además un pequeño aumento de temperaturas durante la noche debido a la inercia térmica que poseen los materiales en cuestión.

ENVOLVENTE SEGÚN NORMA (Promedio de los días más fríos)



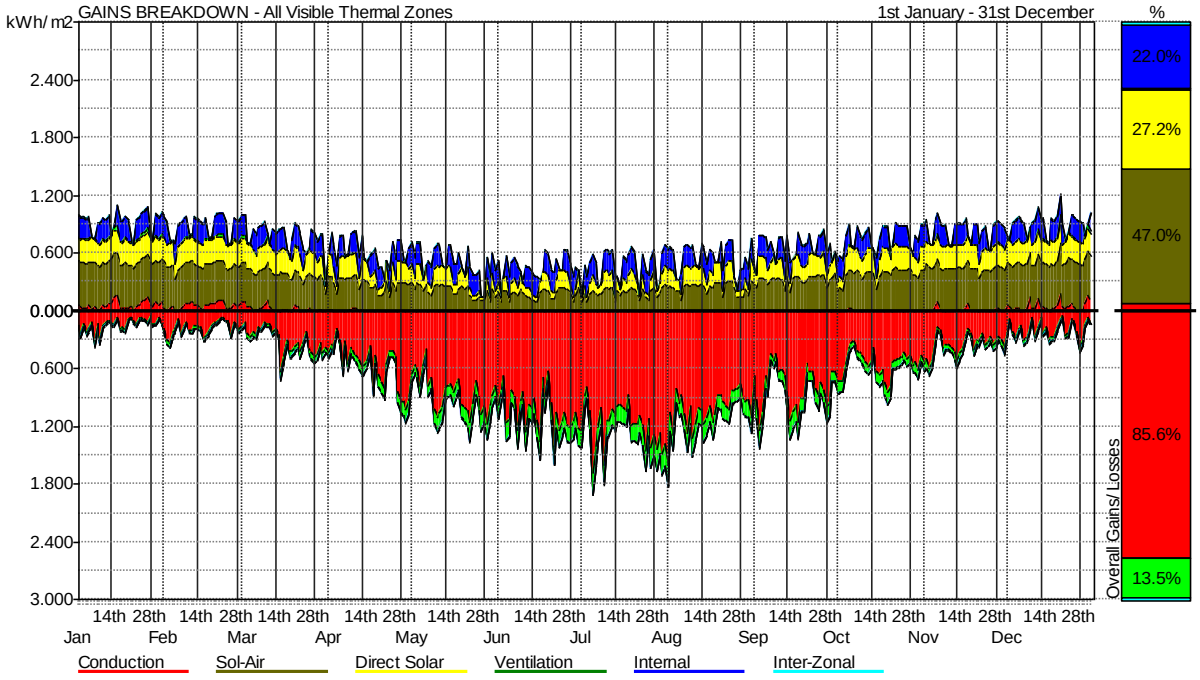
ENVOLVENTE PROYECTADA (Promedio de los días más fríos)



ºT exterior ºT interior Domo ºT interior Otros recintos

De la misma forma, la homogeneidad térmica de los recintos se mantiene en los meses fríos, por las razones antes mencionadas.

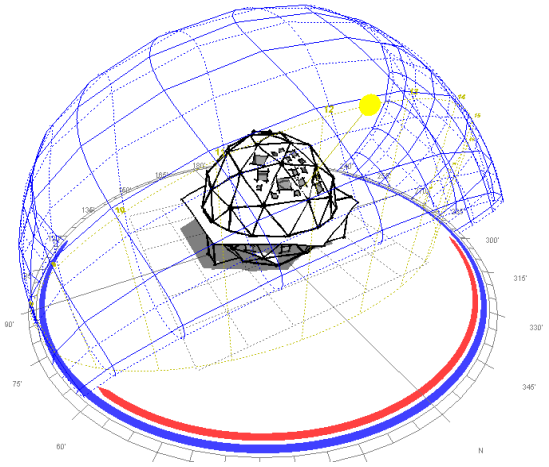
III.7.5 GRÁFICO COMPARATIVO GANANCIAS Y PÉRDIDAS



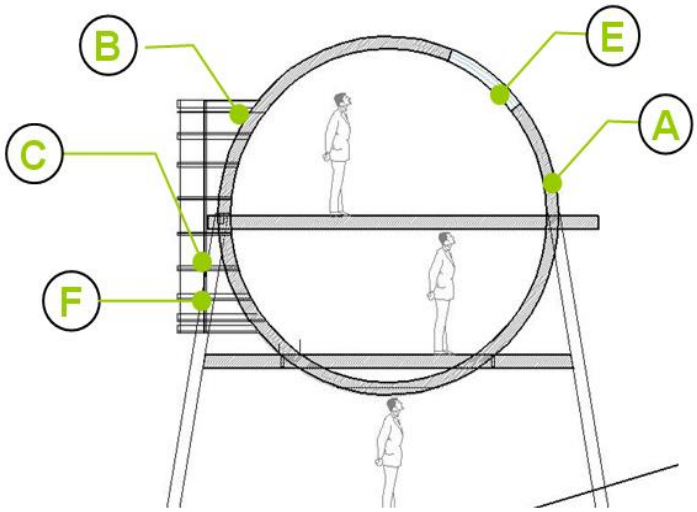
En contraste con la vivienda B, se observa que las pérdidas y ganancias en estas viviendas son mayores y similares a la vivienda A.

En primer lugar priman las pérdidas por conducción, siendo en este caso mayores que la vivienda A, lo que se atribuye a una mayor superficie expuesta; es decir mayor superficie envolvente. De manera análoga las ganancias indirectas por medio de la envolvente también son altas; mayores que en las otras 2 viviendas a lo que se atribuye lo señalado anteriormente y, en contraste con la vivienda B, a la baja transmitancia térmica.

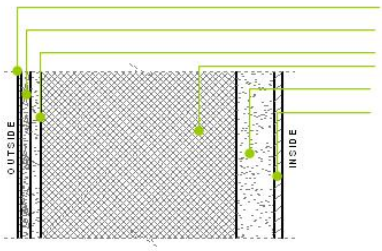
III.7.5 VIVIENDA P3 ENVOLVENTE



Al momento de Evaluar las viviendas en términos de demanda energética y Thermal Confort, éstas se compararan con una vivienda de igual forma y tamaño, pero con materiales ajustados a la norma para ver la efectividad de los mismos.
Para la evaluación se utiliza la base de datos de clima de Santiago; clima mas próximo según archivos de clima del software Ecotect.

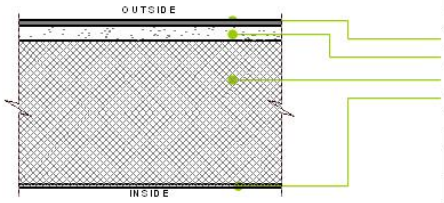


A



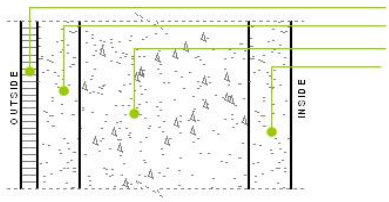
Muro Domo B	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Estuco Cemento	0,025	1,4	2000	920	0,02
Revoque de Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Fardo trigo	0,5	0,12	200	230	4,17
Camara de aire	0,1	0,024	1	1000	4,17
Terciado Estructural	0,018	0,104	528	1600	0,17
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**8,73**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,11**
ADMITANCIA TÉRMICA* [W/m2°C]					**0,76**
TIME LAG [hrs]					**6,20**

B



Techumbre Barro y Paja	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Membrana elastómera	0,01	1,05	1300	1050	0,01
Revoque Barro	0,025	0,85	1100	898	0,03
Paja	0,25	0,12	200	230	2,08
Madera Pino machihembrado	0,005	0,104	410	1297	0,05
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**2,31**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,43**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**3,97**
TIME LAG [hrs]					**3,35**

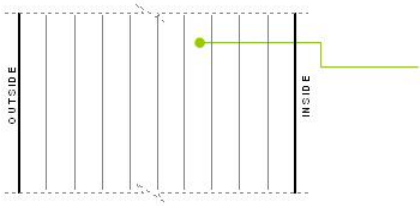
C



Tabique Quincha Barro	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
ext					
Mortero Cal	0,01	0,87	1600	980	0,01
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
Adobe	0,1	0,9	1450	898	0,11
Revoque Barro + quincha	0,025	0,85	1100	898	0,03
int					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,35**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**2,85**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**4,35**
TIME LAG [hrs]					**5,60**

Para la elaboración del componente se consideran valores térmicos aproximados para la quincha compuesta por juncos huecos.

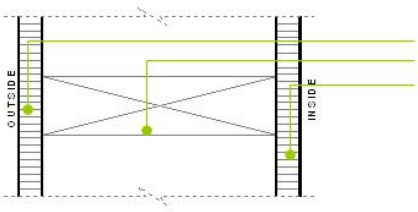
E



Ventana	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
Int					
Vidrio Simple	6	1046	2300	836	0,01
ext					
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**0,19**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**5,38**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**5,00**
TIME LAG [hrs]					**.**

En este caso, el piso ventilado del Domo corresponde a la envolvente A (muro). Para esta vivienda, los valores de transmitancia térmica para toda la envolvente (piso, muro, cielo).

F



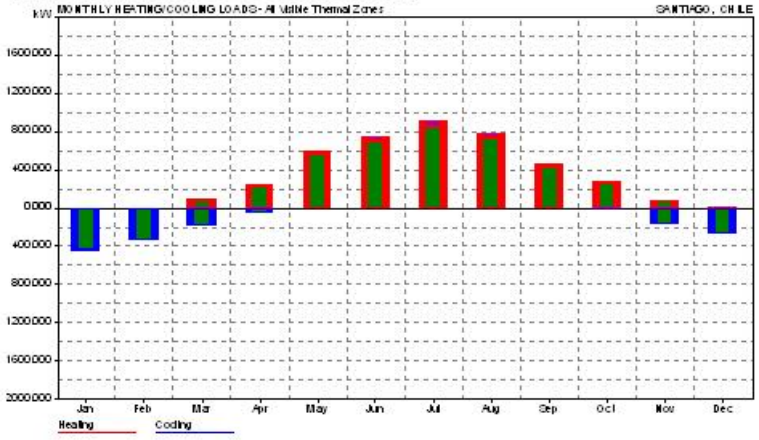
Puertas	e	λ	ρ	c	Rn (e/λ)
	(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/Kg°C)	(m2°C/W)
Contrachapado	0,005	0,14	530	1400	0,04
Cámara de aire	0,03	0,024	1	1000	1,25
Contrachapado	0,005	0,14	530	1400	0,04
Resitencia Térmica Total (ΣRn+Rsi+Rse) [m2°C/W]					**1,50**
TRANSMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,67**
ADMITANCIA TÉRMICA [W/m2°C]					**0,65**
TIME LAG [hrs]					**0,40**

III.7.6. VIVIENDA P3 SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Al momento de Evaluar las viviendas en términos de demanda energética y Thermal Confort, éstas se compararan con una vivienda de igual forma y tamaño, pero con materiales ajustados a la norma para ver la efectividad de los mismos.
Para la evaluación de la misma se utiliza la base de datos de clima de Santiago; clima más próximo según archivos de clima del software Ecotect.

DEMANDA ENERGÉTICA

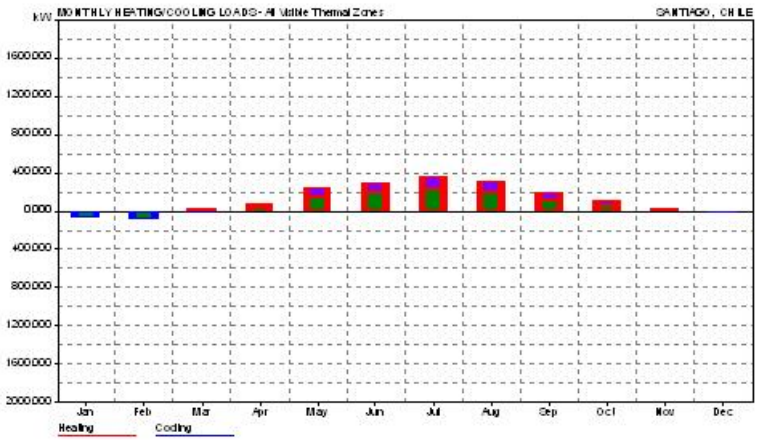
ENVOLVENTE SEGÚN NORMA



144 Kwh.-m2 al año

MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 5.374 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 3.808 kW at 15:00 on 26th January			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Jan	0924	442.301	443.225
Feb	3.060	342.561	345.621
Mar	96705	181.807	278.513
Apr	251533	46.235	297.767
May	596.275	0.000	596.275
Jun	746533	0.000	746.533
Jul	913554	0.000	913.554
Aug	784.187	0.000	784.187
Sep	464.196	0.000	464.196
Oct	285496	27.858	313.353
Nov	93455	166.212	259.666
Dec	14447	271.113	285.560
TOTAL	4.250.365	1.478.087	5.728.452
PER M²	144.051	50.094	194.145
Floor Area:	29.506 m2		

ENVOLVENTE PROYECTADA



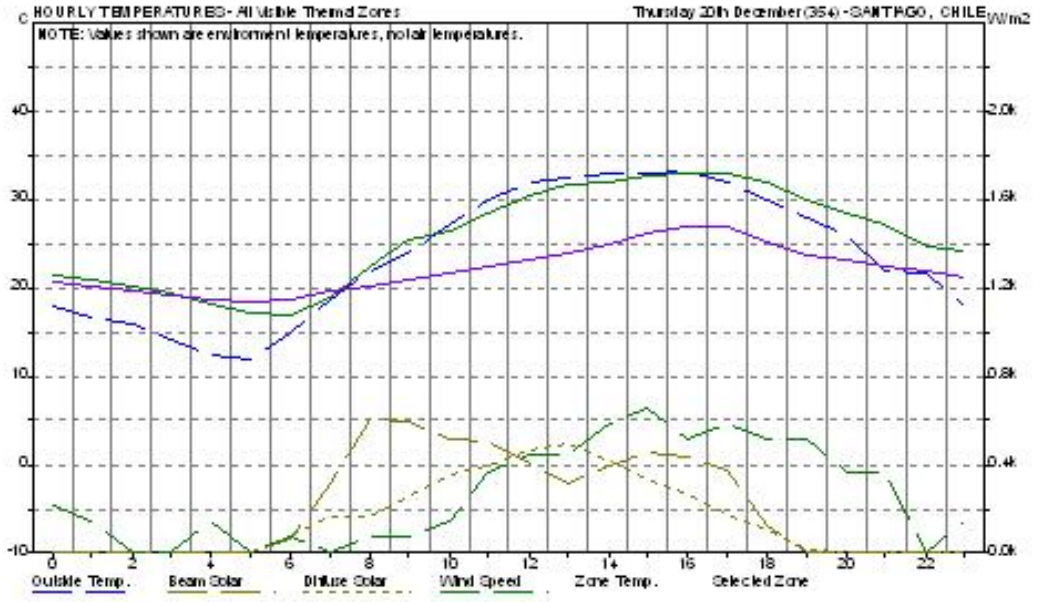
49 Kwh.-m2 al

MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones			
Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 1.772 kW at 06:00 on 1st August			
Max Cooling: 1.490 kW at 16:00 on 21st February			
	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Jan	0313	70.432	70.745
Feb	0581	79.992	80.573
Mar	23262	17.540	40.802
Apr	9327.9	0.000	98.279
May	242.208	0.000	242.208
Jun	304.763	0.000	304.763
Jul	369.648	0.000	369.648
Aug	324.870	0.000	324.870
Sep	193.217	0.000	193.217
Oct	120.179	0.000	120.179
Nov	30.924	0.000	30.924
Dec	2309	18.496	20.805
TOTAL	1.705.554	186.459	1.892.013
PER M²	49.881	5.453	55.334
Floor Area:	34.193 m2		

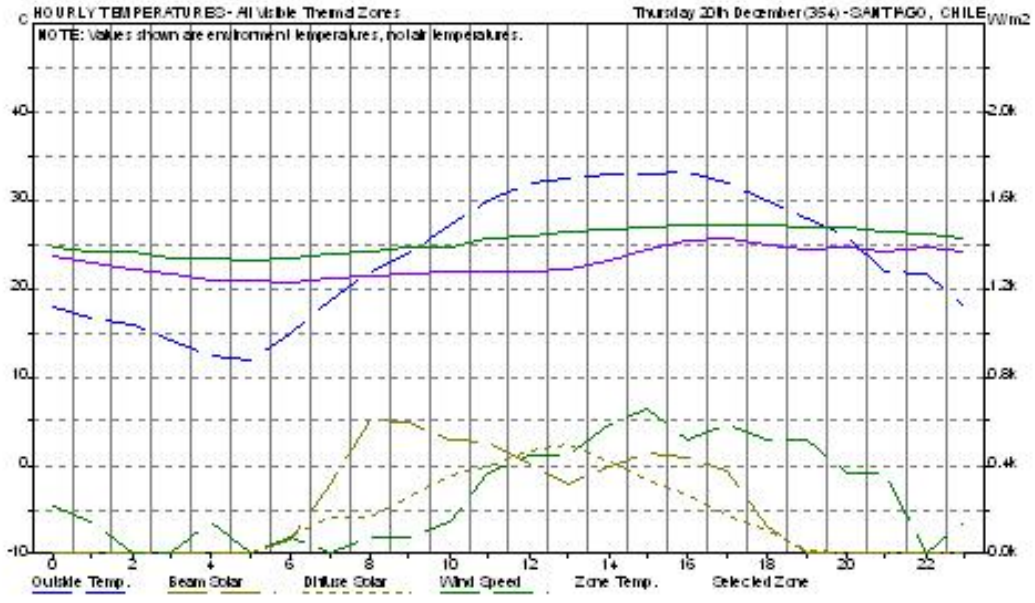
Los gráficos muestran una considerable disminución de la demanda energética, debido principalmente a la baja transmitancia del muro de paja proyectado; de la misma manera se reduce el gasto energético por enfriamiento durante el verano, lo que dice de un efectivo aislante térmico.

III.7.8 GRÁFICO TEMPERATURA DEL AIRE

ENVOLVENTE SEGÚN NORMA (Promedio de los días más calurosos)



ENVOLVENTE PROYECTADA (Promedio de los días más calurosos)



ºT exterior

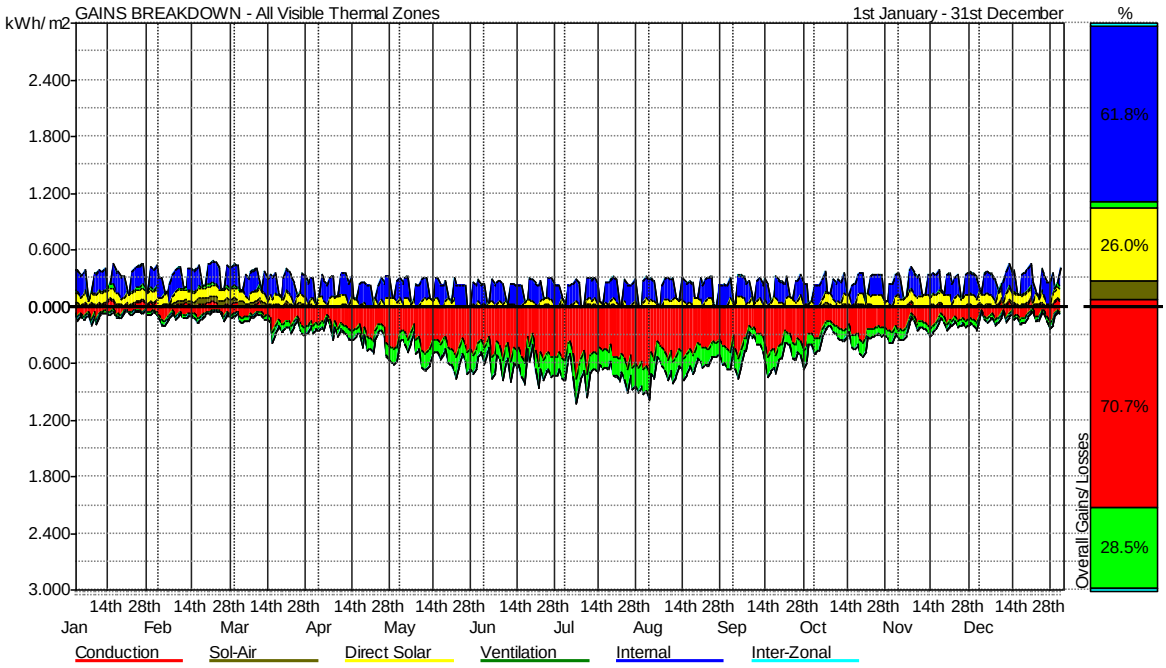
ºT interior Domo

ºT interior Otros recintos

Al igual que en la vivienda anterior, en esta comparación se muestra un disminución de las temperaturas interiores debido a la mencionada efectividad del muro de Paja. Del segundo gráfico es posible afirmar que si bien es cierto ambos recintos mantiene una curva constante, es el Domo quien posee mayores temperaturas debido posiblemente a la menor inercia de la Paja, a diferencia del Adobe, por lo que la energía que ingresa al domo no se absorbe sino que transfiere directamente al aire. Como no se observan variaciones considerables durante las horas de alta radiación (Beam Solar), se infiere una baja participación de las lucarnas y ventanas en el comportamiento térmico interior de la vivienda.

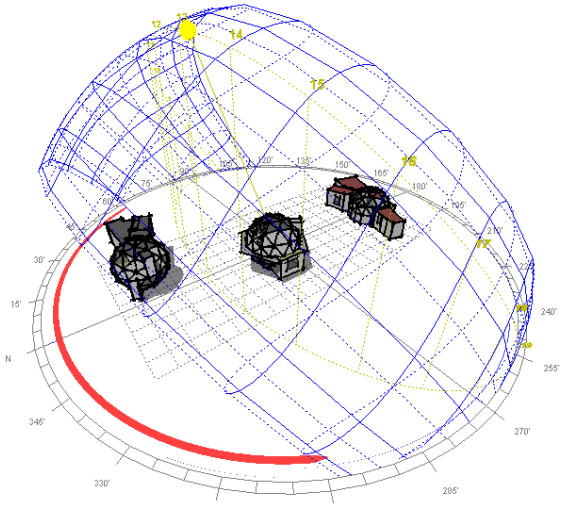
Para los gráficos de temperaturas frías, se señala un aumento de las temperaturas interiores durante le invierno. En este caso, la menor admitancia de la paja, frente al adobe frente a la paja, hace que en invierno las temperaturas al interior del domo sean mayores, pues éste recinto se calienta mas rápido (pues el muro no absorbe energía).
Se observa además un leve aumento de la temperatura por efecto de las lucarnas; aumento que desaparece a medida que aumentan las temperaturas. (ver gráfico de días cálidos).

III.7.9 GRÁFICO COMPARATIVO GANANCIAS Y PÉRDIDAS



A diferencia del gráfico de pérdidas y ganancias, estas son menores debido a la baja Transmitancia Térmica que posee la envolvente. Se observa que en gran mayoría las pérdidas se concentran en la envolvente del edificio las que puedes ser atribuida a las ventanas y/o lucarnas presentes en el diseño del Domo.
Por otro lado las máximas ganancias ocurren desde el interior del domo (ocupación o artefactos que generan calor). Esto quiere decir que el muro de paja no funciona como acumulador en el caso de una muro de adobe de las mismas proporciones sino más bien funciona como aislante

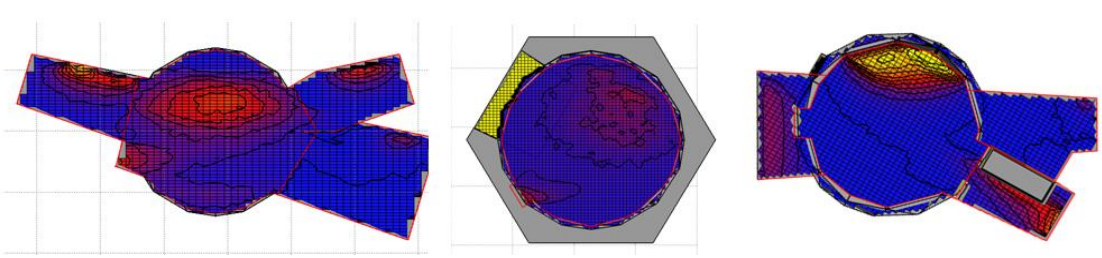
III. 7. 10. ANALISIS GENERAL



INSOLATION ANALYSIS

GRÁFICO COMPARATIVO DE RADIACIÓN DIRECTA

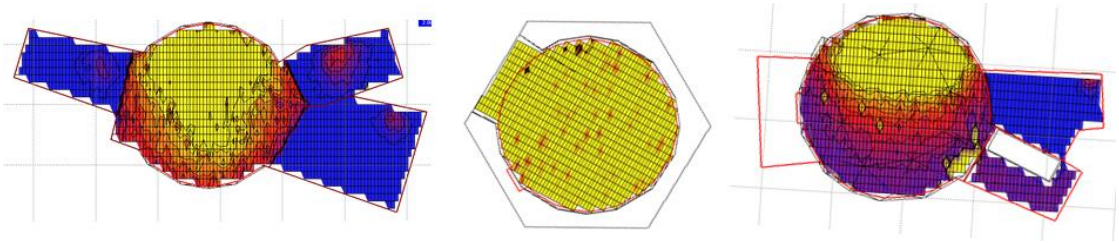
P1 **P3** **P2**



El diagrama de radiación muestra la cantidad de energía promedio diaria que incide sobre una superficie (radiación directa) desde el 15 de octubre, al 15 de abril. (Período de tiempo con una mayor radiación solar).

Los diagramas señalan que las viviendas que reciben mayor radiación solar directa son la vivienda A y al vivienda C. Esto se debe a la presencia de grandes ventanales al norte y más específicamente en su parte superior.
Esta radiación aporta a las ganancias internas y a elevar la temperatura interior de los Domos, pasando de ser agradable en invierno a un problema durante el verano por lo que se debe utilizar algún sistema de sombreadero exterior (celosía, alero, etc.), y algún sistema de ventilación cruzada.

DAYLIGHT ANALYSIS

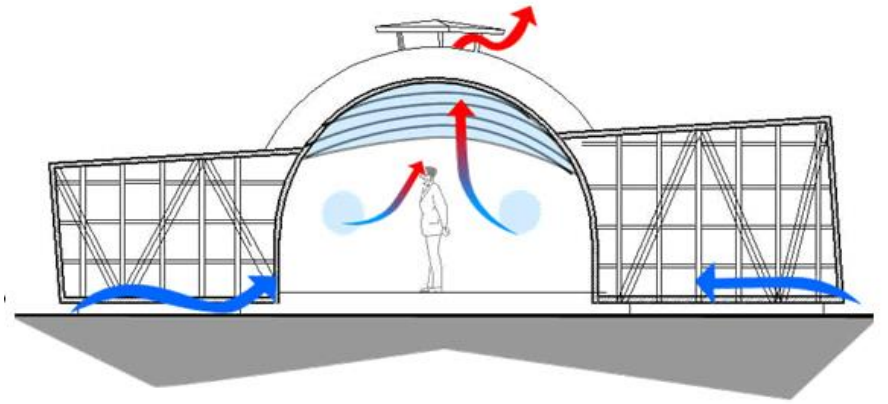


El Daylight muestra el porcentaje promedio de Lux que posee una superficie determinada. (100% = 8500 Lux).

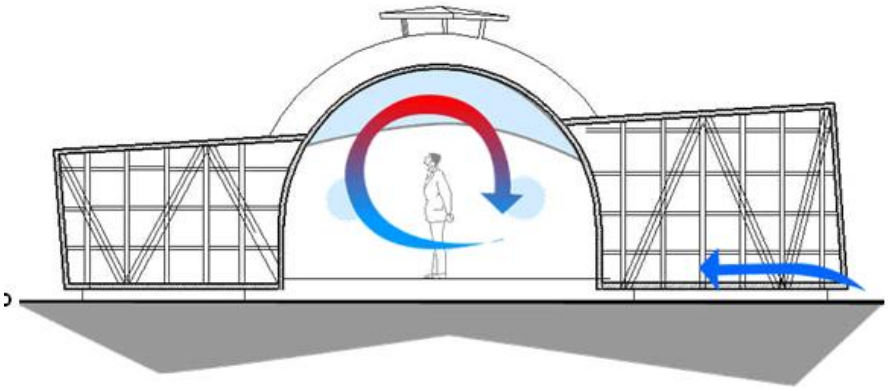
Para los diagramas que se muestran a continuación, se observan que los Domos poseen sobre 850 lux, rango aceptable de iluminación para las actividades dentro de una vivienda. Cuando se superan los 1200 Lux al interior de la vivienda se produce encandilamiento; además los recintos contiguos presentan bajos porcentajes de iluminación lo que provocaría un alto contraste al pasar de un recinto al otro, forzando la dilatación y contracción de las pupilas demorando la adaptación visual de un recinto a otro.

III. 8 ESTRATEGIAS

III.8.1 DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO P1



Verano

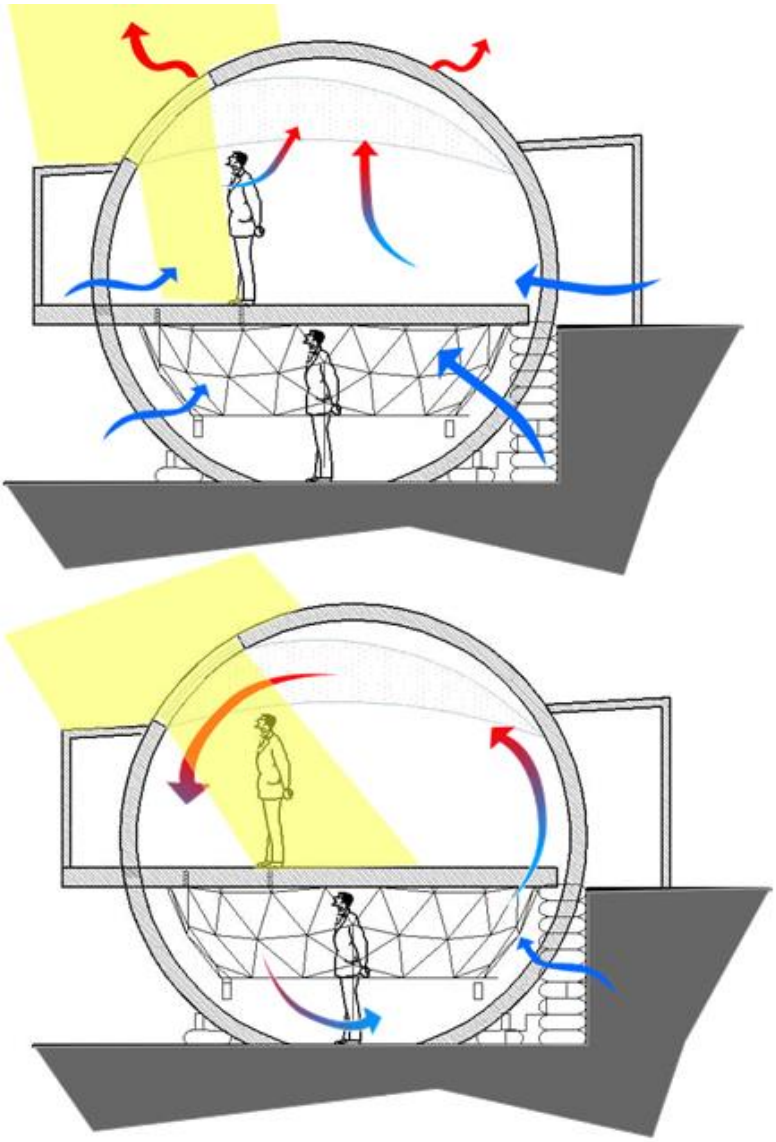


Invierno

Para evitar el sobrecalentamiento en verano se recomienda la ventilación del Domo por medio del efecto chimenea, abriendo una de las ventanas superiores, e incorporando pequeñas troneras a nivel de suelo (inclusive subterráneas).
Así también para disminuir la radiación se recomienda incorporar un sombreadero exterior (alero, celosía, etc.).
De manera contraria, para conservar el calor, se detiene a ventilación y se produce una convección interior, quitando el sombreadero aprovechando al máximo la radiación solar.

III. 8.2 ESTRATEGIAS P2

DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO

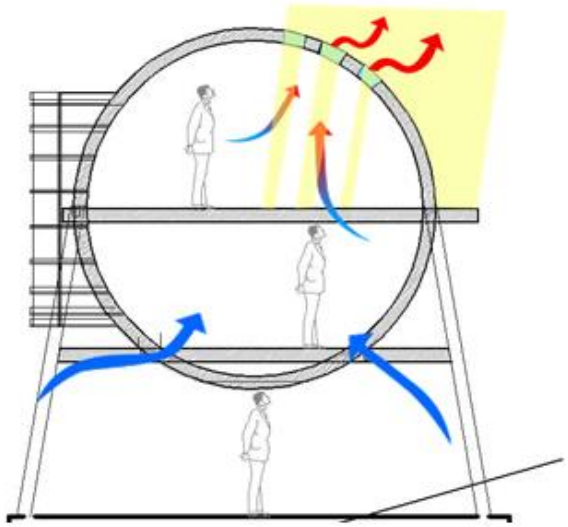


En este caso podemos ventilar la vivienda tomando aire frío desde la base o desde el nivel intermedio. En ambos casos contribuyen a crear ventilación por efecto chimenea. Pero para en invierno generar movimiento de aire por convección, es necesario tomar una pequeña porción de aire frío desde la base de la vivienda y, al igual que la vivienda B, hacerlo circular entre pisos para calentar el recinto inferior

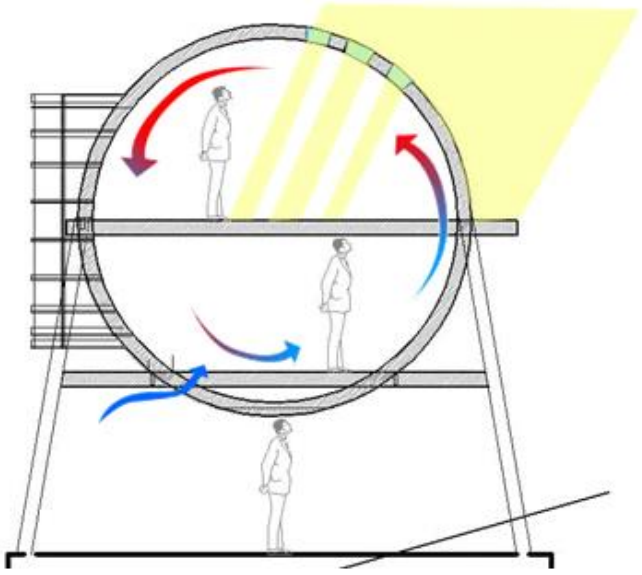
III. 8.3 ESTRATEGIAS P3

DIAGRAMAS DE COMPORTAMIENTO

Verano



Invierno



Durante el verano, al igual que en la vivienda anterior se recomienda ventilar el Domo de manera ascendente, provocando un efecto chimenea, haciendo ingresar el aire frío de la parte inferior y sacándolo por alguna de las lucarnas existentes en la parte superior. De manera análoga, durante el invierno tomamos una pequeña porción de aire frío y lo hacemos recircular por convección, calentando los recintos superiores e inferiores por medio pequeñas troneras.

III . 9 . 1 CONSTRUCCION DEL PROYECTO 1

El proyecto se encuentra emplazado en una pequeña quebrada natural, esta condición del terreno obligo a ejecutar obras de desvió de las aguas lluvias que corrían por el lugar, adicionalmente a esto se instaló un drenaje y con un tubo subterráneo que permitiera hacer pasar el eventual agua que pudiese filtrarse de la desviación sin afectar la edificación. Una vez realizado lo anterior se comienza con una excavación corrida que se cubre con el emplantillado de sello, este considera espárragos que emergerán hasta el sobre cimiento para entregar solidez a la base, se ubican neumáticos rellenos de con tierra y posteriormente compactados a combo, estos funcionaran como cimientos para todo el anillo inicial, y son atravesados por los espárragos.

Una vez terminado con la fundación se ejecuta la construcción de la cadena de sobrecimiento del espesor de los neumáticos, este anillo metálico se amarra con los espárragos provenientes del emplantillado hacendó una capa sobre los neumáticos que trabaja junto con la estructura de base.

Se construye el moldaje para recibir el hormigón del sobrecimiento, y luego se procede con el cemento que se vibra para dejar sin nidos esta pieza de remate de las fundaciones, el anillo de hormigón contendrá los esfuerzos de expansión de la base del domo por ser una sola pieza monolítica.

En uno de los brazos se realizan los hornos solares del baño seco orientados hacia el norte con el fin de asegurar un buen funcionamiento de secado, a la izquierda los nichos estucados a la derecha el espacio destinado al uso de los hornos construido en base a ladrillos en pandereta.

La estructura del domo geodésico en base a triángulos se fija a la cadena de sobre cimiento por medio de espárragos que se dejaron pasados previamente a hormigonar, la estructura de triángulos es cubierta por dentro por medio de terciados estructurales dejando nichos exteriores en la sección del triangulo para aplicar el barro que funcionara como aislante térmico y masa de gran inercia. A la izquierda y al centro vistas interiores de la cúpula a medio cubrir, a la derecha unión entre el sobrecimiento y la estructura del domo y los nichos provocados por el encielado exterior.

La construcción de los brazos es por medio de tabaquería en madera que se cubre con bambú esta recibe el barro como relleno formando un tabique lleno que trabaja con la inercia del barro. A la izquierda las faenas de terminación de los hornos solares del baño seco, al centro una vista de las faenas de construcción del techo, a la derecha parte del brazo que se desprende de la cúpula central.

El piso de la planta central es desarrollado en base a una mezcla de barro y terminación con una loseta de cemento teñido con tierra de color, las divisiones de la figura se realizan en madera logrando un efecto piezas independientes que dibujan la figura de suelo.

Esta construcción en el momento de la redacción de este texto y edición de fotografías aun no se encuentra lista por lo que las imágenes y la descripción del desarrollo de esta obra queda pendiente para una nueva edición en la que se completara este capítulo.

III.9.2 CONSTRUCCION DEL PROYECTO 2

El proyecto está emplazado en ladera poniente, es decir presenta una desnivel que permite el acceso horizontal por el segundo piso, en la imagen a la izquierda el terreno antes de ser intervenido, en el centro el terreno despejado y con el compás para determinar la excavación de las fundaciones, a la derecha el rebaje del terreno para lograr la horizontal que dará lugar al primer piso.

La recolección de neumáticos para el muro de contención se realizo por medio del seguimiento de las vulcanizaciones del sector, de forma sorprendente el movimiento de cuatro locales comerciales durante tres semanas permitió juntar la cantidad requerida para la obra, lo que recalca la importancia de re ocupar este desecho automotriz y reciclar este desecho que se presenta en una producción importante y que termina llenando los vertederos. A la izquierda el traslado desde el lugar de recopilación a la obra, en el centro la descarga en el terreno, a la derecha el material en terreno listo para ser ocupado.

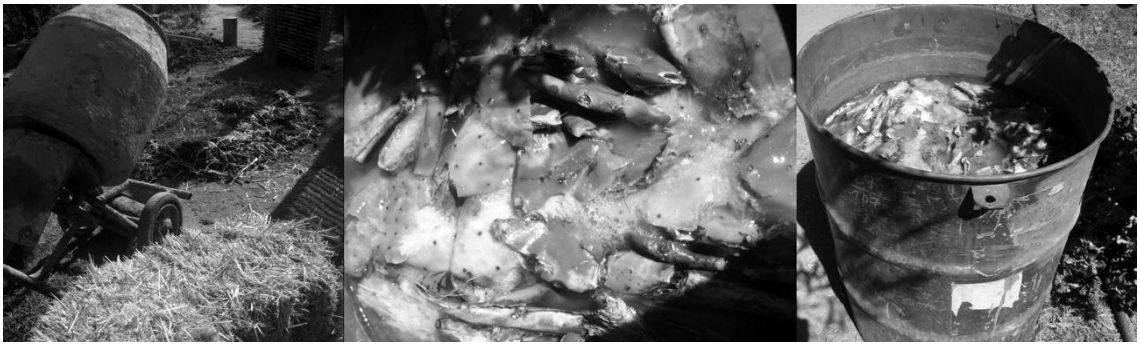
A medida que se avanza con las excavaciones otro equipo comienza a elaborar las piezas de la estructura principal, a la izquierda la viga maestra que cruzara la planta circular para estructurar el piso, al centro la pieza de refuerzo soldada a 40 centímetros entre el alma de la viga doble te de acero y las alas.

Una vez hecha la excavación de los pilares, nivelado del terreno y la realizado el emplantillado y hormigón, se ubican los neumáticos que funcionaran como fundaron para los muros, estos se rellenen de tierra y se compactan a combo, desde el empatillado se dejan fieros de 8 y de 10 intercalados, estos atraviesan los neumáticos y se amarran al resto de la estructura superior permitiendo que toda la masa se comporte de forma solidaria. El polietileno es importante para impermeabilizar y evitar que la humedad suba desde el terreno a los muros por capilaridad, sobre esto una capa de hormigón y la malla agma que pasara a ser parte de del radier o sobre cimiento, en la imagen izquierda sobre el polietileno que continua hasta cubrir el corte del terreno la primera capa de hormigón sobre esta la malla agma que evitara triza duras y hace solidario toda la superficie, al centro los postes fundados para recibir el segundo piso, a la derecha parte del proceso de construcción del radier circular.

Una vez terminado el sobrecimiento circular que trabaja como un anillo estructurado en hormigón y malla de acero se continúa con las hiladas de los neumáticos, los espárragos metálicos provenientes de las fundaciones quedan pasados y permiten atravesar las neumáticas del muro que se compactan de la misma manera descrita en las fundaciones. A la izquierda se logra ver las dos primeras hiladas de neumáticos de las fundaciones luego el anillo de sobrecimiento y la primera hilada de neumáticos del muro, en la imagen central una vista general de la faena, a la derecha muestra la posición de los neumáticos que están entrelazados entre hilada e hilada, esto es trabados a la usanza de la albañilería convencional, evitar poner neumáticas alineados entre hiladas permite entregar mayor solidez a la estructura, a pesar que el traspaso de los espárragos de las fundaciones se complica.

La estructura considera viga de hormigón que a modo de uña se entierra en la parte alta del terreno conformando el nivel del acceso, determinando el eje diametral central y el apoyo a la viga de acero que será la pieza central de la estructura de piso. A la izquierda las armaduras de acero para los pilares para listos para ser usados en el centro la fundación de los pilares en el terreno a medio hormigonar, estos traspasan los neumáticos de contención hasta el sello, a la derecha el marco de hormigón que define la altura del segundo piso, y la viga que va al terreno en forma de ancla donde se apoyara el hall de acceso y dará el eje para la escalera.

El encuentro del material apropiado para el barro con la dosificación de arcilla arena y tierra vegetal apropiada para la construcción presento un problema ya que en el sector este pedido no convencional para los proveedores de áridos fue imposible de satisfacer, esto obligo a buscar alternativas, la demolición de una casa de adobe en un pueblo cercano fue ideal para además de abastecer del material necesario pagar el trasporte con los recursos cancelados por la limpieza de la demolición. Además, de aprobar todas las pruebas de barro realizadas a este material y ser muy bueno por ahorrar una faena de preparación, logramos reciclar un buen material que estaba destinado a ir a botadero. A la izquierda el adobe en forma de ladrillos amontonados en la vereda, en el centro el camión cargado, a la derecha la capacidad de un solo viaje alrededor de seis metros cúbicos de buen adobe.



En la obra mientras trascurren estas faenas de recolección del adobe, la tuna ya está preparada y macerándose en tambores de aceite en agua, esta debe descomponerse durante dos semanas para lograr que el agua se torne espesa, todos los días se revuelve para obtener una mezcla homogénea. Esta será mezclada junto a bosta de caballo con los adobes molidos y harneados. A la izquierda la betonera que se le extrajo las aspas para evitar que la paja quede atrapada en ellas y lograr una mezcla apropiada, en el centro la tuna que es un cuarto de tambor de aceite flotando en agua, a la derecha el tambor en proceso.

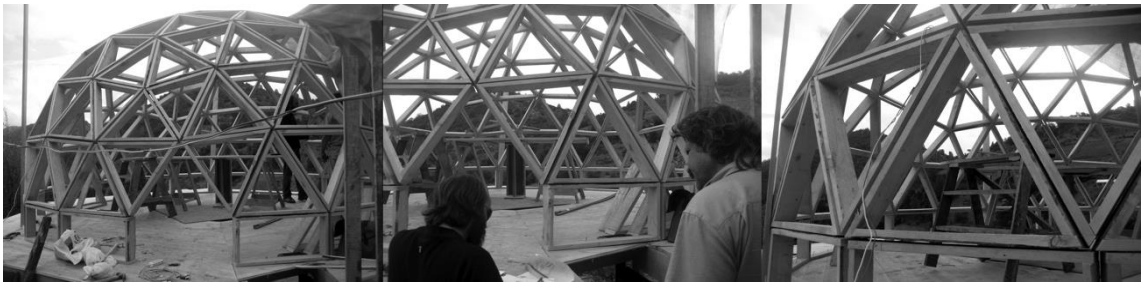
El muro de contención asegura el corte del terreno logrando la altura del segundo piso al lado oriente, una vez realizado le entrega estabilidad al marco de hormigón a las fuerzas horizontales ya que comienzan a funcionar de forma solidaria.

Realizada esta faena el muro se estuca por delante y por detrás dejando en contacto el hormigón con el polietileno o capa impermeable lo que evita filtraciones y que se humedezca el relleno de los neumáticos. Por la cara interior el estuco oculta los neumáticos haciéndolo parecer como un muro de contención convencional. Por el poniente se avanza con el antepecho del primer piso también de neumáticos permaneciendo con un espesar de 50 centímetros aproximados. A la izquierda una vista norte del muro de contención y el antepecho, al centro un detalle de unión con platina metálica entre madera, a la derecha vista sur del antepecho del primer piso y la plataforma sustentada en pilotes, el muro de contención y el marco de hormigo.

La estructura de piso consta de una viga central o maestra una doble t de acero reforzada, esta se apoya en el margo de hormigón al oriente y cruza de forma diametral hasta el poste poniente, desde aquí se desprenden hacia los cuatro pilotes restantes del hexágono vigas de madera que permiten ubicar vigas entre los pilares formando la periferia del hexágono, entre estas y el hexágono central más pequeño se apoyan el resto de los canes que terminan por darle forma a la estructura de piso. A la izquierda una vista del primer piso con el antepecho de neumáticos y el muro de contención al fondo terminado, al centro vista de la estructura de piso, a la derecha el apoyo de la viga maestra en el marco de hormigón.

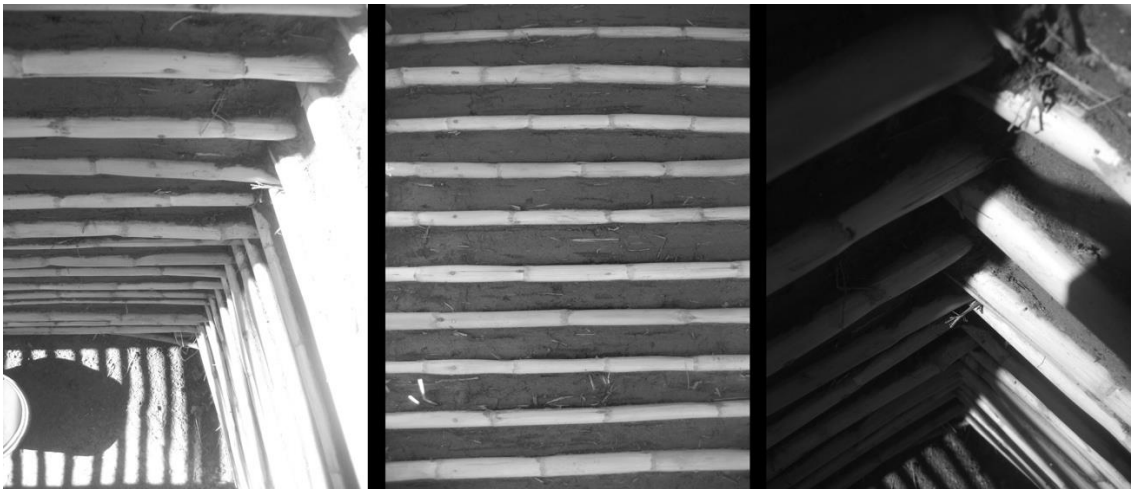
La unión principal de la estructura de piso es entre la viga madre de acero y las cuatro vigas de madera que descansan en los cuatro restantes pilares del hexágono. La solución constructiva a este nudo es la instalación de una platina metálica por debajo de la viga de acero, esta cumple la función de recibir las piezas de madera que va fijas por medio de pernos metálicos que atraviesan la unión metálica, por la parte superior platinas metálicas en forma de cruz evitan que las vigas de madera se levanten fijando la estructura a la viga madre de acero. A la

izquierda las platinas superiores soldadas a la viga madre, al centro pieza circular metálica, a la derecha la unión antes de ser cubierta por el machihembrado de piso.



Sobre la estructura de piso el machihembrado de piso le da forma a la plataforma a nivel del segundo piso, sobre ella la estructura del domo geodésico en madera en base a triángulos unidos con pernos de alta resistencia, de esta forma se le resta relevancia estructural al nudo donde se ejercen las mayores fuerzas, entregando gran parte de la responsabilidad a los lados o barras del domo. A la izquierda el domo en su estructura general, al centro la altura de terreno en comparación con la plataforma, a la derecha el detalle de la unión de los triángulos de la estructura.

Una vez realizada la estructura del domo se prepara los materiales del barro que requieren tiempo de preparación y de reposo para estar listos para ocuparlos, entre ellos la paja que formara parte importante de la maza entre los muros mas delgados de quincha, y parte primordial en los muros que tendrán el espesor del fardo. Es importante que la selección del material a ocupar, primeramente debe estar muy seco, y debe ser de trigo, muchos bio constructores también hablan de otros cereales como la avena pero el trigo es superior su fibra y rigidez y su resistencia a la tracción lo hace un elemento que coopera para amalgamar todo el resto de los componentes de la mezcla. A la izquierda los fardos apilados sobre rollizos para evitar la humedad del terreno, al centro la pila de fardos cubiertos para evitar la absorción de humedad del sereno de la mañana y lluvia, a la derecha la textura y granulometría de la fibra del trigo.



Los muros de quincha están estructurados a partir de madera de 2” por 4” interior y por el exterior se instalo bambú que funciona como contenedor del barro que llena todo el espesor del muro. El tabique interior está construido de forma convencional, al exterior los bambú ha sido perforado y atravesado por clavos que se fijan a la madera interior del tabique, se han dejado siempre espacios suficiente para cargar el muro de forma vertical desde arriba y el relleno se compacta suavemente hasta lograr la consistencia adecuada. Finalmente se le da un revoque fino de barro con arena y sin paja para lograr un acabado. A la izquierda el efecto de la trama en una vista desde arriba, al centro el efecto de la horizontalidad que entrega el bambú al muro en su terminación, a la derecha el encuentro de dos muros y el trabajo de traslape de las cañas para lograr un encuentro limpio y evitando las uniones entre cañas.

La impermeabilización de la base del tubo es importante ya que la humedad sube fácilmente por el barro por capilaridad lo que es muy perjudicial para la estructura ya que el barro una vez seco forma parte de la base de sustentación, y la absorción de agua en este sentido merma esta función. El revoque del muro en los caos que esto se convenga, se ha aplicado con una dosificación superior de arena para evitar que se craquéele además de aumentar la dosis de agua de tuna. A la izquierda se puede apreciar la estructura en madera interior del tabique y la ubicación externa del bambú en el muro a medio hacer, al centro la tierra harneada en una

granulometría fina para hacer la mezcla del revoque, a la derecha la primera capa de revoque esperando el fino de terminación.

La estructura del domo en madera luego de estructurada y unida por tirafondos metálicos es recubierta por planchas de terciado estas funcionan por dentro como cielo interior, y por fuera funcionan como parte de la estructura o superficie que recibirá los fardos de trigo. A la izquierda vista general de el recubrimiento de la estructura, al centro vista de las placas en relación a la plataforma de piso, a la derecha detalle de la unión de las planchas de madera y parte de la plataforma de segundo piso que sobresale con el espesor suficiente para recibir los fardos de aislamiento que contempla este domo.

En los tabiques en base a bambú la ubicación de ventanas es relativamente compleja por la terminación que requiere la unión del marco de la ventana y la forma tubular de la caña, por esto la experimentación con botellas es algo recurrente para lograr la transparencia en la superficie de estos. A la izquierda se extrajo dos líneas de caña para instalar las botellas al interior del tabique de forma vertical, al centro sin extraer ninguna línea se muestran las botellas en horizontal, a la derecha el efecto que logra la transparencia junto con la caña.

Entre los listones que conforman los triángulos estructura del domo geodésico, existe una distancia en el lado externo y una unión fuertemente comprimida al interior producto de la forma de la cúpula, esta diferencia es replicada por los triángulos de madera de la cubierta, de este modo se presenta una ranura que funciona como junta de dilatación entra los triángulos de superficie, evitando que se sobre pongan producto de la dilatación o contracción propia de la madera según la época del año. Esto se resuelve por medio de una mezcla de aserrín cola fria que funciona como aglutinante, rellenando estos espacios y después de seca la cola fría queda una superficie pareja y lisa apta para recibir el aislante. A la izquierda el domo cubierto con las planchas en contraste con un tabique de bambú, al centro la colocación de la mezcla para la unión de dilatación, a la derecha detalle de unión sellada.

La construcción del domo inferior que dará forma a la esfera, parte estructurándose desde las vigas hexagonales que unen los pilares en la estructura de piso, de esta forma van descendiendo y entregando a este tabique la forma de cúpula invertida. El antepecho de neumáticos del primer piso tiene una viga de coronación donde se ensamblan la estructura de triángulos. A la izquierda la forma circular cóncava del tabique en la primera planta, a la derecha una vista exterior del mismo tabique.

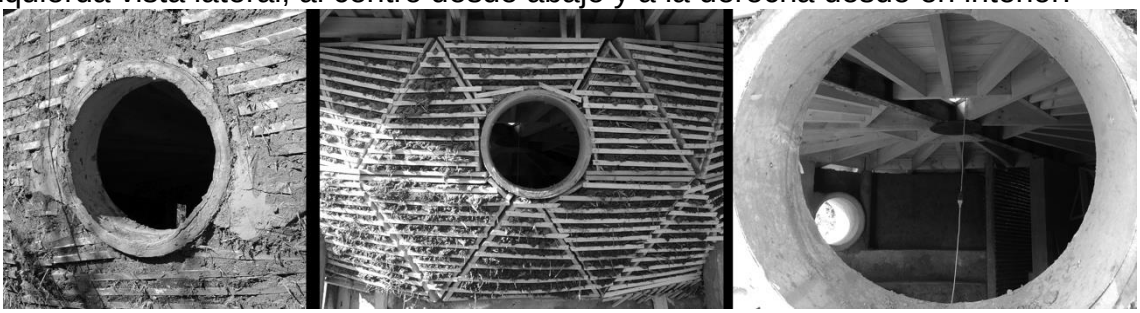
Los tabiques interiores por no tener función térmica se construyen con un espesor menor ya que su única función es de separar dos ambientes. A la izquierda una vista la faena de evoque, al centro vista de la escalera en proceso de construcción, a la derecha el hall de acceso con el interior del domo al fondo.

El baño seco es un elemento de la obra que debe tener especial atención por los requerimientos que exige su buen comportamiento en el uso, los hornos solares deben estar orientados al norte para que logren una temperatura adecuada por medio de la radiación solar para secar de buena forma las fecas. Se construyeron dos hornos con el fin de usar seis meses uno y seis meses el otro de este modo se deja el tiempo adecuado para que deshidraten de buena forma su contenido que posteriormente será cosechado para ser convertido en abono. La orina requiere de un ducto separado que termine en un pequeño dren para ser absorbido por el terreno. A la izquierda las tapas metálicas de los hornos, al centro los hornos estucados, a la derecha los hornos construidos en base a ladrillos en pandereta.

La ventana del recinto principal del segundo piso, ocupa casi la totalidad de la fachada norte, esto para enfatizar el rol del sol en el calentamiento e iluminación del espacio, el mueble de la cocina ocupa el espesor correspondiente a los fardos, es por esto que en este lado la estructura responde a un domo geodésico de mayor diámetro por lo que el entramado se extiende hacia el exterior deformando el contorno del domo, esta recuperara su forma al instalar los fardos, que por su espesor agrandara la cúpula exteriormente recobrando el plomo de la ventana desplazada. A la izquierda la estructura de la ventana con su expansión hacia el exterior, al centro el efecto del entramado del primer piso y la constitución de la esfera con la ventana, a la derecha el vano del segundo piso en una vista interior.

El acceso al oriente y la terraza exterior del primer piso al poniente se instalaron pastelones para diferenciar las áreas exteriores relacionadas con la circulación de la esfera y el terreno propiamente tal, de este modo se establece una circulación que parte en segundo piso por el oriente pasando por el hall, escalera y dormitorio y sale por el primer piso al poniente evidenciando al interior la pendiente del terreno en el que se emplaza la obra. A la izquierda la terraza en construcción, en el centro el acceso y a la derecha parte de la contención que requirió la terraza del dormitorio para mantener el nivel del interior.

El balcón del segundo piso se establece como el área exterior relacionada con el segundo piso, este tiene una vista poniente y además de tener una vista panorámica al paisaje funciona como una alternativa de ventilación del interior del recinto. A la izquierda vista lateral, al centro desde abajo y a la derecha desde en interior.



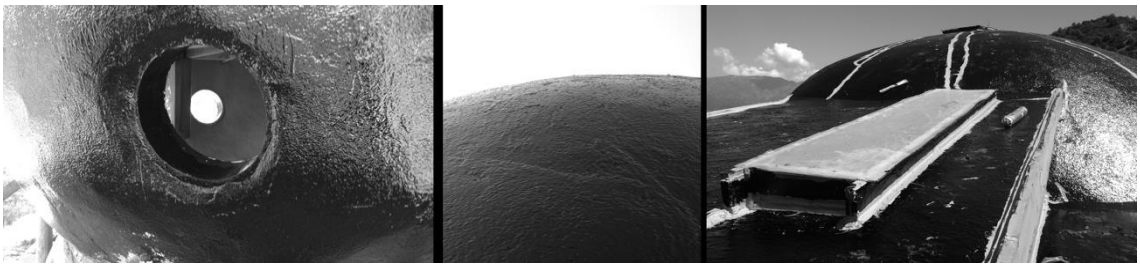
Las aberturas del primer piso son menores para evitar las pérdidas de calor durante la noche, además que por ser el dormitorio la luminosidad y el cobijo fueron mas regulados, los vanos están construidos en base a un tubo que fue seccionado al espesor del tabique, la ventana está pensada para ser instalada de forma que funcione con un pivote central de ente modo abriendo dos de ellas se genera la ventilación cruzada que durante el verano permite una regulación natural del interior. A la izquierda el vano instalado con las primeras manos de revoque, al centro el tubo ubicado en el tabique con las maderas de contención del barro del tabique una la vista, al derecha el vano de la ventana con una vista al interior que muestra la ventana al fondo que es la contrapartida para lograr la ventilación cruzada.

Los fardos son instalados directamente sobre las placas de madera que forran la estructura del domo, los paquetes de trigo son ubicados de la misma forma que los ladrillos en una albañilería convencional de forma traslapada, de este modo quedan trabados y funcionan mejor que puestos unos sobre otros de forma lineal. Por la curvatura de la cúpula los fardos van dejando una abertura en la parte exterior del perímetro mientras que al interior se aprietan con fuerza, esto es resuelto por medio de una cantería en barro, es importante que sea de este material y no de paja, ya que el fardo no es inflamable única y exclusivamente por su consistencia, es decir el trigo esta comprimido por las amarras del paquete y esto no permite que entre aire al molde evitando que prenda, si se llenan estos espacios con paja suelta el aire penetra fácilmente y pone en riesgo toda la estructura, es por esto que el barro con sus características no combustible cumple muy bien esta labor además de no disminuir la aislamiento térmica del conjunto. A la izquierda parte de la cúpula con fardos y nivelando el plomo con la ventana norte, al centro fachada sur completamente enfardada, izquierda parte del techo del hall con la postura de los fardos en proceso.

Una vez colocados los fardos sobre la estructura comienzan las faenas de cubrir con barro la cúpula esto permite entregarle nuevamente la forma de esférica a la superficie, además de homogenizar la extensión cubierta. Además de lo anterior es importante que el fardo este en contacto con el barro ya que este funciona como esponja absorbiendo cualquier humedad que tenga el trigo durante su colocación o en su posterior vida sobre el domo. A la izquierda un detalle de unión de los distintos sistemas, la quincha en bambú, el terciado estructural de base, el fardo de trigo y el revoque de barro, al centro la esfera en esta etapa de construcción, a la derecha detalle de la parte superior en desarrollo.

Según la evaluación térmica la esfera requiere una lucarna superior que actúe como chimenea para evacuar el calor durante el verano, esta fue construida prolongando dos triángulos de la estructura geodésica, de este modo se presenta una unión natural en el interior y al exterior evidencia el panorama que se vive al interior del espacio. Además entrega luz cenital al recinto lo que siempre es bienvenido cuando se trata de iluminación natural. A la izquierda las ventanas cenitales superiores con el revoque de barro terminado, al centro en detalle de la vista desde el techo al interior del segundo piso, ala derecha las lucarnas en proceso de construcción.

Sobre el revoque de barro se aplica un estuco de cemento es cual funciona como elemento para alisar la superficie aun mas, esto debido a las especificaciones y requerimientos de el material de impermeabilización final. Previo al estuco se instala una malla metálica que funciona tanto para contener los fardos como para estructurar la superficie de cemento. A la izquierda el techo del baño y el hall con sus diferentes altura, al centro la fachada sur estucada y lista para recibir el impermeabilizante, a la derecha una vista desde el techo del baño y la corrección de la curvatura de la cúpula al fondo.



Cuatro tipos de ventanas componen los vanos de la esfera, cada una con su estrategia de acondicionamiento lumínico, de captación de radiación salar y de ventilación, según las necesidades y requerimientos de cada recinto. En la imagen una vista nocturna de cada una de ellas, a la izquierda las ventanas circulares del dormitorio que se comprimen para evitar perdidas durante la noche y el invierno, al centro la ventana del segundo piso que funciona como un horno solar captando el sol de la fachada norte, la ventana del baño que da a la ducha vertical entrega luz y calor en la mañana y posee celosía que junto con el vidrio catedral controla el efecto solar durante el día y entrega privacidad al recinto, y a la derecha las ventanas cenitales superiores que funcionan como chimenea evacuando el exceso de temperatura cuando es necesario.

El contacto de los muros de adobe con el terreno debe tener una especial atención ya que el barro absorbe la humedad del terreno o de aguas lluvias que puedan tener contacto, es por esto que la llamada pata de elefante es relevante al momento de entregarle la terminación inferior al muro, este elemento consta de un impermeabilizante que aísla el muro del terreno, luego piedras sueltas que al ser irregulares dejan espacios entre ellas evitando por medio de estos vacíos que la humedad suba por capilaridad, posteriormente a esto se ubican las piedras de terminación las que van unidas por medio de una cantería en este caso de cemento pudiendo hacerse también con barro y cal. Al engrosar la base del muro le entrega mayor estabilidad y adicionalmente permite que el agua lluvia proveniente del techo

caiga en las piedras que la hace correr sin afectar la base del muro. Ala izquierda la pata de elefante terminada, al centro el cemento fraguando, a la derecha las piedras de menor tamaño interior y la membrana impermeable.

La estufa en el dormitorio permite que además de calentar este recinto calentar el segundo piso ya que el aire caliente sube en una circulación natural tempera la planta superior. Con tubo de la chimenea se tuvo una especial precaución en el momento de su instalación, y fue sacarlo a la menor distancia posible hacia el exterior, a pesar de que el calentamiento del cañón de la chimenea coopera mucho con calentar los recintos y era una oportunidad para dejarlo pasando por el interior del segundo piso, la materialidad de la envolvente de la cúpula superior nos hizo determinar evitar el contacto directo con el domo superior, de este modo la extracción de este elemento se realiza por el primer piso alejando el ducto de la fachada por precaución a un eventual incendio. A la izquierda la chimenea de lenta combustión en el primer piso, al centro el cañón de la estufa evitando contacto con la fachada, a la derecha el tubo emergiendo del muro con el debido aislante térmico.

La ventana cenital del hall permite la entrada de luz natural al recinto esta ilumina este espacio y la escalera hasta el primer piso dramatizando la lectura vertical del lugar. A la izquierda la escalera en primer piso iluminada como si fuese un exterior,

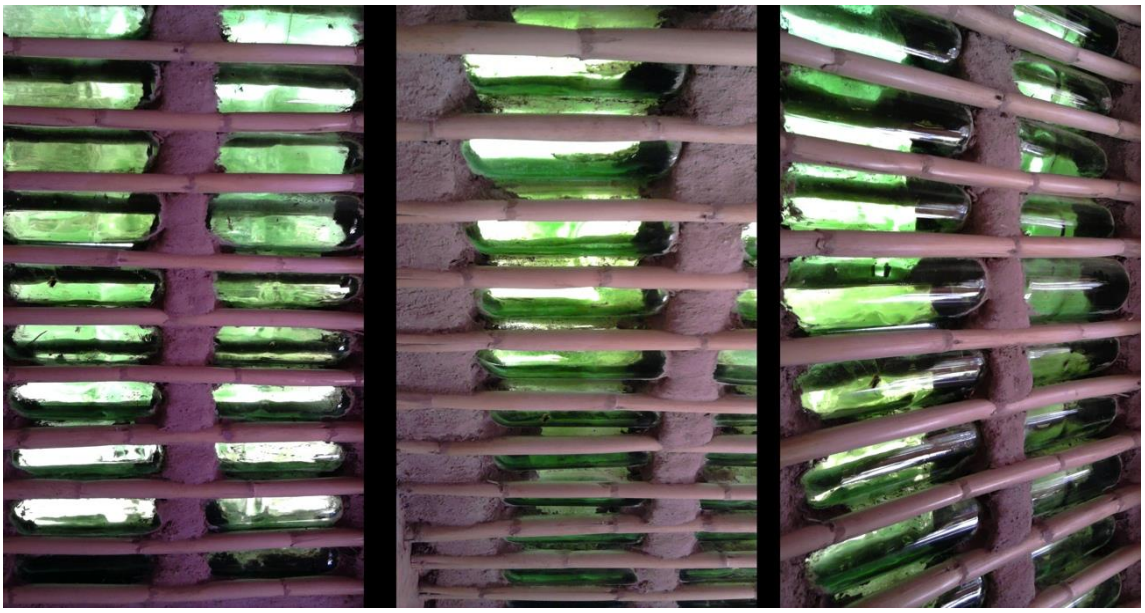
al centro la ventana cenital apoyada por la transparencia del tabique mediante botellas de reciclaje, a la derecha una vista hacia arriba desde el primer piso.

El baño fue terminado con piedra caliza todo el piso este tiene una pendiente hacia el sector de la ducha por lo que esta queda incorporada como parte del espacio transitable, el aspecto final es una continuidad del piso al muro lo que entrega una aspecto pétreo al lugar, el baño seco fue entregado con el separador en funcionamiento instalado en el horno izquierdo el mueble del lavamanos fue confeccionado en obra y con cubierta también con cubierta de piedra caliza. A la izquierda el separador del baño seco, al centro el lavamanos, a la derecha la ducha y el tabique que la separa del baño seco en piedra caliza.

El volumen del hall fue terminado con tabaquería de caña por dentro y por fuera y entre los bambúes se estuco con revoque fino y baba de tuna, esto le entrega un aspecto rustico pero de terminación y acabado, en los extremos del tabique fueron terminados con listones de madera que sobresalen del plomo de barro del muro para abarcar la forma tubular de la caña, de esta forma las puntas de los bambúes quedan cubiertas y cerradas por la madera, el cielo del recinto es machihembrado de madera al igual que los tapa canes, puerta, piso, y junquillos de terminación. A la izquierda vista desde la escalera del primer piso, al centro vista frontal del acceso, a la derecha vista lateral.

La estructura del domo al interior por haber sido construida a partir de dos listones y no de nudos, cada lado de los triángulos presenta dos piezas de madera, a pesar de estar perfectamente unidas por ser el lado interno del domo no es un elemento de terminación por lo que se enchapo todas la uniones dejando una tapa de madera para todas las nervaduras del entramado. Esta operación permitió dejar evidente la estructura geodésica por el interior y cada lado de los triángulos se muestra como una sola pieza de madera. A la izquierda el efecto general del enchape, al centro un detalle de la unión de maderas en el nudo o encuentro de lados, la forma de trabajar el hexágono en estas dimensiones tan pequeñas es por medio de priorizar la unión de tres lados primero y dejar los tres intermedios por adaptándose a las diagonales por fuera, de este modo se evitan una serie de cortes que requeriría la unión para hacer llegar los seis lados al centro, finalmente a la derecha el detalle de terminación de la ventana cenital que por medio de su forma se hace parte de la estructura triangular extrayendo parte del reticulado al exterior.

Los muebles del modelo fueron realizados en obra debido a la exclusividad de los modelos requeridos por la poca superficie y la forma del refugio, la mesa de comedor cocina fue pensada de forma circular para el lado de la cocina y de forma recta respetando el eje diametral de la circulación acceso balcón, abajo contempla la instalación de un pequeño refrigerador, cajoneras, el espacio para el balón de gas y el lugar para guardar los pisos que hacen las veces de silla de comedor, en la superficie se realizo un nicho en bajo relieve que permite instalar la cocinilla, para su funcionamiento se extrae la superficie de la mesa entregando el espacio para la preparación de alimentos, cuando la mesa se utiliza como comedor se coloca la superficie tapando el nicho y la mesa recupera su forma original, la superficie se termino con mosaico de colores pétreos que se conjugan con la misma terminación del lavamanos, por el borde se le dio una terminación en madera. A la izquierda la mesa vista general, al centro la terminación de cubierta, a la derecha el nicho de la cocina abierto y preparado para cocinar.



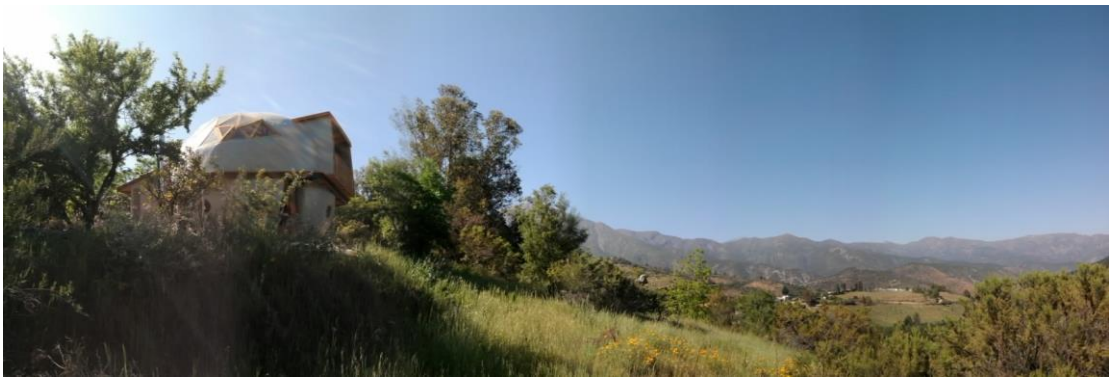
Las botellas insertas en la quincha de bambú entregan una luz verde al interior del recinto, permite una transparencia regulada que deja entrar luz pero no permite la vista a través de ella, las cañas encofran el vidrio en esta superficie y continúan estructurando el resto del tabique en barro entregando una continuidad entre el área traslucida y el muro efecto que no logra la ventana convencional por la existencia del limite establecido por el marco y la terminación del vano la que la constituyen como un elemento diferente del muro, en este caso el lenguaje planteado para la terminación de la superficie permanece y la transparencia se hace parte de la estructura.

La ventana del segundo piso después de estructurada por medio de los triángulos de madera se reforzó con listones de borde que le entregaron un espesor superior al resto de la estructura, después de este proceso se termino con listones de superficie que quedaron sobrepasando el lado del triangulo para recibir el vidrio y la terminación de la ventana. Luego de instalados los vidrios el sello perimetral para evitar filtraciones. A la izquierda la ventana en una vista exterior, al centro la ventana con el mueble de la cocina en una vista interior, a la derecha exterior con el volumen del baño al fondo.

Los sillones del estar fueron construidos en base a planchas de terciado, estos están pensados para se ocupados por una sola persona cada uno de este modo es mas fácil tener movilidad en una reunión y al mismo tiempo ordenarlos de manera perimetral al borde des living para ordenarlos al espacio, estos muebles contemplan una tapa en asiento que abriéndola dan acceso a todo el volumen del mueble que es hueco y permite que funcione como closet o gavetas para guardar cosas. La antropometría ocupada en las dimensiones permite una postura bastante cómoda, de todas formas están pensados para ubicar un cojín en cada uno de ellos.

Los pisos que hacen las veces de sillas del comedor son sumamente simples en su diseño no son más que un volumen cúbico extendido, las dimensiones y la forma de los volúmenes permite agruparlos debajo del mueble de comedor permitiendo liberar la circulación diametral de la planta circular cuando no están en uso maximizando el espacio, estos mantienen una relación con el juego de sillones del estar ya ubicándolos en el lado circular de la mesa central permite tomar el diámetro

completo del espacio para lograr la distancia adecuada de la reunión de ocho personas cómodamente en el recinto.

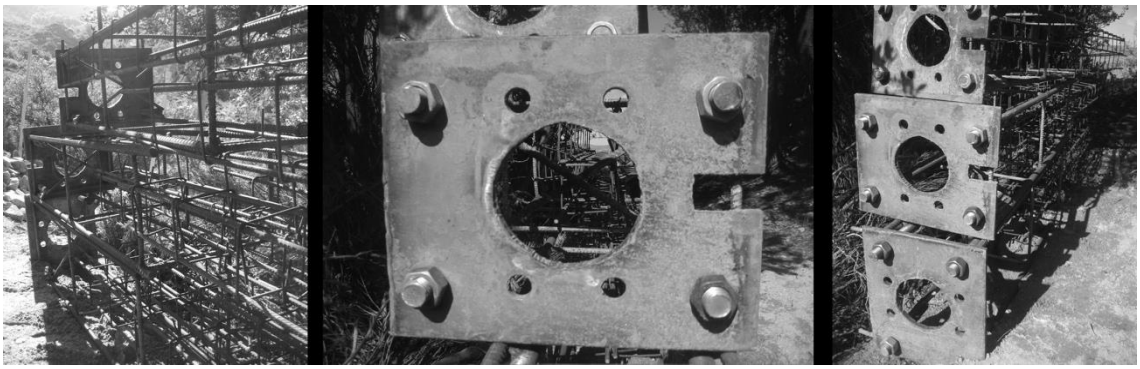


Vista del dormitorio del primer piso a la izquierda la cama a la derecha el escritorio y en la envolvente las cinco ventanas circulares que permiten el paso de la luz y radiación moderada, el tabique cóncavo da a entender el lugar que ocupa el espacio dentro de la esfera, al fondo la puerta que da hacia la terraza, la terminación del muro es en base a cal lo que entrega un color blanco que ayuda a la iluminación natural del recinto, a la derecha abajo se alcanza a ver una parte de la estufa.

A la izquierda la fachada norte muestra el baño seco con su chimenea solar instalada para el funcionamiento de los hornos, el tubo de la chimenea del primer piso, la celosía del baño, la ventana principal del segundo piso y las ventanas circulares del primero, la forma que adquiere la pata de elefante denota la pendiente del terreno. Al centro una vista del acceso fachada oriente con la cubierta terminada, a la derecha la fachada sur sin ventanas prácticamente y con un espesor de muro adaptado a la orientación.

III.9.3 CONSTRUCCION DEL PROYECTO 3

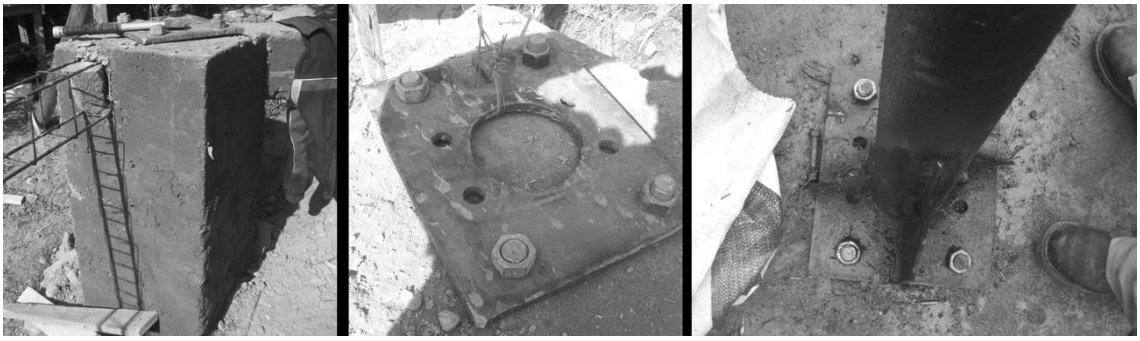
El proyecto se encuentra emplazado en ladera oriente, de la cordillera e la costa desde aquí se puede observar los valles transversales con la cordillera de los andes al fondo. En el lugar las condiciones naturales se han mantenido debido a la altura y el difícil acceso del sector. Es por esto que el proyecto pretende tener un mínimo impacto para no modificar estas condiciones, de este modo a adecuarse al lugar sin trasformar lo existente. Se comienza por definir un lugar entre árboles de una altura media y teniendo la precaución de ubicar la edificación entre ellos en la posición adecuada para evitar cortar ninguno. Se realiza la excavación de los seis poyos iniciales definiendo el perímetro de toda la estructura según lo descrito en las plantas de arquitectura. A la izquierda se aprecia la pendiente del lugar seleccionado, al centro la excavación y la cantidad de tierra extraída a pala y a chuzo por la imposibilidad de ingresar maquinaria al lugar, a la derecha la excavación lista para recibir la enferradura.



Las platinas para entregar la unión entre los poyos de fundación y la estructura metálica son cortadas de forma rectangular según las especificaciones, en los cuatro extremos se perforan para permitir el paso de pernos de 1.5” que fijaran la estructura metálica al hormigón y al terreno. La platina es cortada en el centro con el diámetro de los pilares con el fin de dejar pasados los fieros hasta la cara inferior

de la platina logrando una mejor unión entre las piezas producto del traslape. A la izquierda la enferradura de fundación dimensionadas según las medidas de las platinas, al centro un detalle de los diferentes cortes de la pieza, a la derecha los materiales apilados listos para ser instalados.

La instalación de la enferradura de los poyos en las seis excavaciones requieren ser aplomadas y apuntalada antes de recibir la mezcla de hormigón, a la izquierda se muestra los puntales que permiten mantener la estructura en posición mientras recibe los áridos, las cadenas de fundación que unirán los poyos de forma hexagonal se entrecruzan con los fierros superiores con el fin de dejar una estructura solidaria que trabaje como una sola pieza de cimiento, al centro el poyo ya hormigonado con la platina presentada para evitar deformación y descalce durante el proceso, a la derecha la platina sobresaliente del moldaje de las cadenas de fundación sin pernos ya que debe ser retirada para terminar con la mezcla hasta el nivel superior del elemento constructivo.



Una vez terminada la faena anterior los único que sobresale de la estructura metálica son los pernos de contención, se instala la platina nuevamente donde las perforaciones de los extremos calza perfectamente con los pernos debido a las precauciones anteriores, se desmoldan los poyos y se colocan las tuercas que terminan de fijar la placa a la masa de hormigón. Una vez hecho esto se procede a

ubicar los postes metálicos en la posición vertical, se ubica el pilar al interior del corte central de la plancha metálica quedando pasado y en contacto con el hormigón de este modo la superficie de contacto aumenta y permite una mejor y mas segura soldadura entre las bases metálicas y el poste que es fijado en su entorno sellando todo el perímetro de contacto. A la izquierda el poyo de hormigón desmoldado, al centro la platina fijada al hormigón, a la derecha el poste soldado a la placa metálica.

Las vigas de sobre cimiento unen los poyos de fundación en su extremo superior, producto de la pendiente cuatro lados quedan bajo tierra y dos unen los bloque de hormigón de forma aérea cumpliendo de esta manera con su función de amarrar los seis puntos a nivel construyendo una base solidaria que recibe el resto de la estructura. La posición de los pilares metálicos requieren de un aplome inicial que permite tomar las medidas del ángulo de inclinación que especifica el proyecto, de este modo la medida se toma inicialmente desde la posición vertical 90º de modo se inclinan los postes hasta alcanzar la medida de la distancia al pilar diametralmente opuesto en su parte superior, hecho lo anterior la rectificación pasa por medir el ángulo resultante en la base modificando pequeñas diferencias que se puedan haber producido en el proceso. Una vez alcanzada la inclinación deseada se fija el poste mediante diagonales y contrafuertes que permiten estabilizar la posición para ser soldado en la platina de fundación. De este modo los pilares se van ubicando de dos en dos. A la izquierda las vigas de sobre cimiento, al centro la estibación del pilar mediante apoyos laterales, a la derecha la ubicación del pilar determinando su posición y ángulo mediante su contraparte diametralmente opuesto.

La instalación de las vigas maestras de acero de ambos pisos es la primera unión física de los pilares, estas funcionan en distintos niveles como los primeros elementos que comienzan a componer la estructura, en la parte superior se sueldan directamente en la punta de los postes metálicos y en el nivel inferior se desarrollo una pieza de unión para aumentar la superficie de contacto entre los metales y lograr un ensamble con mayor área para el empalme asegurando la labor de la soldadura. A la izquierda la instalación de la viga metálica superior, al centro la luz del arco de soldadura, a la derecha la instalación de la viga maestra inferior.

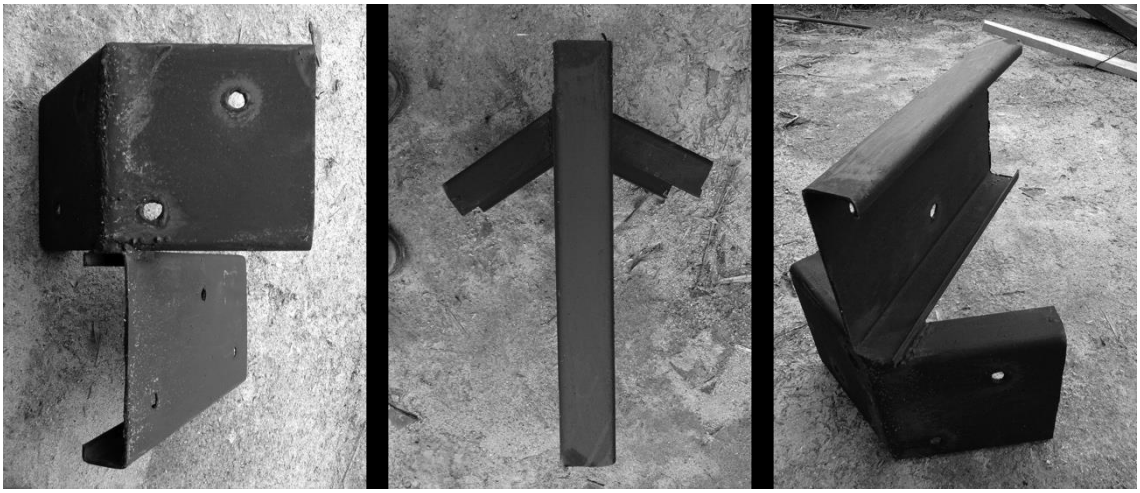
Ambas vigas de acero están apoyadas en distintos pilares con el fin de distribuir de la manera los mas homogénea posible las cargas en las fundaciones. Las vigas de madera completan la figura, apoyadas en el centro de las vigas maestras y en los otros extremos directamente sobre los cuatro pilares restantes completan la forma de los seis rayos que componen la base de la estructura de piso, las vigas de madera que forman hexágonos concéntricos van estructurando las piezas y conjugan sus esfuerzos con el fin de hacerlas funcionar como una sola placa. A la izquierda las vigas maestras instaladas en ejes distintos, al centro las cuatro vigas de madera del tercer piso, a la derecha las vigas hexagonales reciben los canes

que completan el entramado de piso del la tercera planta, la plataforma de piso del segundo piso se aprecia en esta imagen flotando por medio del las vigas de apoyo.

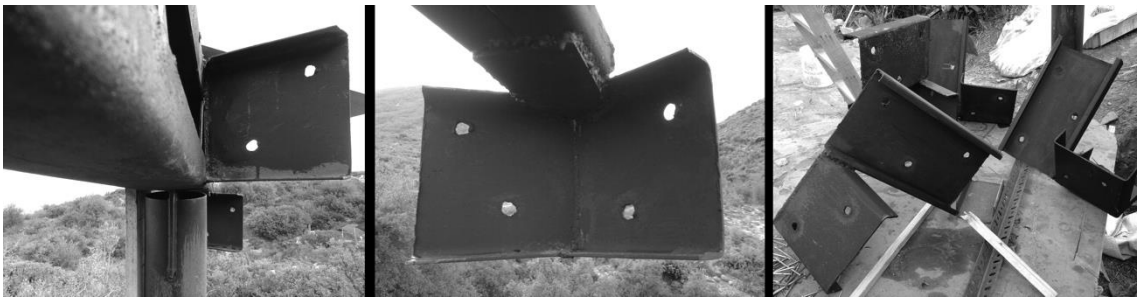
La altura que adoptan las faenas hace necesario arneses, cascos, cuerdas y en general elementos básicos de seguridad, el viento a la altura de 2250 donde se emplaza la obra es un elemento a considerar, ya que repentinamente se levantan ráfagas inesperadas que hacen mover la estructura aun no afitada y capases de arrastrar a un hombre lo que presenta un factor de riesgo el cual hay que minimizar.

Las uniones entre madera y los pilares de fiero son ejecutadas en base a piezas de unión, en general se usan platinas y vigas u que comparten la sección de las vigas, de este modo son soldadas a los postes de fiero fijándolas a la parte metálica y las vigas son insertadas al interior de las piezas y fijadas con pernos, golillas y tuercas. De este modo se logran uniones que permiten que la estructura mixta funcione de forma colaborativa para consolidar la estructura de las plataformas. A la izquierda unión entre viga de madera del segundo piso con pilar metálico, al centro unión de viga de madera del tercer piso con la punta de los postes, a la derecha unión de la viga de madera con el pilar metálico por su lado de madera.

La unión entre las vigas maestras del tercer y segundo piso se realizan por medio de una platina soldada a las vigas principales metálicas, las vigas de maderas son fijadas por medio de pernos, golillas y tuercas que perforan la platina y la madera permitiendo un ensamble entre estos materiales. A la izquierda la platina de unión de segundo piso, al centro la unión en la tercera planta, a la derecha unión metálica entre la viga maestra y el hexágono de vigas de madera que terminan el perímetro del piso del segundo piso.



En los extremos exteriores de las vigas de madera de del tercer piso se realizan uniones metálicas entre maderas, esto por medio del uso de perfiles “u” metálicas soldadas con el fin de entregar dos planos de vigas, esto es la unión de las vigas de maderas radiales en un plano y la configuración del hexágono periférico en un plano inferior. Lo anterior con el fin de que las vigas que conforman el hexágono funcionen como apoyo a los canes o vigas intermedias que entregaran apoyo al balcón, este método evita cortar las vigas de madera sorteando el corte de su sección típico en las uniones de vigas de este tipo, de este modo se mantiene la resistencia de toda la sección de la viga permitiendo un volado superior en el que descansara la circulación periférica superior.



Las vigas de madera que conforman el hexágono periférico son unidas mediante una pieza metálica soldada directamente sobre la viga maestra, las uniones en dos planos de vigas externas del balcón del tercer nivel son soldadas en el extremo en volado de las maestras. A la izquierda la unión hexagonal interior en el mismo plano

que vigas de piso de la tercera planta y al fondo la unión del extremo en segundo plano de vigas de madera, al centro la unión para el segundo plano en su versión viga maestra, a la derecha conjunto de uniones para madera listas para ser ocupadas.

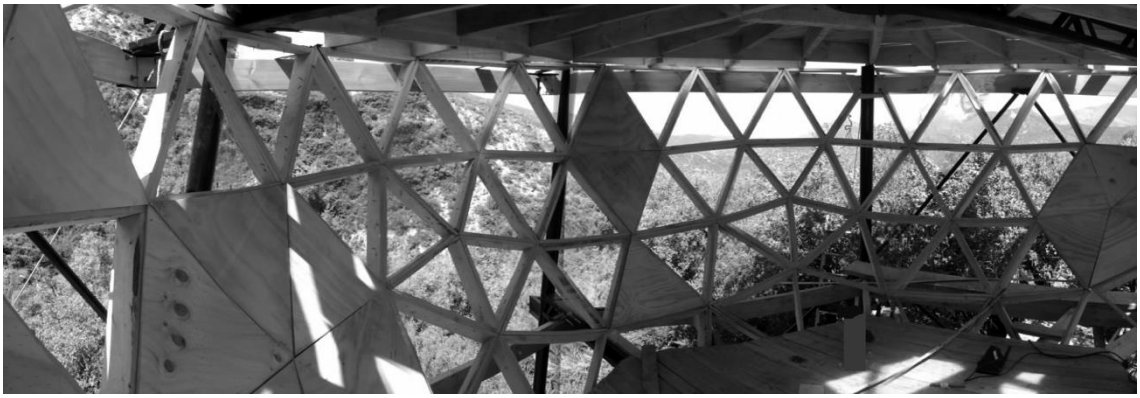
El hexágono producido por la unión de los pilares en la parte superior determina el machihembrado de piso este colabora en unificar los esfuerzas de las vigas de madera funcionando como una placa que relaciona las diferentes piezas que componen el paquete constructivo, en el segundo piso el hexágono es menor y no alcanza a tocar los postes metálicos. A la izquierda en primer plano los radios del segundo piso no llevan piso, al fondo la viga maestra y los canes de madera de la estructura de piso del tercer nivel, al centro una vista desde abajo del machihembrado de madera del tercer piso, a la derecha las dos plataformas.

A la izquierda viga principal en madera de la estructura de piso del tercer nivel con su unión metálica al extremo instalada, vigas periféricas del hexágono exterior en plano inferior instalada, al centro vista desde debajo de la viga maestra del tercer piso y las vigas de madera perimetrales hexagonales en plano inferior instaladas, ala derecha el segundo nivel todo en un solo plano.

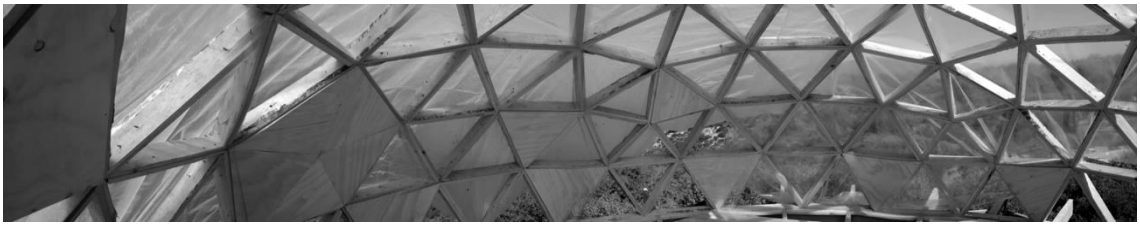
Una vez terminada la faena de estructura de piso y puesto el machihembrado de piso, comienzan las faenas de construcción del domo geodésico invertido, es decir la parte de debajo de la esfera. Esta faena es necesaria comenzarla desde el tercer piso ubicando los triángulos o base del domo invertido por arriba de las vigas diametrales de la estructura de piso del tercer nivel, esto con el fin de establecer una unión sólida entre los muros del segundo piso y la estructura de piso del tercero. La unión de los triángulos requieren de una platina adicional en cada uno de los extremos debido a los esfuerzos de tracción que reciben al estar colgados desde el piso hacia abajo, contrario a los esfuerzos de comprensión que establece el domo construido de forma convencional.

A medida que la unión de los triángulos de la cúpula invertida permiten que el tabique tome contacto con el piso de la segunda planta la estructura adquiere rigidez y con las uniones con las vigas comienza a comportarse solidariamente adquiriendo las características estructurales del domo esta ves trabajando cada una de las piezas a la tracción. Una vez construidos los tabique del segundo piso en forma cóncava e invertidos, se comienza con el domo superior que terminara por darle forma a la esfera, este se dispone respetando la sección del perímetro circular que plantean los primeros triángulos del domo invertido que tienen sus bases seccionando el perímetro ecuatorial de la esfera. A la izquierda vista del tabique interior del segundo piso, al centro la construcción en proceso del domo superior, a la derecha una vista de las dos plantas de la faena.

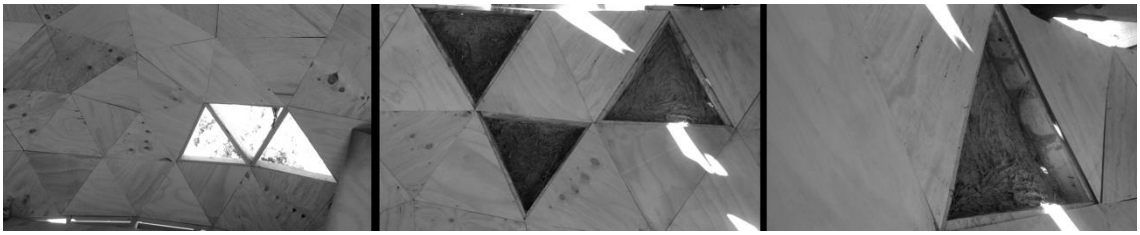
Las vigas hexagonales periféricas en forma de hexágono del tercer piso entregan el apoyo a las vigas radiales del plano de la estructura de piso de este nivel, de este modo emergen de forma radial en volado, estas constituyen la estructura para recibir la circulación periférica exterior de este nivel. A la izquierda y derecha vista de esta estructura, al centro vista general de la esfera.



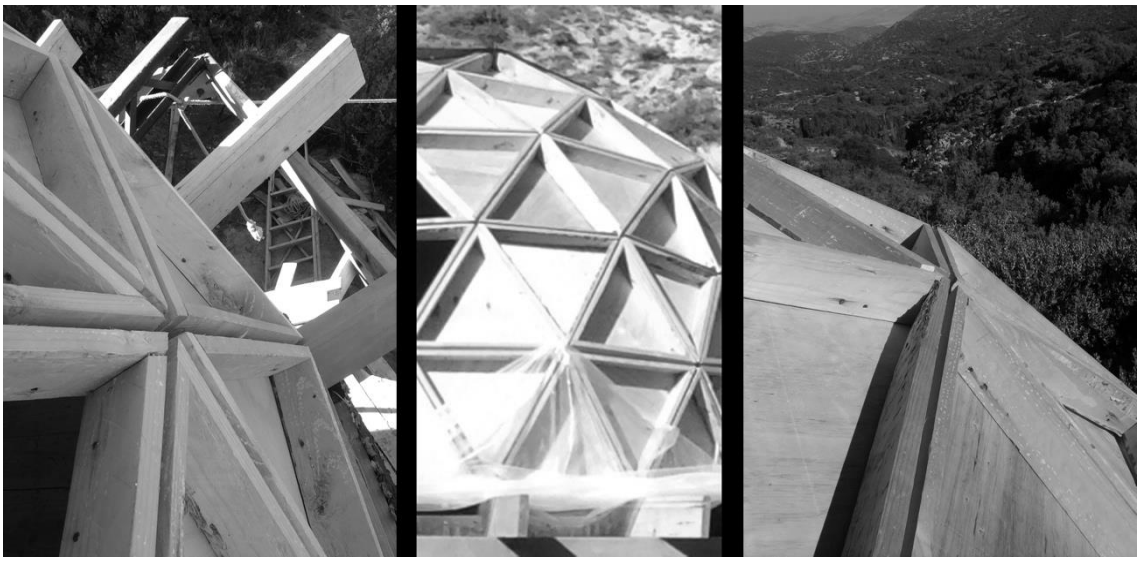
Vista general del tabique cóncavo del segundo piso y el efecto que da la observación del paisaje triangulado por efecto de la estructura.



Vista general del domo del tercer piso con una cubierta plástica para proteger la estructura de las inclemencias del tiempo.

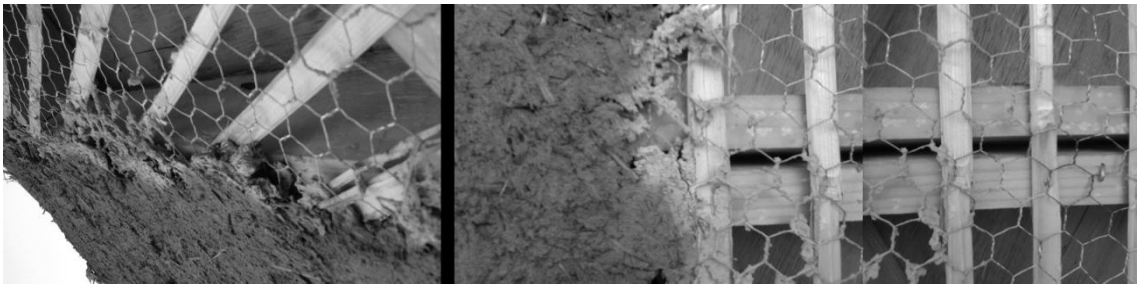


La terminación del cielo interior de la esfera es en base a terciado estructural, esta vez dispuesto por el interior de la sección de los triángulos, esta operación esconde la estructura de geodésica entregando un resultado mas cupular, es decir una superficie lisa donde se reconoce la trama triangular solo por los ángulos que presenta la terminación interior. A la izquierda una vista general de la terminación de cielo, al centro y a la derecha un detalle que muestra la superficie y el espesor del tabique que es la sección del triangulo.



La ubicación del terciado por el interior del domo permite dejar la sección del triangulo libre por el exterior, de este modo se produce una suerte de nicho donde se pone el barro que constituirá el aislante y la masa térmica de la esfera. A la izquierda y derecha un detalle del nicho o cajón para recibir la masa térmica, al centro una vista general del efecto exterior resultado de esta operación.

La caña fue utilizada como elemento de contención para la mezcla de relleno de los tabiques inferiores, una vez instalada una a una entre triángulos entrega la forma esférica deseada para la superficie exterior, las diferencias entre ángulos y uniones terminaran de redondearse con el estuco. El bambú se rajo por la mitad de forma trasversal de forma que permite una mayor moldeabilidad, de este modo entrega la curva necesaria que exige el contorno del volumen. En las imágenes distintas formas de disponer la caña en el triangulo.



En el tabique inferior la caña entrego el soporte para que la malla hexagonal metálica tome la forma del tabique, esta estructura y soporta la mezcla que se aplicara por dentro de la esfera, además de entregarle una trama en la que fija el estuco exterior. A la izquierda la caña la malla hexagonal y el estuco que da forma circular al tabique, ala derecha la caña y la malla hexagonal fijadas a la sección del triangulo del tabique y el estuco en proceso.

El revoque del segundo piso termina de dar forma a la esfera por su parte inferior y el secado en general de esta porción del volumen es muy lento debido a la sombra que le hace el mismo edificio, a la izquierda el revoque prácticamente seco y aun con humedad en la parte inferior, al centro el efecto del revoque del segundo piso y el domo del tercer piso listo para recibir el barro, a la derecha un detalle de la viga de piso del segundo nivel emergiendo del interior de la esfera en su parte inferior.

La escalera caracol que une verticalmente los tres pisos fue construida por medio de un poste central y dos tipos de platinas metálicas, las primeras fijadas al pilar del eje por medio de tirafondos metálicos en forma de l le entregan asiento a la parte

angosta de los peldaños, las otras piezas metálicas unen los peldaños entre ellos entregándoles un apoyo en cadena que se rigidiza con el contacto con las vigas de piso del nivel superior. A la izquierda la llegada de la escalera al terreno, al centro la escalera interior que asciende al tercer piso a la derecha una vista de las platinas metálicas que entregan estructura a los peldaños.

Botellas, tarros y frascos son ocupados para dejar pasar la luz al interior del tercer piso, estos se cortan a partir de la aplicación de calor el la sección del perímetro donde se quiere trozar, a la derecha la maquina de corte hechiza que contempla un circuito eléctrico que funciona como cuchillo de corte al calor. Al centro una serie de botellas cortadas y listas para ser aplicadas en la fachada norte, a la derecha los golletes restantes de la operación.

Los tarros son cortados liberándolos del fondo de esta manera se logra un tubo que se sella con vidrio por un extremo, a la izquierda los tarros cortados, al centro los tarros con el vidrio instalado, a la derecha el detalle de unión de la ventana circular.

El terciado de cielo ubicado por el interior del domo es cortado circularmente con el diámetro de la botella, garrafa o tarro que se ubicara, de este modo el elemento transparente seleccionado para cada caso penetra su canto en el espesor de la plancha de madera, quedando traslapado de esta manera el sello se puede lograr su función de mejor manera. A la izquierda el efecto de luz en el interior, al centro

la colocación de los diferentes elementos circulares por el exterior del tabique donde recibe el sello, a la derecha los diferentes diámetros de los elementos trasparentes que evitan la rigidez en la ubicación y dimensión de las ventanas cenitales.

Una vez ubicadas las ventanas se cubre todo el nicho construido por el espesor del triangulo de la estructura geodésica con barro evitando cubrir las ventanas que emergen del barro pasando a ser parte de la fachada norte. A la izquierda los tarros sobresaliendo del barro del tabique, al centro la unión aun a la vista de los triángulos de la estructura, a la derecha la combinación de diferentes diámetros de entradas de luz.

La ubicación de los diferentes diámetros de las ventanas cenitales y ayudadas por los diferentes colores de los vidrios entregan un efecto de luz interior que se proyecta en el piso del recinto entregando un sin fin de tonalidades durante el día en combinación con la madera de terminación.

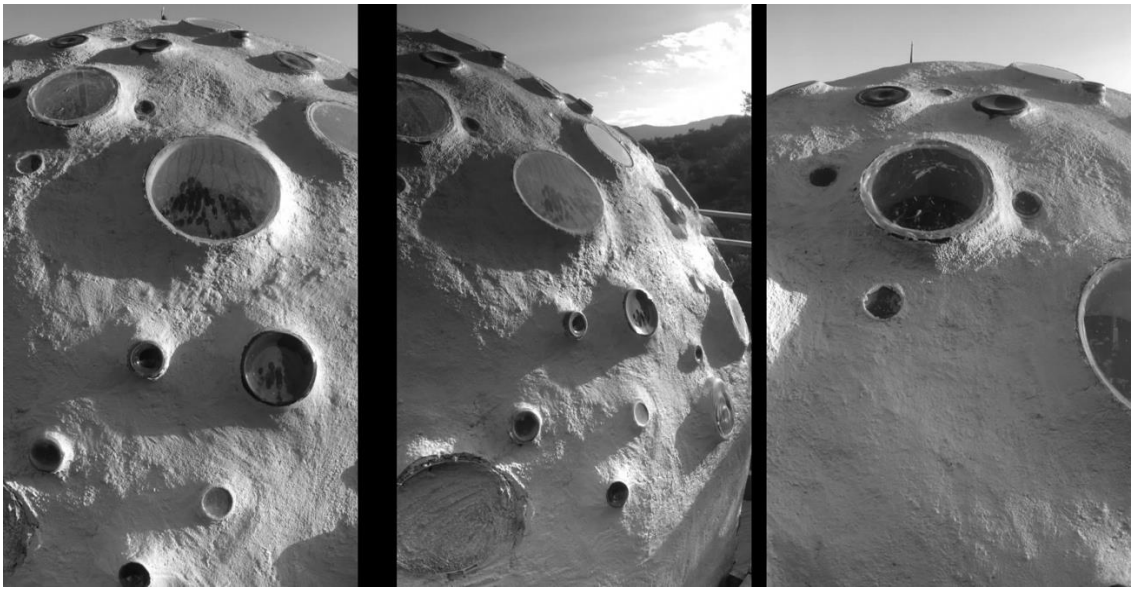
El baño contempla lucarnas en el techo y un ventanal en la fachada poniente que permite la privacidad de este espacio por la altura del segundo piso coincidente con el follaje de los árboles del entorno. A la izquierda ventanas circulares del segundo piso, al centro ventana cenital del baño, a la derecha ventanal y al fondo vista a los árboles.

Con el estuco final el volumen recupera su forma esférica ocultando la estructura triangular exceptuando algunas ventanas que extraen su forma de la prolongación de la trama estructural de la cúpula. Sobre el estuco se aplico el impermeabilizante que sella la superficie protegiéndola del agua y la nieve. A la izquierda una vista general de esta etapa, al centro la terminación de las ventanas circulares del tercer

piso con el estuco, a la derecha la terminación de las ventanas triangulares con el estuco.

Vistas de la esfera con la primera capa de impermeabilizante.

El machihembrado de piso se coloca de forma convencional y se tiñen las maderas una por medio logrando un efecto de maderas nobles a pesar de ser de pino.



Luego del impermeabilizante de la cubierta la se le da un último estuco fino con algunos aditivos para lograr la adherencia suficiente logrando un efecto de

continuidad en la superficie, en las imágenes se muestra la terminación de cubierta con el efecto de las ventanas cenitales.

El baño seco en este caso se presento como un desafío por estar en altura, este se resolvió con hornos que cuelgan del baño y que permanecen orientados la norte para su buen funcionamiento en el secado, en el mismo volumen se ubicó el calefón para suministrar de agua caliente la ducha y el lavamanos de este modo se resolvió en un solo sector ambas instalaciones para el baño. A la izquierda el ventanal del baño el tabique terminado en bambú a la vista y abajo los hornos solares del baño seco al norte y el calefón hacia el poniente, al centro el nicho del calefón, a la derecha los hornos solares en una vista frontal con la chimenea solar que sobresale de la fachada con la altura necesaria para evitar olores.

En tres puntos del hexágono formando una pirámide se ubicaron los tensores que sirven para reforzar el arrostramiento de la estructura con el suelo, estos son de acero y están directamente anchados por un lado a la estructura metálica y por el otro a poyos de hormigón. A la izquierda vista de la pieza de unión entre el tensor y la estructura, centro la esfera al fondo y el tensor que se va a anclar al terreno, derecha detalle de la pieza metálica para fijar el tensor a la estructura.

Los muebles fueron confeccionados en obra por requerir de una forma y dimensiones específicos por la forma del proyecto, el sofá del estar es realizado en madera en base a placas de terciado con una estructura de listones interna, el asiento se puede levantar por medio de bisagras constituyendo todo el volumen del mueble como un gran closet. En la imagen distintas vistas del mismo.

El lavamanos del baño es relazado por medio de la utilización de un foco de luz que es empotrado en la mesa facturada en base a madera, luego de esto se cubre la superficie con mosaico o cerámicas quebradas que componen en distintos colores la textura del mueble y su cubierta.

La mesa del comedor fue en base a madera y se ubico junto a la ventana triangular del segundo piso, de este modo permanece iluminada con la luz del oriente apoyada por una serie de ventanas cenitales verticales.

Las lucarnas del tercer piso una vez terminadas y selladas con el estuco final tienen un aspecto de cráteres que permiten el ingreso de luz al recinto.

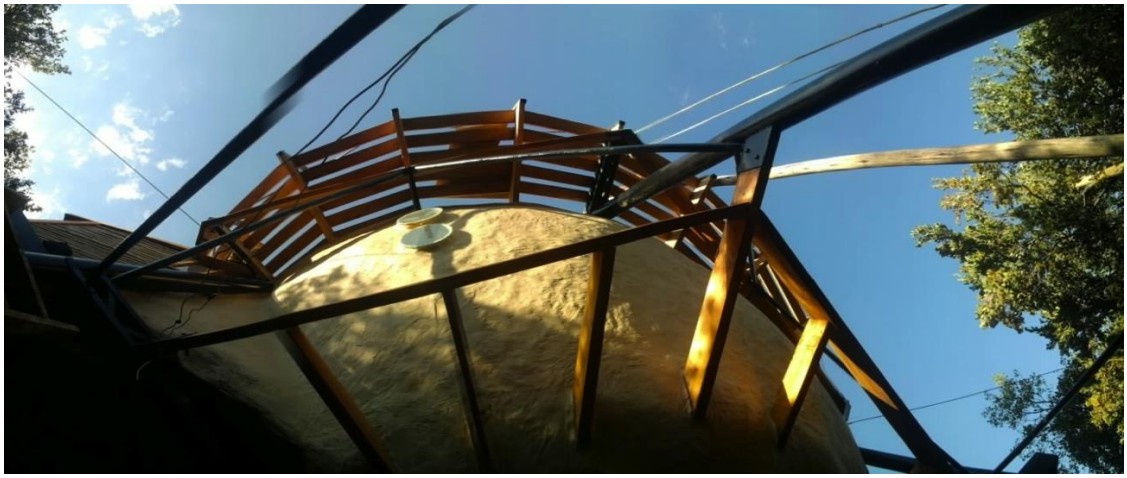
El comedor cocina se dispone de forma radial a la planta circular debido al espacio que ocupa la escalera en la planta circular de este modo deja un espacio de trabajo de un cuarto de la superficie permitiendo un lugar cómodo para efectuar labores, el lavaplatos se ubico en el perímetro externo del mueble dejando su desarrollo y la parte central para la cocinilla que queda en un nicho en bajo relieve y una zona de preparación de alimentos, al interior del mueble espacio con gavetas y repisas y un espacio para la basura y una pequeña cava. A la izquierda una vista del mueble y el efecto del muro curvo, al centro los pisos facturados en obra dimensionados especialmente para conjugar con la altura de la superficie de la mesa, a la derecha una vista del espacio de trabajo.

Las ventanas del baño que no están relacionadas directamente con el follaje del entorno se pensaron de forma reducida para respetar la privacidad que requiere este recinto, evitando el uso de vidrios ahumados o catedral para resolver estos efectos, a la izquierda lucarna cenital, al centro ventana lateral que da al acceso del baño, derecha detalle de la misma ventana.

La circulación perimétrica exterior del tercer piso funciona como un área mirador con vista 360º, esta se sustenta en la continuación en volado de las vigas de piso del tercer piso, la superficie se construye en base a listones que dejan un espacio entre ellos con el fin de dejar pasar el agua y la nieve entre ellos además de alivianar la cubierta, la baranda es realizada a partir de fieros rectangulares que sirven de pilares y están fijados a la punta de cada viga, la diagonalización es importante para arriostrar el elemento de protección, finalmente la parte en la que se tiene contacto se realiza con madera para no perder la sensación de calidez en el tacto del resto del conjunto. A la izquierda la superficie de piso, al centro una vista desde debajo de la prolongación de las vigas de piso de la tercera planta, a la derecha una vista de la circulación perimetral junto con la terminación de las ventanas triangulares.

El balcón del segundo piso constituye el espacio exterior de esta planta, al frente del baño y con una vista a la cordillera de Los Andes hacia el oriente se presenta como una alternativa para salir del interior del dormitorio y observar el paisaje desde una altura media. A la izquierda una vista del interior del recinto, al centro una vista desde abajo, a la derecha el detalle de la baranda.

Dos Diagonales metálicas por lado del hexágono se instalaron ocupando la altura del segundo piso y una diagonal ocupando la altura del primer piso, con este arrostramiento junto con los tensores en forma de pirámide se asegura la posición de la estructura y se evita movimientos de torsión. A la izquierda y derecha se muestra vistas laterales de estos elementos, al centro vista frontal.



V. CONCLUSIONES

El trabajo que se ejecutó en el proyecto presentado en este estudio fue realizado con materiales locales y en general técnicas de bío- construcción. La experiencia obtenida en y durante el proceso de construcción ha permitido establecer parámetros comparativos con el modo tradicional de construir en términos de costos, tiempos de las faenas y de eficiencia energética.

Comparando **los costos** de una vivienda con técnicas convencionales se puede afirmar que en general los materiales extraídos del lugar y reciclados, presentan un período de tiempo muy superior en su obtención, produciendo encarecimiento de los materiales en algunos casos no en el valor de los mismos, sino que en los costos relacionados con su recopilación en el caso de los reciclados y en su extracción en los obtenidos en el lugar de emplazamiento. En el caso del barro, la **arcilla** y la calidad de tierra demandada para hacer la mezcla de adobe requiere de algún tiempo para encontrarla y más para extraerla. Hay que buscar una veta y observar cuál es su desarrollo y ejecutar todas las faenas de harneado, traslado a la obra y dosificaciones. Esto debido a que los proveedores de áridos se especializan únicamente en arena ripio, gravilla y en general no manejan los lugares de extracción de arcilla, la que es muy poco popular en las construcciones en general, en el caso de una construcción convencional el valor del cemento el traslado y los materiales complementarios para su ejecución como la arena y el ripio tienen un valor establecido en el mercado lo que hace la labor de cuantificar sus costos más sencilla. En el caso de **la caña** o bambú, si bien, es más fácil encontrarlo que la arcilla en jardines de venta de plantas u otros, no siempre tienen en bodega el largo y el espesor adecuado, en el caso particular de las obras realizadas en el estudio, se cosechó de cañaverales los que estaban a orillas de esteros o acequias del sector. Esta faena de extracción del material requiere de una selección de las cañas más gruesas, extraer la corteza o la piel exterior, dejarla secar y posteriormente dimensionarla para ocuparla para la construcción. En cuanto a los **neumáticos** utilizados como material de construcción**,** hay que recolectarlo de la basura proveniente de las vulcanizaciones y se debe tener una vigilancia constante ya que no todos los días se desechan la misma cantidad. Por otro lado, el traslado es bastante sucio debido a las condiciones en que son desechados. **Las botellas también utilizadas en este proyecto**, demandan un menor tiempo de recolección, debido a la posibilidad de pagar por ellas como la compra de un material de construcción convencional. **Los fierros** utilizados en las obras son de reciclaje industrial por lo que no se requirió de utilizar fierro nuevo ni mandar a hacer piezas especiales ya que todo se produjo de forma artesanal y con recursos locales. **Las puertas** en general fueron extraídas de material de demolición, en tanto las piedras utilizadas en las patas de elefante y cimientos fueron extraídas del lugar, evitando con esto fletes de lugares remotos.

Es por esta razón que los materiales reciclados y de extracción local presentan un bajo costo como material, pero el valor de la mano de obra en su extracción y su recopilación en el caso de los reciclados se equipara a costear un trasporte desde la tienda de materiales de construcción convencional hasta la obra. De este modo las obras presentan costos similares desde el punto de vista de la ejecución de las faenas considerando en el criterio de comparación, el valor de los materiales y su ejecución. Sin embargo la gran diferencia es que los mismos recursos destinados por faena son distribuidos de forma distinta a una obra convencional, mientras que en general el cuarenta por ciento de los recursos son destinados en mano de obra y el sesenta por ciento a materiales, cuando se reciclan materiales y se extraen de forma local en sesenta por ciento de los recursos se destinan en mano de obra y el cuarenta a materiales, generando más fuentes de trabajo y un beneficio social punto que esta también dentro de los principios de la sustentabilidad.

El **tiempo en la faena** es relativo, es decir, que una vez preparado el material y ordenado para ser utilizado, es comparativamente el mismo. La construcción de los tabiques, la carpintería, la preparación y aplicación del barro como relleno y como revoque, es el mismo que el de una construcción convencional, donde se puede preparar y cumplir una programación establecida en base a faenas determinadas. Lo anterior tiene dos grandes excepciones en cuanto al tiempo, la primera es el uso de neumáticos como fundaciones, las faenas de relleno y compactación, requiere de un período superior de tiempo que el de una fundación convencional donde después de la excavación y enfierradura se aplica el hormigón. La segunda faena que requiere de un mayor tiempo de elaboración es el corte y colocación de botellas como elementos traslucidos en las fachadas, el proceso de corte del vidrio, el corte circular de las planchas de madera, el calce entre estos dos elementos y finalmente su sellado es más extenso que comprar trasladar e instalar una ventana convencional.

En términos de **eficiencia** hoy en día existen materiales industrializados que cumplen con gran eficiencia parámetros térmicos de impermeabilización, liviandad, etc. Los materiales utilizados en la bío-construcción pueden alcanzar estos estándares con diferentes espesores o técnicas constructivas, pero lo que realmente hace la diferencia es la terminación final, la que en el caso de los materiales industrializados siembre los resultados son más metálicos y sus elementos poseen menor fractalidad molecular, lo que los hace menos amigables con el habitante, independiente de la pulcritud y el estilo que sea la terminación. En el caso de los materiales naturales los resultados son siempre orgánicos, es decir, tienen algo del lugar que penetra en las paredes y envuelve al habitante en ambientes cálidos con una tibieza tanto para la visión como para el tacto.

Los proyectos acá presentados muestran en términos de sustentabilidad varias estrategias que se encuentran al centro del eje de este concepto. El uso de materiales reciclados, el uso de materiales locales, el reciclaje y tratamiento de aguas, conceptos bioclimáticos de ahorro de energía y en general, el diseño y la construcción se basan en el respeto del medio ambiente. Lo anterior demuestra que sí se pueden conjugar una serie de operaciones y decisiones, tanto en la etapa de diseño como de construcción en viviendas económicas que ayudan a construir bajo parámetros muy estrictos de sustentabilidad a bajo costo.

De lo observado en **las evaluaciones** y empíricamente en las construcciones, en términos térmicos, las viviendas presentan un mejor comportamiento con materiales de bioconstrucción que con los convencionales y superan los estándares establecidos en la norma, siendo el muro creado con fardos de trigo, el más efectivo en lo que se refiere a **Aislación.** En cuanto a la inercia del material, se debe considerar cuáles son los objetivos o destinos de cada recinto en particular y su admitancia térmica. En este caso sólo se presentaron dos materiales distintos para confeccionar muros: **Paja y Barro**. El primero, presenta un mayor poder de aislación que un muro de barro pero una **admitancia menor**, lo que produce un calentamiento rápido de los recintos interiores, fenómeno que contribuye a aumentar la temperatura interior más rápido cuando recibe radiación directa, o bien se calienta desde el interior. Es por eso que para muros con fardo de paja se debe evitar o reducir la radiación directa y el calentamiento interior. Para estos efectos se proyectó sobre las ventanas norte una estructura que aloja el crecimiento de la parra preexistente del proyecto 2 y una recién plantada en el caso del proyecto 1, con el fin de que funcione como un regulador de la captación de radiación solar, esto es, durante la primavera crecen las hojas de la parra protegiendo y sombreando la ventana norte durante el verano y en otoño las hojas se caen y permiten el paso de los rayos solares durante el invierno, temperando el recinto según las distintas requerimientos durante el año. Para revertir este sobrecalentamiento durante los días estivales al interior de los recintos por incidencia directa del sol, complementariamente al uso vegetal como una celosía natural y dinámica, se aplica el sistema de ventilación controlada como otra estrategia para minimizar el fenómeno, para esto se diseñó la instalación de aberturas regulables en el primer piso en la fachada sur, de este modo el aire frio ingresa por el primer piso proveniente del lado sombreado de las viviendas y renueva el aire de este recinto para luego subir a la segunda planta por troneras en el piso. Dejando la ventana cenital con la posibilidad de poder abrirse permite que el aire caliente una vez en el segundo piso escape por la parte superior similar al funcionamiento de una chimenea. La combinación de ambas estrategias permite apalear el sobrecalentamiento que denotan las evaluaciones.

Respecto de las **ventanas cenitales**, si bien es cierto, son altamente efectivas durante el día de invierno y realizan eficientemente su labor de iluminación natural, presentan un problema durante la noche, el calor retenido al interior por el muro de barro o generado por algún sistema de calefacción interior escapa sin mayores dificultas pues estas ventanas son de vidrio simple. Cambiar

el material de las ventanas por termo panel, o bien ocupar algún mecanismo de aislación interior, contribuirá a evitar las pérdidas. Para esta situación se proyectó una mampara que funciona como persiana interior con un espesor que admite instalar un aislante térmico liviano, este elemento permite abrir o cerrar la ventana regulando el paso de luz durante el día y evitar las pérdidas que presenta este componente durante la noche, este mecanismo soluciona de forma efectiva el problema que presenta la intervención de la envolvente en su parte superior.

Como queda demostrado con los gráficos del DAYLIGHT, el exceso de luz durante los meses veraniegos contribuiría al encandilamiento cuando se pasa de un recinto a otro. Lo anterior también es resuelto por las estrategias descritas en el proyecto en el caso de exceso de radiación directa. Para este caso se aumentó los vanos para ubicar ventanas en los recintos secundarios de este modo disminuir los efectos del contraste.

Respecto a las tres tipos de formalización de los proyectos respecto al **emplazamiento**; a ras de suelo, sobre el terreno y vivienda elevada), teóricamente se puede predecir que el proyecto 1 y el 2 que se encuentran enterrados e en contacto con el terreno presentan una menor superficie expuesta al exterior, por lo que son las que se comporta mejor forma. Esto no se evidencia en las evaluaciones, pues las viviendas poseen distintos materiales en la envolvente y es un tanto difícil establecer comparaciones al respecto. Lo que sí es seguro que el material seleccionado para el proyecto tres es el óptimo pues su valor térmico de transmitancia cumple en su totalidad para todos los paramentos considerados en la Norma: piso ventilado, Muro y Techumbre. Además, esta vivienda no presenta grandes ventanales al Norte lo que evita los problemas mencionado con anterioridad.

El tratamiento de las **aguas grises** ha sido realizado por medio de humedales domiciliarios, que funcionan limpiando el agua de los lavamanos, de la ducha y de la cocina canalizándolas a trampas de arena y gravilla que funcionan como filtros los que tratan los jabones y otras partículas orgánicas. Dentro del humedal se plantaron juncos que cooperan con el proceso por medio de sus raíces que crecen entremedio de las trampas y se nutren de esta agua, creando un recurso paisajístico para zonas específicas del jardín. Estas aguas posteriores a este proceso son utilizadas para el riego del predio o directamente para la huerta, que termina el proceso produciendo alimento. El uso de **baños secos** permitió evitar la utilización de fosas sépticas para dar solución al sistema de aguas negras, en este sistema las fecas son tratadas por medio de su deshidratación en hornos solares incorporados a las viviendas solucionando el problema de la contaminación de napas subterráneas de los drenes del sistema tradicional. La orina por su lado se canaliza de forma independiente para hacerla llegar a la base de algún árbol cercano para su aprovechamiento.

Con respecto a la **habitabilidad**, sin duda que es el modelo número “tres” el que presenta un mayor potencial por poseer una terraza techada exterior a nivel de piso y un pasillo perimetral continuo en el tercer nivel, tiene tres distintos niveles con diversas vistas asociadas a cada uno de estos. En cuanto a metros cuadrados es un poco menos eficiente por el hecho de contener la circulación vertical dentro de la planta circular, la que ocupa área y superficie que en este tipo de habitáculo tan reducido es muy apreciada. El proyecto “dos” en relación a los otros también presenta riqueza espacial, a pesar de sus reducidas dimensiones generales, los dos pisos se conjugan para propiciar diferentes situaciones que encierran una serie de actos que en sí enriquecen el espacio, generando un lugar confortable, amigable, tanto para el descanso como para el trabajo. El proyecto “uno” sin duda, que es el más simple y es la síntesis mínima del concepto, el espacio principal no deja de tener encanto en su cúpula central, donde se desarrollan la vida del refugio entregando una lógica en el uso del espacio.

Se puede concluir que cada uno de los tres proyectos cumplen en sí con los requisitos del concepto de sustentabilidad, ya que sus materiales y el modo de construir fueron en base una visión acorde a la bioconstrucción, que en sí va de la mano de esa primera acepción. En este trabajo se pudo experimentar la importancia de los recursos naturales y de cómo hacer para aprovecharlos de mejor manera, siendo siempre interventor de cada uno de los tres proyectos en este sentido.

El autor de este estudio y quien suscribe, intenta demostrar que es posible buscar y fomentar el buen desarrollo de la arquitectura, siendo consiente con el planeta, impulsando estos procesos y proyectos arquitectónicos como sistemas bien desarrollados en armonía con la naturaleza, promoviendo el bienestar integral del ser humano con su entorno inmediato. A su vez, protegiendo los recursos materiales y naturales a corto y largo plazo, aportando la creación y el sustento de nuevos espacios habitables.

IV. GLOSARIO

IV. 1. Definición de Términos Asociados al Proyecto:

- **Barras:** Piezas o elementos rígidos (sólidos por el trabajo a compresión), prismáticos o cilíndricos, lineales y rectos, esbeltos, de sección mínima comparada con sus otras dimensiones capaces de conducir esfuerzos axiles de tracción o compresión a lo largo de su eje baricentrito. Las barras pueden estar formadas por tubos redondos o cuadrados, ángulos, barras o planchuelas, o una combinación de estas formas.

- **Nudos:** del latín nodus. Son los puntos de concurrencia de las barras. Un nudo puede estar compuesto por uno, dos o tres elementos que tienen como finalidad unir firmemente las barras concurrentes. En caso de unir los extremos de las barras con soldadura, es esta misma soldadura uniendo y fundiendo las barras la que actúa de nudo.

- **Geodésico:** del griegotierra y dividir. El término Geodesia fue usado inicialmente por Aristóteles (384-322 a. C.) y puede significar, tanto "divisiones geográficas de la tierra", como también el acto de "dividir la tierra".

- **Icosaedro:** del griego eikosaedron, de eikosi (veinte) +hedron (cara))es un poliedro de veinte caras o triángulos equiláteros.

- **Retícula:** del latín reticulum. Tejido con forma de red. Conjunto de dos o más cordones o hilos cruzados o paralelos.

- **Frecuencia:** es una medida que se utiliza para indicar el número de subdivisiones que se realizan en el triangulo del icosaedro.

- **Sinergia:** (del griego synergia) Cooperación. Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

- **Conductividad térmica, λ:** cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en W/mºC. Se determina experimentalmente según la norma NCh 850 o NCh 851.

- **Resistencia térmica de una capa material, Rn:** para una capa de caras planas y paralelas de espesor e, Conformado por un material homogéneo de

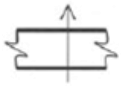
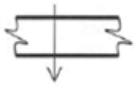
conductividad térmica l, la resistencia térmica, R, queda dada por: R= e/ λ l, y se expresa en m2ºC/W.

- **Resistencia térmica total de elementos compuestos por varias capas homogéneas, RT:** para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total, queda dada por:

- RT=1/U=Rsi+ e/l + Rse en que e/l = sumatoria de las resistencias térmicas de las capas que conforman el elemento. Esta resistencia térmica total, RT, se expresa en m2 K/W.

- **Transmitancia térmica, U:** flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total RT de un elemento y se expresa en W/m2K. Se determina experimentalmente según la norma NCh 851 o bien por cálculo como se señala en la norma NCh 853.

- **Resistencia térmica de superficie, Rs:** inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h, es decir: Rs=1/h, y se expresa en m2K/W. En el caso de un elemento compuesto por dos capas de distintos materiales con resistencias térmicas Ri y Re, y con una cámara de aire no ventilada con resistencia térmica Rg, la resistencia térmica total será: RT= Rsi + Ri + Rg+ Re + Rse. donde Rsi corresponde a la resistencia térmica de superficie al interior y Rse a la resistencia térmica de superficie al exterior.

RESISTENCIAS TÉRMICAS DE SUPERFICIE EN $m^2 \cdot K/W$						
POSICIÓN DEL ELEMENTO Y SENTIDO DEL FLUJO DE CALOR	SITUACIÓN DEL ELEMENTO					
	DE SEPARACIÓN CON ESPACIO EXTERIOR O LOCAL ABIERTO			DE SEPARACIÓN CON OTRO LOCAL, DESVÁN O CÁMARA DE AIRE		
	R_{Si}	R_{Se}	$R_{Si} + R_{Se}$	R_{Si}	R_{Se}	$R_{Si}+R_{Se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor de 60º respecto a la horizontal	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60º respecto a la horizontal 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60º respecto a la horizontal 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34
NOTAS: 1) Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de la norma NCh851. 2) Los valores de esta tabla corresponden a velocidad del viento en el exterior inferior a 10 km/h.						

Fuente: NCh 853 Of 91

- **Thermal Lag (inercia), TLag:** describe el retardo que experimenta el calor que ingresa al muro con el que sale. Usualmente se mide en horas y está relacionado con el coeficiente de conductividad térmica y el espesor del muro.

- **Admitancia térmica, Add:** toma en cuenta la capacidad de un muro para absorber, almacenar y radiar calor. Toma las mismas unidades de medida que la transmitancia térmica pero no describe el flujo de calor a través del muro, sino el calor que penetra al muro desde el interior y luego retorna.

- **Calor especifico, c:** cantidad de energía necesaria para incrementar 1ºC la temperatura de una masa determina (gr, Kg, etc) para un material específico homogéneo.

- **ECOTECT. GRÁFICOS DE TEMPERATURA DEL AIRE**

- **Demanda Energética:** cantidad de energía necesaria durante un año para mantener un metro cuadrado de superficie edificada sobre los 18ºC. [11]

- **Beam Solar:** gráfico que muestra las horas de radiación directa según una fecha determinada, en un clima determinado.

- **Difuse Solar:** gráfico que muestra las horas de radiación indirecta según una fecha determinada, en un clima determinado.

[11] (Temperatura mínima de confort según la USGBC*) **U.S. Green Building Council*

- **Wind Speed:** velocidad del viento exterior.

- **Outside Temp.:** gráfico de temperatura exterior para una fecha y clima determinado

- **ECOTECT. GRÁFICOS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS**

- **Conduction:** cantidad de energía que se gana/pierde por medio de la envolvente. (conducción).

- **Sol-Air:** Cantidad de energía que se gana indirectamente por medio de la envolvente. Esta ganancia es causada por la excitación molecular dentro de los materiales de construcción cuando esto se exponen a una radiación solar directa.

- **Direct Solar:** Energía que se gana por medio de la radiación solar directa generalmente por medio de superficies traslúcidas o transparentes.

- **Ventilation:** Perdidas/ganancias que ocurren por medio de la ventilación de los recintos. Esta puede ser programada y es independiente de los valores de la envolvente.

- **Internal:** Ganancia de energía generada por elementos activos al interior de los recintos, ya sean artefactos (cocina, lámparas, chimeneas) o bien personas al interior con realizando determinadas actividades (met*)

- Met*= unidad equivalente a la cantidad de energía (calor) que genera el cuerpo al realizar cierta actividad metabólica (correr, saltar, dormir, etc).

- **Inter-Zonal:** Ganancias/pérdidas atribuidas a interacciones con otros recintos adyacentes.

VI. Referencias Bibliográficas

- Bateson, G., (1993) “Una Unidad Sagrada, Pasos ulteriores hacia una ecología de la mente”. Gedisa Editorial, Barcelona, España

- Benyus, J. M., Biomimicry, Innovation Inspired by Nature, Hard Cover published by William Morrow, HarperCollins Publishers Inc., 1997

- Brundtland, G.H. (1987) "Our common Future" (, Oxford, Oxford University Press.(Trad. en castellano, Nuestro futuro común, Madrid, Alianza Ed., 1988).)

- Daly, H.E. (1990) "Toward some operational principles of sustainable development" (Ecological economics, vol. 2, n. 1, pp.1-6.)

- Dermirbilek F.N., Yener C., (1996). A proposal for correction values for winter outdoor design temperatures. Solar Energy vol 57, No 2, pp 111-116.

- Dixon, J.A. y Fallon, L.A. (1991) "El concepto de sustentabilidad: sus orígenes, alcance y utilidad en la formulación de políticas" (Vidal, J. (Comp.) Desarrollo y medio ambiente, Santiago de Chile, CIEPLAN, (la versión original en inglés apareció en Society and Natural Resources, Vol. 2, 1989).)

- Ehrlich, P.R. (1989) "The limits to substitution: Meta resource depletion and new economic-ecological paradigm" (Ecological economics, vol. 1, n. 1 p.10.)

- Fathy, H., Architecture for the poor, an experiment in rural Egypt, The University of Chicago
Press, Chicago 1968.

- Ferreiro, Alejandro (2011) (en Español). Arquitectura con tierra en Uruguay. EcoHabitar. pp. 120. ISBN 978-84-615-1006-1

- Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Universidad de Kassel, Alemania, (Septiembre 2001),Tercera edición revisada y ampliada: Abril 2005.

- Guízar, Bermúdez José Gerardo . Medio Ambiente y Ciudad. UNAM. Tesis

- Givoni B. (1991). Characteristics, design implications and applicability of passive solar heating systems for buildings. Solar Energy vol. 47 (6), pp 425-435.

- Guimarâes, R.P. (1994) "El desarrollo sustentable: ¿propuesta alternativa o retórica neoliberal? (Revista EURE, Vol. XX, n. 61.)

- Lomas K.J., Eppel H., Martin C.J., Bloomfield D.P. (1997). Empirical validation of building energy simulation programs. Energy and Building vol. 26, pp. 253-275.

- Hall M., Djerbib Y., Rammed earth sample production: context, recommendations and
consistency, Construction and Building Materials Volume 18, Issue 4, May 2004, Pages 281- 28

- Hunter, K. and Kiffmeyer D. Earthbag building, New Society Publishers, Gabriola Island,
Canada, 2004.

- Hyde, R., Bioclimatic Housing, Earthskan, London, 2005

- Malthus, T.R. (1827) "Definitions in Political Economy. Preceded by an Inquiry into the Rules wich Ought to Guide Political Economits in the Deviation from the Rules in their Writings" (Londres (Ref. Naredo, J.M. (1987,) "La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico" (Madrid, Siglo XXI).)

- Meadows, D.H. y D.L. (1991) "Beyond the Limits". ((Hay traducción en castellano de El País & Aguilar, Madrid, 1992).

- Mill. J.S (1848) "Principles of Political Economy" (Nuestra referencia corresponde a la traducción del F.C.E., México, realizada sobre la 7. edición inglesa de 1871 corregida por el autor, pp. 641-642.)

- Ministerio Fomento, IDAE (1999). Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas. Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones.

- Ministerio Fomento, IDAE (1999). Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas. Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones.

- Minke. Gernot, Friedemann Mahlke, (2001) “Manual de Construcción con Fardos de paja. “ Editorial Fin de Siglo, Montevideo, U.

- Minke, Gernot (2001) (en Español). Manual de construcción en Tierra. EcoHabitar. pp. 224. ISBN 978-84-614-24054-0.

- Minke. Gernot, (2001) “Techos Verdes, planificación, ejecución, consejos prácticos, Editorial Fin de Siglo, Montevideo.

- Mwereria, M.G.K. (1996) "Technology, Sustainable Development and Imbalance: A southern Perspective" (International Conference on Technology, Sustainable Developmente and Imbalance, Tarrasa, Spain.)

-Nash, J. Madeleine, Copying what comes naturally, Nueva York, Time Magazine, 8 de marzo de 1993, pp. 38-39. Varios autores (2011) (en Español).

- Guía del Hábitat Ecológico para la Bioconstrucción (edición 2011). EcoHabitar. pp. 200. ISBN 1887-6617.

- Khalili, N., Ceramic Houses and Earth Architecture: How to Build Your Own, Chelsea Green Publishing Co, USA, 1996.

- Khalili, N., Emergency Sandbag Shelter and Eco-Village, CalEarth Press, USA, 2008

- Khalili, N. and Vittore P., Earth Architecture and Ceramics, the Sandbag/ Superadobe

- Superblock Construction System, Call-Earth Institute, International Conference of Building Officials,Building Standards, September-October 1998.

- Nitkin, Rikki (2010) (en Español). Casas de paja. Guía para autoconstructores. EcoHabitar. pp. 239. ISBN 978-84-614-2406-1.

- Norgaard, R.B. (1994) "Development Betrayed. The end of progress and a coevolutionary revisioning of the future" (Londres y Nueva York, Routledge, p. 22.)

- Norgaard, R.B. (1996) "Globalization and unsustainability" (International Conference on Technology, Sustainable Development and Imbalance, Tarrasa, Spain.)
- Norton, B.B. (1992) "Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health" (Ecological Economics, vol. 14, n. 2, pp. 113-127.)

- Ocampo R. E. , El futuro de la arquitectura, trabajo para ingresar a la Maestría de Arquitectura Tecnología, Unidad de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, México, mayo-julio de 1996.

- O'Riordan, T. (1988) "The politics of sustainability" (en Sustainable Management: Principle and Practice, Turner, R.K. (ed), Londres y Boulder, Belhaven Press y Westview Press.)

- Sachs, I. (1994) (Entrevista en Science, Nature, Societé, Vol. 2, n. 3, 1994.)

- Sachs, W. (1992) "The Development Dictionary. A Guide to Knowledge as Power" (Londres y New Jersey, Zed Books, p.1.)

- Solow, R. (1991) "Sustainability: An Economist's Perspective" (Dorfman, R. y Dorfman, N.S. (eds.), Economics of the Enviroment, 3. Ed., Nueva York.)

- Solow, R. (1992) "An almost Practical Step towards Sustainability" (Conferencia pronunciada con motivo del 40 aniversario de Resources for the Future, 8-10-1991.)

- Antonopoulus K.A., Tzivanidis C, (1995). Time constant of greek buildings. Energy. Vol 20, No 8, pp 789- 802.

- Janssen J.E. (1982). ASHRAE Trans. 88, 713. Santamouris M. (1997).

- Lemvigh-Muller, Ricardo . (1999). Instalaciones de energía solar térmica manual de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria, calefacción de viviendas y climatización de piscinas exteriores.. Madrid: SAPT, Publicaciones Técnicas.
- Serrano, Francisco J. Soleamiento, Climas y Edificaciones. 1a. ed. México:UNAM.

- Rangel, Ruíz Rocío . Iluminación Natural y Ahorro Energético en las Edificaciones. UNAM.Thomas, Hegzog . Norbert, Kaiser MIchael. (c1996).Solar Energy in architecture and urban planning. . Munich:Prestel.

- A.G. Shannon & J.V. Leyendekkers (2011): Pythagorean Fibonacci

- N. Vorobiov (1974). Números de Fibonacci. Editorial Mir, Moscú, Colección Lecciones Populares de Matemáticas. Traducción al español de Carlos Vega, catedrático de Matemáticas Superiores y candidato a doctor en ciencias físico-matemáticas.

patterns, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology,DOI:10.1080/0020739X.2011.599880

- Daly, H., From a Failed Growth Economy to a Steady-State Economy, The Encyclopedia of Earth (http://www.eoearth.org), June 5, 2009.

- Delgado, M. C. J. and Guerrero I. C., The selection of soils for unstabilised earth building: A
normative review, Construction and Building Materials Volume 21, Issue 2, February 2007,Pages 237-251.