

## Espacios Dinámicos al Ambiente

Interfaz mediante un sistema de envolvente arquitectónica dinámica, compuesta por materiales inteligentes que responden a variables ambientales.

## El paradigma de los sistemas electro-mecánicos en arquitectura

A partir de la declaración de la Carta de Atenas, se cambia el paradigma de la arquitectura centrándose en su función, en este manifiesto se establece a la ciudad como "la máquina del habitar", pero es posteriormente en las décadas de los 60's y 70's que una serie de agrupaciones avant garde con la influencias de las nuevas tecnologías, incorporan en sus proyectos conceptos como la electrónica, la robótica y la cibernética, es en este periodo donde la visión de la arquitectura como maquina se vuelve más literal, con ideas de ciudades caminantes, o viviendas que modifican su forma incorporan según las necesidades a partir de sistemas electro-mecánicos.

Desde la década de los 80 hasta nuestros días, se pueden ver la incorporación de sistemas electro-mecánicos en la arquitectura, enfocados principalmente a conceptos de eficiencia energética, uno de los casos más representativos de estos tipos de sistemas se encuentra en el Instituto del Mundo Árabe de Jean Nouvel en donde a partir de aproximadamente por 30.000 diafragmas que se abren o cierran se controla la entrada de luz. Este tipo de sistemas resultan ser muy complejos, costosos y terminan siendo una solución técnica, una adición a los edificios.

Es por estos motivos que es necesario buscar sistemas que sean más simples y que funcionen con la energía proveniente del entorno, en contraposición a los sistemas complejos que requieren tanto de energía eléctrica, además de ser sistemas conformados por la adición de partes para su funcionamiento mecánico (sensores, motores, etc.), estos componentes con el paso del tiempo pueden presentar fallas y requieren mantención lo que significa mayores costos asociados.

## Materiales Inteligentes: respuesta dinámica frente a las variables ambientales

*“Lo que varía no es la materia, sino nuestra mirada sobre ella. Podríamos establecer una relación de igual a igual con la naturaleza, donde todo es a la vez actante y objeto de la acción”*

La frase anterior de Cristina García de Moreno y Efrén García Grinda me parece interesante como una aproximación a lo que se busca con este trabajo, poder hacer de la arquitectura un borde, una interfaz que media entre el paisaje y el espacio construido, es por esto que creo fundamental que la arquitectura se componga de materiales que a partir de sus propiedades sean “actantes y objetos de la acción”.

El interés de trabajar como caso de estudio en el desierto de Atacama, y más específicamente enfocarse en hacer observatorios para puntos de interés turístico en un lugar que posee condiciones climáticas extremas, presenta el desafío de cómo aprovechar estas condiciones como una oportunidad. A partir de la cita anterior, me planteo la siguiente pregunta:

¿Cómo a partir del diseño es posible hacer de la arquitectura una interfaz, que trabaje conjuntamente con las condiciones del lugar, ser actante y al mismo tiempo objeto de la acción?

Es bajo esta mirada que los materiales inteligentes<sup>2</sup> son una oportunidad de aprovechar las condiciones extremas y desfavorables del ambiente como una manera de funcionar por las cualidades del propio material en contraposición al modelo que plantean los sistemas electro-mecánicos, convirtiéndose en la interfaz entre los dos ambientes. Los materiales inteligentes son aquellos que reaccionan a los cambios del ambiente donde se encuentran. Esto quiere decir que una de sus

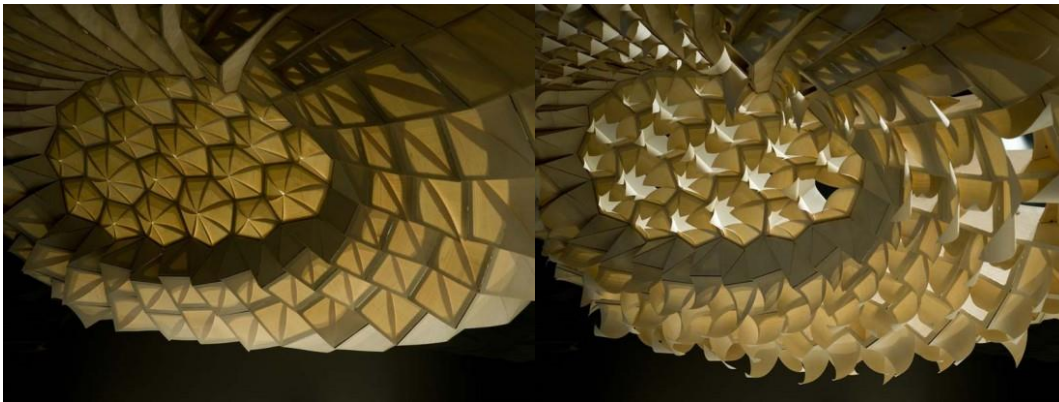
---

<sup>1</sup> Díaz de Moreno, Cristina. García Grinda, Efrén. “Verb Natures”. Actar, Barcelona, 2006.

<sup>2</sup> Addington, Michelle. Shodeck, Daniel L. “Smart Materials and New Technologies for architecture and design Professions”, Architectural Press, 2004.

propiedades puede ser cambiada por una condición externa, como la temperatura, luz, presión o electricidad. Este cambio es reversible y puede repetirse varias veces. Son estas características de cambiar sus propiedades a partir de estímulos ambientales, una oportunidad para que la arquitectura funcione como borde.

Un precedente de este tipo de aproximación a la respuesta material es Hygroscope Meterosensitive morphology<sup>3</sup> de Achim Menges y Steffen Reichert, esta corresponde a una instalación para el Centro Pompidou en 2012, que explora la propiedad higroscópica de un sistema compuesto por chapas de madera, esta propiedad es la capacidad de absorción de la madera para ganar y perder humedad, que se traduce en movimiento como output (figuras 2 y 3), si lo llevamos al planteamiento de Sennette, este sistema funcionaria como un borde, a partir de la capacidad de intercambio entre material y ambiente.



*Figuras 2 y 3. Vista del Sistema de respuesta material abierto y cerrado. Meges, Achim. Reichert, Steffen. Hygroscope Meterosensitive morphology. Centre of Pompidou, Paris, 2012.*

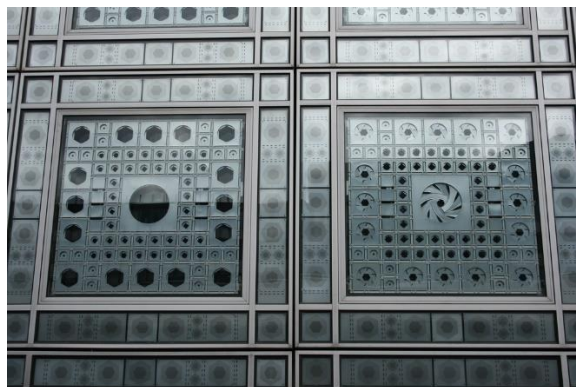
Menges plantea que este tipo de respuesta se contrapone a la concepción high-tech de la arquitectura responsiva que tiende a ser una función técnica, capaz de funcionar gracias a numerosos sistemas mecánicos y electrónicos, como sensores, actuadores y sistemas de regulación (respuesta intermediada). Un conocido ejemplo de la utilización de un sistema high-tech es el “Instituto del Mundo Árabe”<sup>4</sup> de Jean Nouvel del año 1987, el cual por medio de un sistema electrónico-mecánico controla

---

<sup>3</sup> Meges, Achim. Reichert, Steffen. Hygroscope Meterosensitive morphology. Centre of Pompidou, Paris, 2012.

<sup>4</sup> Nouvel, Jean. Instituto del Mundo Árabe, Paris, 1987.

la entrada de luz al edificio, tomando como referencia el contraste a la exposición al exterior propia de la arquitectura árabe. El sistema está compuesto por 30.000 pequeños diafragmas mecánicos de acero que controlan la entrada de luz mediante un sistema de sensores fotosensibles lo cuales regulan la intensidad de luz que ingresa al edificio (figura 4). Lamentablemente el sistema ha presentado fallas de funcionamiento producto de su complejidad y difícil y costosa mantención.



*Figura 4. Vista del sistema de diafragma abierto y cerrado, Nouvel, Jean. Centro del Mundo Árabe, Paris, 1987.*

Si nos ponemos en el contexto del desierto de Atacama y siendo más específico en el contexto chileno donde los medios tanto técnicos como económico son limitados, me parece que el funcionamiento low-tech de los materiales inteligentes, dado por las propiedades del mismo material, es una alternativa más factible para su aplicación, puesto que no requiere sistemas de energía externos, y por lo tanto la mantención o reposición de alguna de las partes del sistema no sería tan complejo.

Este trabajo toma como precedente a Hygroscope y el trabajo a partir del laminado de chapas de madera como primera aproximación a la experimentación de materiales inteligentes y su respuesta, pero se diferencia a partir de la suma de más variables y posibilidades, estudiando distintos espesores y combinatorios tanto de diferentes chapas de madera como otros materiales con el objetivo de obtener como output distintos tipos de deformaciones, geometrías y tiempos de respuesta.

Otro trabajo que me parece importante como precedente es "Bloom" de Doris Kim Sung<sup>5</sup>, el cual corresponde a una instalación compuesta por una envolvente compuesta por escamas de bimetales, que generan como output movimiento a la temperatura, esto se da por la diferencia entre los coeficientes de expansión de dos metales laminados (figura 5). De este trabajo se rescata la utilización

---

<sup>5</sup> Kim Sung, Doris. "Bloom". Material & Applications Gallery, Los Angeles, California, 2012.

del metal como material que responde a la temperatura pero también como posibilidad de mezclar el metal sumado a la respuesta higroscópica de la madera.

El trabajo del MIT Self Assembly Lab y más específicamente de su trabajo con textiles como el "Minimal Shoe" me parece interesante como visión del trabajo del material, a partir de la impresión de líneas sobre de una tela tensada se pueden generar distintas geometrías, mediante la exploración de la deformación en función del comportamiento del mismo material (figuras 6 y 7).



*Figura 6. Izquierda. Imagen donde se muestra el corte de la plantilla de tela pretensada. Guberan Chritophe. Cleopath, Carlo, Minimal Shoe, MIT Self Assembly Lab, Design London Museum, London, 2015.*

*Figura 7. Derecha Imagen de la deformación obtenida por las restricciones. Guberan Chritophe. Cleopath, Carlo, Minimal Shoe, MIT Self Assembly Lab, Design London Museum, London, 2015.*

Lo que destaco de este ejemplo es la utilización de restricciones para controlar la deformación del material, y a partir de esto crear distintas geometrías. En el caso de este trabajo, esto podría abrir las posibilidad de deformación de los laminados a partir de la restricción de algunas zonas, en el caso de la madera puede aplicarse impermeabilizando ciertas zonas para control la deformación geométrica, o también se puede lograr mediante la incorporación de otros materiales como el metal en ciertas zonas con el fin de exponer a la humedad solo algunas partes posibilitando nuevas geometrías a partir de la deformación.

## Caso de Estudio: Aproximación al Desierto de Atacama y su ambiente

Pedro Alonso en el libro "Deserta"<sup>6</sup>, define al desierto de Atacama como un paisaje productivo, específicamente se enfoca en la producción minera en el norte de Chile. En el caso de este trabajo, mi interés radica en la visión del desierto enfocada hacia el turismo y la búsqueda de nuevas maneras de relacionar el paisaje del desierto con la arquitectura, mediante observatorios en puntos de interés turísticos en la zona del desierto de Atacama. Aun así, creo que es importante tomar algunas consideraciones y precedentes del libro Alonso como una aproximación al desierto de Atacama y su relación con los asentamientos humanos.

Este texto se centrara en entender la relación del hombre y el ambiente del desierto de Atacama, y como conjugar las propiedades del ambiente que en general son consideradas condiciones desfavorables (condiciones extremas), haciendo de la arquitectura el vínculo entre el paisaje y la experiencia de los turistas.

En el contexto de los asentamientos humanos que se encuentran en el desierto, son las condiciones de éste, las que norman tanto los ecosistemas naturales como los tecnológicos, bajo esta mirada el hombre se encuentra inmerso entre dos ambientes que interactúan entre sí, como proponía Frederik Kiesler en su teoría del "Correalismo y la Biotechnica"<sup>7</sup>, la cual es entendida como la dinámica de constante interacción del hombre entre su ambiente natural y su ambiente tecnológico (figura 1). Para entender de una manera más clara me parece relevante acercarse a la definición de ambiente, entendiendo a éste desde su origen etimológico, procedente del latín *ambiens*, *ambientis*, del verbo *ambere*, que significa "rodear", o "estar a ambos lados".

---

<sup>6</sup> Alonso, Pedro. "Deserta. Ecología e indutria en el desierto de Atacama". Ediciones Arq. Santiago de Chile.2012.

<sup>7</sup> Kielser, Frederick. "On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design." 1939, Architectural Record 86. pp.60-75

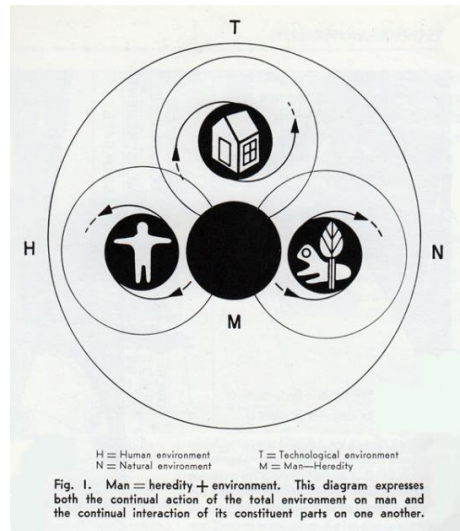


Figura 1. Kiesler, Frederik. Diagrama Boitecnica, "On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design.", *Architectural Record* 86. pp.60, 1939.

Bajo este concepto, el ser humano se encuentra mediado entre estas dos situaciones, se puede establecer al ambiente natural del desierto de Atacama, como las condiciones climáticas y físicas que rodean a los organismos que se encuentran inmersos en éste, esto en conclusión corresponde a las condiciones preexistentes del lugar, a diferencia del ambiente tecnológico, que es el medio creado por el hombre, el cual ayuda y le permite a este, sobre-vivir en el ambiente natural, es en el contexto del desierto donde la dinámica entre estos ambientes, esta constante tensión y competencia por los recursos, dado por las extremas.

Es en esta diferenciación que se produce una clara frontera entre ambos ambientes, para entender la relación entre el desierto y su relación con los asentamientos me parece que va al caso entender la diferenciación entre "Bordes y Fronteras" propuesta Richard Sennette<sup>8</sup>, para él, las fronteras constituyen un límite donde existe un cambio marcado entre una situación y otra, un ejemplo de esto podría ser un barranco, en donde está claro el límite entre la tierra firme y el abismo, bajo este concepto, en el desierto de Atacama existe una frontera dada por delimitación entre los dos tipos de ambiente antes mencionados , limite producido por las condiciones ambientales percibidas como adversas para la vida del hombre, esta frontera produce una baja interacción e intercambio entre los dos ambientes. Si llevamos esta frontera entre los ambientes al contexto del turismo, constituye

<sup>8</sup> Sennette, Richard. "The Public Realm", Sitio Web: <http://www.richardsennett.com/site/senn/templates/general2.aspx?pageid=16&cc=gb>

a mí parecer un problema, dado por la poca y nula infraestructura presente en los puntos de interés turístico, quedando los turistas en muchos casos expuestos a las condiciones adversas del ambiente. Y la infraestructura existe no responde al paisaje del lugar quedando como entes aislados y que irrumpen en el contexto donde se encuentran.

Y por otro lado Sennette define a los bordes como lugares donde en los ecosistemas se vuelven más inter-activos, donde se encuentran dos situaciones geográficas o climáticas diferentes pero donde se presenta interacción, lo que da a lugar mayor riqueza para el intercambio entre sus organismos.

Bajo esta mirada es posible plantear la siguiente pregunta: ¿cómo hacer que la arquitectura funcione como un borde, constituyéndose como la interfaz entre el ambiente natural y el ambiente tecnológico?

Y siendo aún más específico en el contexto del turismo, ¿Cómo mediante una envolvente arquitectónica compuesta por materiales inteligentes se puede modificar el espacio durante el transcurso del día?

Volviendo al libro de Alonso "Deserta", éste lleva su título en honor al libro "Scenes in America Deserta" de Reyner Banham donde creo que es importante destacar algunos pasajes, de la visión del autor con respecto al desierto.

*"El desierto también parece un lugar apropiado para las fantasías...de maniacos del buggy y excursionistas solitarios, los buscadores tras las minas de oro legendarias, los detonadores del primer dispositivo atómico, los proponentes de sistemas de misiles avanzados, y los excavadores de esculturas de tierra gigantes"...y continua... "En un paisaje donde nada oficialmente existe (de otra manera no sería "desierto"), absolutamente cualquier cosa se vuelve pensable, y por consiguiente puede pasar."*<sup>9</sup>

Tomando la visión de Banham del desierto como un lugar donde cualquier cosa se vuelve pensable, y es que éste trabajo se quiere centrar, mediante la exploración de nuevas formas de experiencias del desierto a partir de la arquitectura, a diferencia de Alonso que se enfoca en el caso del contexto productivo, yo me centrare en el potencial turístico del desierto, así como Banham proponía al desierto como un "lugar apropiado para las fantasías", me parece que el desierto de Atacama parece

---

<sup>9</sup> Banham, Reyner. "Scenes in America Deserta". Thames&Hudson, London, 1982.



ser el lugar idílico donde la arquitectura puede actuar como la interfaz entre el ambiente natural y tecnológico, funcionando como un borde, aprovechando las cualidades extremas de su clima, donde se abren nuevas posibilidades de apreciar al desierto, enmarcando distintos aspectos del paisaje durante el transcurso del día.

Recapitulando con respecto al objetivo de este trabajo, lo que se plantea anteriormente surge de mi inquietud por estrechar la interacción entre arquitectura y los ambientes, mediante la experimentación con materiales inteligentes y su comportamiento. Esto proviene de mi interés como diseñador, y del cuestionamiento de cómo la arquitectura puede ser capaz expresar activamente cambios, los cuales puedan apreciarse en el espacio (entendiendo al espacio como dinámico, no estático), realizando distintas vistas y cualidades del paisaje, cambiando la percepción de los usuarios durante el transcurso del día. Mediante la sinergia entre envolvente arquitectónica y los estímulos del ambiente entendidos como inputs (luz, radiación solar, temperatura, humedad y viento), los cuales afectan las propiedades de los materiales, se busca como resultado obtener diferentes tipos de outputs (cambio de porosidad, movimiento, cambio de opacidad, cambio de color).

A partir de esa inquietud como premisa surge la siguiente pregunta:

¿De qué manera es posible conjugar la respuesta de los materiales inteligentes al ambiente del desierto de Atacama, y cómo a partir del control de su respuesta es posible generar una interfaz que actúe como "Borde" entre el paisaje y la envolvente arquitectónica?

## Metodología

A partir de lo anteriormente mencionado, lo que busca esta investigación es por medio del control de la respuesta de los materiales inteligentes, responder al ambiente del desierto de Atacama en el contexto del turismo, como una manera de generar una envolvente capaz de destacar distintas situaciones del paisaje mediante la incorporación de las variables del ambiente del lugar, para esto lograr esto la metodología se divide en dos fases principales, la primera corresponde a la experimentación directa con materiales inteligentes con el fin de obtener tanto una respuesta pasiva de los materiales como activa, donde se experimentara con diferentes materiales, combinatorias, espesores, tipos de deformación y geometrías. Con el fin de poder controlar la respuesta según lo que se quiera destacar del paisaje del desierto de Atacama.

Y la segunda fase corresponde a la incorporación de estas respuestas al caso de estudio de los "puntos turísticos de observación en el desierto de Atacama", donde se busca aplicar estas experimentaciones a los elementos del diseño del total, utilizando herramientas de análisis y simulación digital con el fin de poder replicar algunas de las condiciones ambientales del lugar. A partir de estos análisis se busca establecer las diferentes distribuciones de la respuesta en el total, también a partir de estos resolver como se estructura el total además de la resolución del sistema constructivo.

Es importante mencionar que estas dos fases se retroalimentan entre sí y son abordadas paralelamente, siendo un proceso iterativo entre las dos, y no un proceso lineal.

### 1.-Experimentacion de materiales y su respuesta

#### 1.1.- Taxonomía y catálogo de respuesta:

A partir de los precedentes mencionados anteriormente, se buscó en una primera instancia, experimentar con combinatorias de 3 materiales (chapas de madera, laminas metálicas, y

plástico PAI) estudiando como inputs la temperatura y la humedad, con el fin de medir la respuesta entendida como la deformación, y el tiempo de que se demora el material en volver a su estado original.

#### Flexión a partir de humedad (propiedades higroscópicas de la madera)

A partir de un aspersor de agua sobre, se procedió a rociar de agua una de las caras de la madera, la cual se establece como punto de partida correspondiente al 100% de humedad, mediante el diferencial que se produce entre el 100% de humedad del punto de partida, mediante la diferencia entre la pérdida de humedad de la chapa en el tiempo y la humedad ambiente se puede establecer un aproximado de la absorción de humedad a las respuesta.

También se observó los rangos de flexión de acuerdo a la dirección de las betas de la madera

Imagen distintas pruebas de madera

#### Flexión a partir de temperatura (diferencial entre coeficientes de expansión térmicos)

A partir de un input de temperatura obtenido a partir de un secador de pelo, se procedió a exponer los distintos laminados durante un tiempo determinado donde se fue midiendo el tiempo de respuesta y la deformación es estos a la temperatura.

Imagen distintas pruebas con metal

Conclusiones: A partir de la experimentación anterior, se pudo ver que las combinatorias del metal y la madera fueron efectivas, lo que abre las posibilidades de generar como output flexión en los dos sentidos según el estímulo para un laminado compuesto. Por otra parte la incorporación de PAI trajo problemas puesto a que el plástico se fisura a la flexión por lo que después de un tiempo se produce un quiebre.

## 1.2 Espesor y restricciones

### Experimentación con distintos espesores de madera

A partir de las conclusiones obtenidas de la experimentación anterior se procedió a medir la respuesta de distintos laminados de madera con el fin de ver más precisamente como se diferenciaban las respuesta según las características que presentan las chapas de madera (distancia entre betas, dureza y espesor)

Imagen experimentación

Imagen grafico

Conclusiones: A partir de esta experimentación se pudo apreciar que las chapas que más delgadas y con una menor distancia entre betas presentaban una mayor deformación a la humedad, pero se tardaban más tiempo en recuperar el estado original, mientras que las chapas de mayor grosor y dureza, con una separación mayor entre sus betas, presentaban menos grado de deformación pero tardaban menos tiempo en recuperar su estado original.

### Puntos de restricción y control de la deformación pasiva

Esta experimentación consiste en la comprobación de la siguiente hipótesis:

Si se restringirán ciertas zonas de las caras del laminado se deformara en el sentido opuesto de la zona donde la madera está expuesta.

A partir del buen resultado de esta prueba se fabricó un marco el cual contiene una grilla, esta grilla presenta ciertos puntos de restricción, al cual se les puso distintas mezclas de chapas de madera con aluminio, probando la deformación a partir de los dos inputs, temperatura y humedad.

### 1.3 Respuesta Activa

Se busca generar una respuesta activa, esto quiere decir que se pueda controlar la flexión a partir de un input complementario al sistema, como puede ser la adición de voltaje para generar temperatura tanto para hacer actuar una respuesta como para cancelarla.

Y en el caso de la humedad se busca mediante la incorporación de un material capaz de captar y absorber humedad (como una esponja) poder acumular agua en las zonas donde existe neblina costera (camanchaca) con el fin de que con el aumento de temperatura esta humedad se evapore y acciones ciertos zonas del sistema.

### 1.4 Distribución y tipos de respuesta

Mediante las experimentaciones con los puntos de restricción se generan diferentes estrategias de deformación según los análisis obtenidos a partir de la simulación del punto 2.2 de la metodología:

Zona de mayor exposición solar, respuesta día- noche: a partir del análisis realizado

Se disponen laminados de chapa madera delgada por un lado y aluminio por el otro, en sentido vertical, con el fin de que este se deforme y tape el sol en las horas de mayor exposición solar y temperatura, pero que deje liberada la vista hacia el cielo durante la noche.

Zona de ventilación durante las horas de mayor temperatura

Zona de entrada de viento

Se dispone una lámina compuesta por madera delgada en el centro y en los costados se dispone una lámina de aluminio en la mitad inferior del lado que da hacia el exterior, y en la cara lateral que da hacia el interior se dispone en la mitad superior, deformándose con

la temperatura en forma de S si se ve en sección, ver figura x. lo que permite la entrada del viento pero impide la entrada de luz directa.

#### Zona de salida de viento

Se dispone una lámina compuesta por madera gruesa y dura y una lámina de aluminio en la cara interior con el fin de permitir la salida del aire generándose una ventilación cruzada.

#### Zonas de Paisajes

Durante ciertas horas del día se abrirán ciertas zonas de la envolvente con el fin de destacar algunas vistas importantes del paisaje. Estas zonas de aperturas corresponden a las partes de mayor exposición solar durante ese periodo de tiempo.

#### 2.1.-Observatorios turísticos en San Pedro de Atacama

#### 2.2.-Análisis y Simulación

A partir de plug-ins para grasshopper, como geco los cuales se conectan con software de simulación como Autodesk Ecotect se obtiene la simulación de los datos climáticos de la zona, sobre el modelo del total diseñado en Rhinoceros 3D.