

Soft Architecture: Application of Soft Robotics in the Design Responsive-Interactive Architecture

Cristian Aroca¹, Sebastián Rozas²

¹ Universidad de Chile, Santiago, Chile
cristian.aroca@ug.uchile.cl

² Universidad de Chile, GT2P, Santiago, Chile
sebastianrozas@gt2p.com

Abstract. The main objective of this research is to develop a method that can integrate responsive and interactive architecture through the application of soft robotics on a façade. To achieve this objective, a review of the main concepts, adaptive architecture (responsive-interactive) and soft robotics was first carried out. Secondly, recent studies and research that speak of the application of soft robotics in architecture are analyzed. With the knowledge acquired in the analyzes and reference studies, together with the help of programming and computational design tools, a scalable physical prototype was developed that manages to integrate both types of adaptive behaviors (responsive-interactive) in a single hybrid robotic system (soft-rigid), demonstrating the potential of soft robotics in architecture, in this case being applied to be sensitive and act on changes in temperature produced by solar radiation.

Keywords: Robotics, Generative Design, Adaptive architecture, Sustainable Design, Soft

1 Introducción

Este trabajo indaga en la intersección de tres áreas generales, la arquitectura de comportamiento adaptativo, los materiales blandos y la robótica. Siendo específicamente el área de investigación la arquitectura responsiva e interactiva mediante la implementación de los Soft robotic.

En la actualidad los sistemas adaptativos utilizados, en su mayoría solo responden a una variable externa, por ejemplo, los cambios climáticos (responsivo), dejando de lado la variable interna (interacción) en donde el uso del espacio y el comportamiento humano es relevante. Como en la mayoría de los casos la respuesta del sistema adaptativo es unidireccional, es decir solo responde al exterior o interior (no a ambas), la interacción que está asociada

al usuario pasa a segundo plano, por lo cual no hay una relación directa entre responsividad e interacción. La implementación de los soft robotic en la arquitectura de comportamiento adaptativo surge como una oportunidad para investigar como las propiedades de los materiales blandos pueden aportar a mejorar las posibilidades de involucrar a los habitantes del lugar en un intercambio interactivo directo entre ellos y su entorno construido (Al Faleh. O, 2017).

En el artículo *Soft Systems: Rethinking Indeterminacy in Architecture as Opportunity Driven Research*, Dickey R (2017), mediante una recopilación de investigaciones recientes, utiliza el concepto indeterminable para referirse a los materiales blandos por sus propiedades deformativas, no-lineales y poco predecibles. Así mismo propone replantear que aquella indeterminación del material visto comúnmente como un elemento de azar por su forma cambiante y de carácter alterable, sea visto más que como un obstáculo, como una oportunidad de diseño y de estudio respecto a la indeterminación con relación al comportamiento humano (Dickey R, 2017) como una posibilidad de interacción.

Entonces, este artículo busca el cruce de la arquitectura y los soft robots, con el objetivo de aportar en el desarrollo de arquitectura responsiva e interactiva —que hoy es escasa— a través del estudio de los sistemas robótico blando y sus propiedades materiales como medio para llegar a integrar en un solo sistema ambos comportamientos (responsivo e interactivo).

2 Antecedentes

2.1 Arquitectura adaptativa

La arquitectura adaptativa en palabras de Omar Al Faleh (2017), surge de la intersección entre la arquitectura, el diseño y la tecnología, es decir, es un campo de diseño arquitectónico que se beneficia de la tecnología para crear sistemas autónomos capaces de adaptarse al medio al que va enfrentado (responsivo o interactivo). En términos prácticos, cuando la arquitectura adaptativa es ambientalmente responsiva puede ayudar a controlar y reducir el consumo energético de un edificio, aprendiendo y respondiendo a patrones climáticos mediante cambios morfológicos en el edificio, promoviendo una arquitectura más sustentable. El desempeño energético es parte del fin funcional de la arquitectura adaptativa, pero también lo son la protección de agentes medioambientales (lluvia, viento, contaminación, etc.), el confort (térmico, lumínico, calidad de aire, etc.), entre otras cosas.

Si bien es cierto que hoy en día el enfoque principal de la arquitectura adaptativa tiene que ver más con una mirada medioambiental y de eficiencia energética, los sistemas adaptativos hasta fines del siglo XX y principios del XXI tenían que ver más con elementos estéticos, temporales e interactivos que buscaban demostrar la potencialidad de estos sistemas, que con algo funcional y permanente en un edificio.

En general los sistemas adaptativos pueden ser clasificados según la variable a la que responden (si responden al medio externo o al medio interno), según el tipo de sistema (fachada, iluminación, acústica, etc.) y su forma de activación (si es activa o pasiva dependiendo del uso o no uso de energía eléctrica).

2.2 Soft robotic

Dentro de la robótica existen dos categorías en las que se pueden clasificar los robots según la materialidad con la cual están contruidos, los de materiales duros y los suaves o blandos. La robótica dura o rígida representa al común de los robots que tenemos en nuestro imaginario al escuchar la palabra, el que está hecho en su mayoría de metal, con articulaciones y mecanismos complejos hechos también de materiales rígidos. Comúnmente los robots rígidos funcionan mediante actuadores eléctricos (motores y solenoides) o con fluidos presurizados (neumática o hidráulicamente). La robótica blanda a diferencia de la rígida y como su nombre lo indica, está hecha de materiales blandos y flexibles que tienen la capacidad de deformarse fácilmente, lo que los hace versátiles, adaptables, eficientes y seguros a la interacción humana.

Según Medina y Vélez (2014) actualmente podemos identificar dos enfoques con los que se trabaja la idea de “suavidad” en el ámbito robótico. El primer enfoque consiste en el uso de robots convencionales (rígidos) que han sido modificados con partes suaves con el objetivo de tener un comportamiento más seguro, ya que comparten espacio de trabajo con personas. Tales son los casos de los robots manipuladores de alimentos con pinzas suaves presentes en la industria alimentaria. El segundo enfoque, más radical que el anterior, trata de los robots intrínsecamente blandos, es decir que tanto su cuerpo como actuadores están compuestos por materiales suaves cuyo módulo de elasticidad está en el orden de 102 -106 Pa, es decir entre 3 y 10 veces menos rígidos que los robots convencionales (Majidi, 2014).

Este enfoque es posible por los avances en las últimas décadas en tecnologías como impresiones 3D y 4D, materiales inteligentes con memoria de forma, meta materiales y actuadores neumáticos. Actualmente, en la práctica el primer enfoque es el más usado, debido a que la mayoría del desarrollo de los soft robotic está centrado en actuadores y componentes blandos que complementan máquinas complejas rígidas generando una robótica híbrida. El uso de componentes blandos en robots rígidos es una buena idea teniendo en cuenta algunas limitaciones que estos tienen. Según Whitesides (2018) podemos reconocer elementos de los cuales los robots rígidos carecen y que pueden ser complementados o en su defecto abarcados en totalidad con soft robotic. Entre ellos se encuentra la poca colaboración y compatibilidad con los humanos, la poca simplicidad lo que lleva a altos costos

de construcción, y la poca eficiencia termodinámica que en consecuencia pueden traer altos uso energético.

3 Metodología

Este estudio está comprendido por dos procedimientos metodológicos, el primero de recopilación de antecedentes, estudio de referentes y revisión de investigaciones recientes. Y el segundo exploratorio experimental, en donde se trabajó bajo dos tipos de exploraciones, un comportamiento interactivo, donde se trabajaron varios tipos de interacciones (gestos) y como llevarlas del mundo digital al físico y, un comportamiento responsivo, en donde se buscó aplicar los soft robotic mediante el uso de una SMA (nitinol), para que la fachada también sea responsiva al sol.

3.1 Experimentación

Sé escogió una fachada como caso de estudio debido a que la fachada es el lugar en donde se encuentran respuestas tanto al exterior, como al interior. Esto la convierte en una frontera entre ambos medios, propiciando un gran potencial para integrar un comportamiento adaptativo desde el punto de vista responsivo e interactivo, debido a esto, se diseñó un entramado geométrico (retícula) compuesto de módulos adaptativos que permiten dichas respuestas.

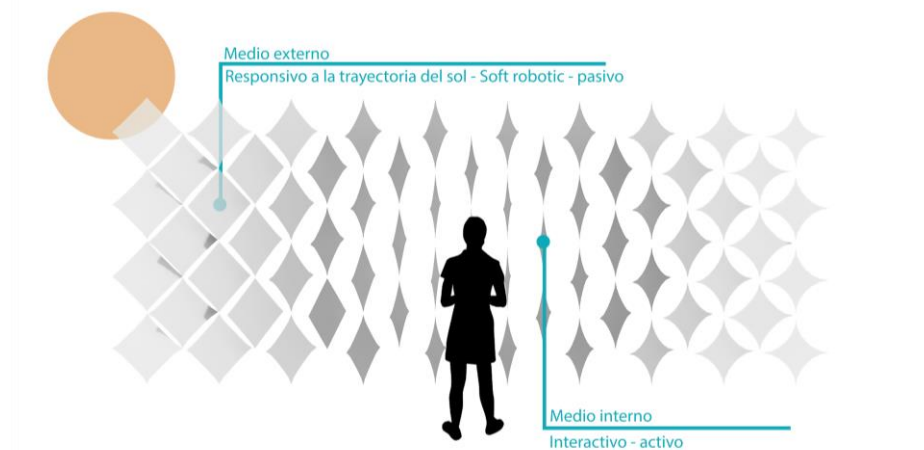


Figura 1. Forma de comportamiento del sistema responsivo e interactivo. Elaboración propia.

Dada la problemática inicial de que los sistemas adaptativos únicamente responden a una variable, ya sea a un medio externo o interno, en términos de tipos de movimientos realizados se traduce todo el tiempo a uno, abrir o cerrar, arriba o abajo, entre otros. Por lo tanto, para el diseño de esta fachada era

importante integrar dos tipos de movimientos distintos (Fig. 2), destinados uno para responder a la trayectoria del sol y los cambios de temperatura asociados a este, y otro para las interacciones humanas.

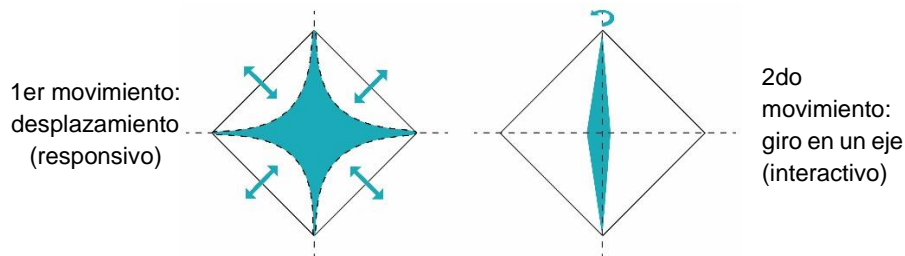


Figura 2. Tipos de movimientos de la fachada adaptativa. Elaboración propia.

Otro aspecto fundamental del diseño es que, se buscó que la acción de responder al medio externo sea pasiva, particularmente por dos razones, disminuir la complejidad del sistema y un ahorro energético. Estas condiciones hacen ideal el uso de soft robotic y elementos blandos en la parte responsiva del proyecto.

Las interacciones van ligadas a otro tipo de factores y elementos que requieren un constante suministro de energía eléctrica, como por ejemplo los sensores que capturaran los movimientos de las personas y los controladores que procesaran y darán órdenes a la fachada de cómo debe actuar en función de una programación. De esta manera se darán diferentes tipos de integraciones o hibridaciones en una misma fachada, pasivo/activo, Robotic/Soft robotic y Responsivo/interactivo.

En esta etapa del trabajo fue imprescindible el uso de herramientas de diseño computacional y de simulación. Para la construcción del modelo digital se emplearon técnicas de modelado algorítmico y paramétrico a través del software rhinoceros junto al plug-in Grasshopper. Además, se utilizaron plug-ins de simulación como ladybug, que extrae datos ambientales reales y kangaroo 2 que permite realizar una simulación de elementos blandos. Esto es importante debido a que la parte responsiva del proyecto es la que integra soft robotic y materiales blandos. El trabajo en conjunto de ambos plug-in permite simular el comportamiento de la fachada (soft robotic) ante la posición del sol.

3.2 Comportamiento interactivo

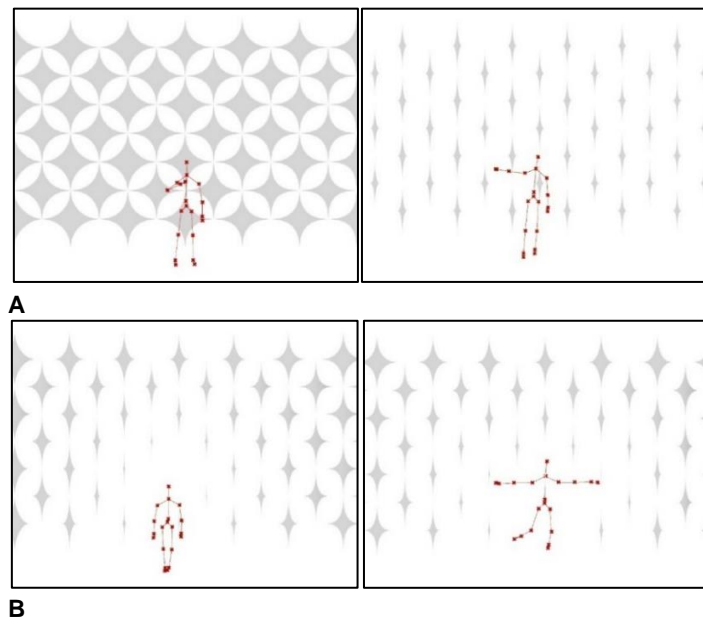
Las interacciones requirieron un flujo de trabajo mediante la hibridación de diferentes dispositivos, para asegurar que las interacciones se vean reflejadas tanto en el modelo digital como en el físico (Fig. 3). De esta manera el dispositivo a cargo de capturar las interacciones fue una Kinect, dispositivo originalmente creado para juegos interactivos para la consola Xbox 360. La decisión de optar por este dispositivo y no por otro, como por ejemplo un sensor ultrasónico, paso porque en primer lugar kinect incluye 3 sensores, láser IR,

cámara RGB y cámara de profundidad, además de incorporar micrófonos. Esto permite una detección precisa tanto del espacio como del movimiento. Lo interesante de la kinect además de sus sensores, es que es compatible con el plug-in firefly de grasshopper, lo que permite detectar la presencia humana a través de un esqueleto representado en rhinoceros. Firefly a través de grasshopper es esencial en esta etapa del trabajo, debido a que además de ser compatible con kinect, es el que permite tener un flujo directo entre el modelo digital y el Arduino. Gracias a informaciones de giros (ángulos) obtenidos desde el modelo digital se puede dar la orden a un servomotor para que haga exactamente el mismo movimiento, todo esto a través de la conexión firefly-Arduino.



Figura 3. Hibridación de diferentes elementos electrónicos. Elaboración propia.

Las interacciones se dividieron en dos tipos, gestual y automática. Las interacciones gestuales son aquellas que requieren de un movimiento voluntario para poder abrir o cerrar la fachada, a diferencia de las automáticas en donde la fachada se abre o cierra dependiendo de la presencia de la persona, sin la necesidad de algún gesto en específico.



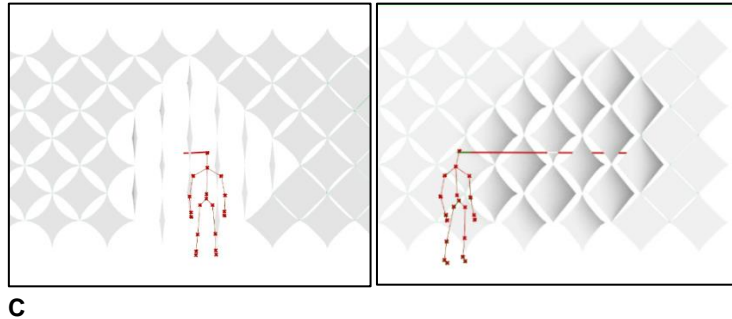


Figura 4. (A) interacción gestual, se activa con un gesto de mano, (B) interacción automática, la fachada se activa en donde se encuentre la persona (D) interacción automática, la fachada se abre en la zona donde la persona está mirando. Elaboración propia.

Para finalizar la experimentación de la parte interactiva se construyó un modelo físico de prueba (A). Con el objetivo de comprobar que la conexión con Arduino sea exitosa, y que esta sea capaz de reproducir los movimientos de un módulo seleccionado en el modelo digital (B) (Fig. 5).

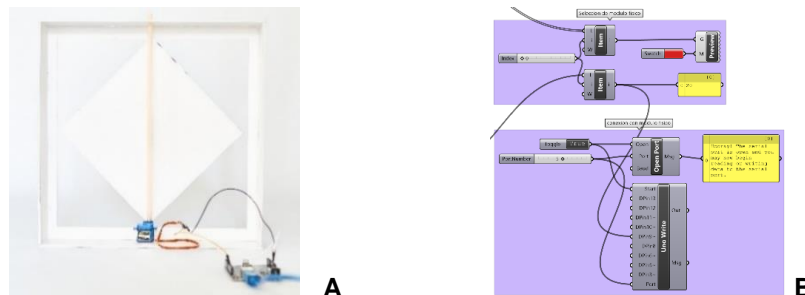


Figura 5. (A) Modelo físico de pruebas. (B) Script de selección de modulo digital. Elaboración propia.

3.3 Comportamiento Responsivo

El estudio del comportamiento responsivo de esta investigación es la que está pensada para integrar los el soft robotic a este sistema de fachada responsiva-interactiva.

Como actuador se decidió hacer uso de una aleación metálica con memoria de forma (SMA), en este caso, el nitinol. El nitinol es una aleación de níquel y titanio en proporciones casi iguales (45% y 55% respectivamente) que se presenta en dos fases estables, una a alta temperatura, austenita, y otra a baja temperatura, martensita. Cuando el nitinol se encuentra en fase martensita es fácilmente deformable, pero al aplicarle una fuente de calor o energía eléctrica este entra en una etapa de transición hasta llegar a la fase austenita en donde el material vuelve a su forma original con propiedades superelásticas. Luego de enfriarse el nitinol vuelve a la fase martensita sin deformar.

La experimentación responsiva del trabajo consistió en dos partes. La primera fue lograr reprogramar un nitinol ($T^{\circ} 40^{\circ}\text{C}$) de una forma lineal a una forma de resorte y la segunda fue realizar el ejercicio de fuerza-contra fuerza del nitinol con una liga o elástico.

La idea del segundo ejercicio es que el nitinol cuando esté en fase martensita (fase fácilmente deformable) tome una forma estirada por la contracción de un elástico, sin embargo, cuando se aplique el calor de transición el nitinol vuelva a su forma original (resorte) (Fig 6). Esto aplicado a la fachada tiene la lógica de que cuando el nitinol reciba el calor suficiente por parte del sol, este se contraerá cerrando la fachada. Cuando el nitinol deje de recibir el calor o la radiación necesaria para su transición de la etapa martensita a la austenita, este se volverá a estirar por la tensión del elástico, volviendo a abrir la fachada.

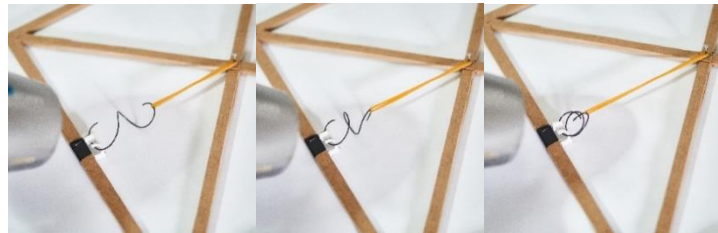


Figura 6. Prueba de tensión y contracción del nitinol y la liga, luego de aplicar calor con un secador de pelo. Elaboración propia.

3.4 Prototipo

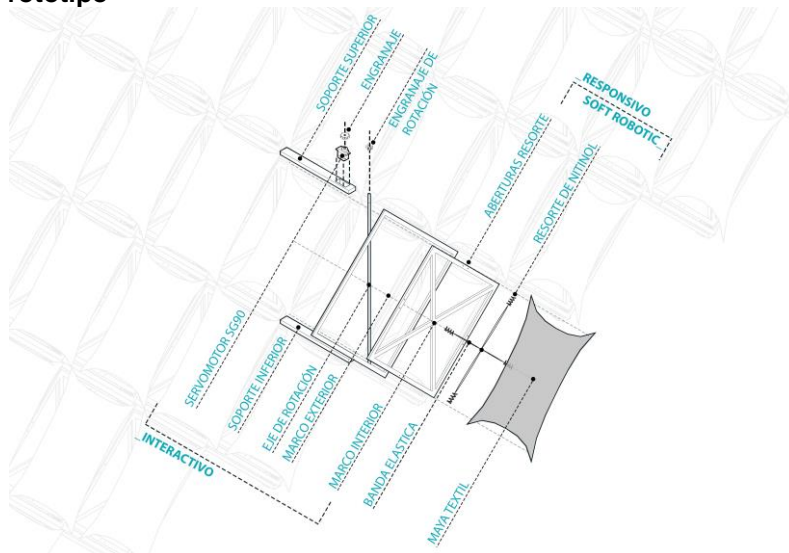


Figura 7. Despiece isométrico de las partes del módulo prototipo físico. Elaboración propia.

El prototipo final consiste en un módulo de 30x30 cm de la retícula de la fachada. Este consta de tres partes importantes. En primer lugar, el marco exterior que tiene el rol de soportar los demás elementos. En segundo lugar, el marco interior que es donde ocurren ambos movimientos (responsivo-interactivo) además de contener el soft robotic. Por último, las barras de soporte en ambos extremos del marco exterior. En las barras es donde se encuentra el mecanismo de giro (servomotor) que se encarga de la parte interactiva del proyecto (Fig. 7).

El nitinol usado para este trabajo tiene una T° de transición de aprox. 40°C . En funcionamiento en conjunto al elástico, en las pruebas hechas al someter al calor al nitinol con un secador de pelo, este fue capaz de contraerse entre 4 y 5 cm, logrando cerrar casi por completo la fachada (Fig. 8). También sé probó el sistema responsivo en exposición al calor del sol. Con una temperatura de 28°C el nitinol fue capaz de contraerse 1.5 cm como máximo, en los primeros 5 minutos desde la exposición, manteniendo la longitud luego de eso. Este resultado es muy alentador, teniendo en consideración la alta temperatura de transición del nitinol utilizado, por lo que, si en un caso hipotético se decidiera hacer la fachada para algún edificio, un nitinol con T° de transición de 20 a 35°C bastaría para que la fachada funcione correctamente.

El soft robotic del sistema responsivo lo completa una piel, que consiste en una maya de material blando, en este caso una tela elástica que permite deformarse, adaptándose a los movimientos del nitinol.

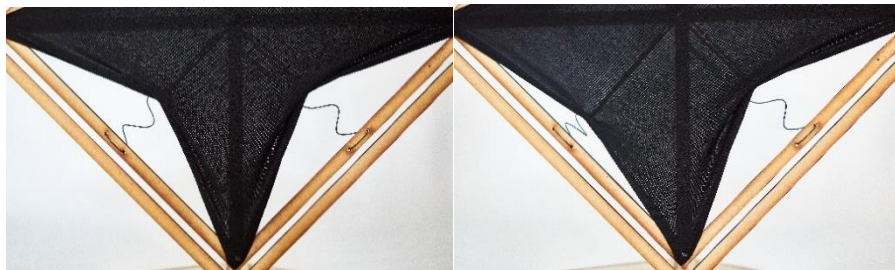


Figura 8. Cerramiento de la fachada a través del nitinol antes y después la exposición al calor. Elaboración propia.

El prototipo (Fig. 9) funciona de tal forma que, al establecer la conexión entre Arduino, la kinect y grasshopper, este comienza a responder a las interacciones programadas, pudiendo escoger cuál interacción se desea que esté activa. A la misma vez mediante el soft robotic es posible modificar la apertura de la piel con una fuente de calor a partir de 35 a 40°C aproximadamente.



Figura 9. Prototipo del sistema responsivo-interactivo (Modulo adaptativo, Kinect, Arduino). Elaboración propia.

4 Resultados

1. El prototipo tiene el comportamiento esperado, debido a que logra tener una respuesta pasiva cuando está expuesto al calor y una activa con las interacciones, todo en un mismo sistema integrado.

2. Las expresiones o gestos de los que están compuestas la parte interactiva del trabajo tienen un gran potencial de personalización. Existe la posibilidad de que, así como se programaron ciertas interacciones propias (por ser el autor), también el sistema pueda ser personalizable desde el punto de vista de quien lo utiliza, entendiendo que cada persona puede tener una forma diferente de hacer los gestos para determinadas acciones. De esta manera el sistema podría actuar según el usuario y no solo de un modo preestablecido.

3. La programación del nitinol empleado fue relativamente sencilla. Fue de este modo debido a que el nitinol del prototipo venía previamente entrenado y con una T° de transición específica (40°C). También se experimentó con un nitinol no entrenado que no tenía T° de transición, debiendo asignarla uno mismo, lo que es dificultoso si no se tienen elementos específicos para medir los ciclos de calentado y la temperatura, además de hornos que alcanzan altas temperaturas.

4. Fue posible hacer este sistema integrado a través de la hibridación de distintos elementos previamente diseñados que no necesariamente están hechos para lo que se utilizaron en esta investigación. La manera de integrarlas fue mediante el uso grasshopper y sus plying, que en complementación de soft robotic, permitió crear un sistema robótico híbrido capaz de adoptar ambos comportamientos adaptativos (responsivo-interactivo)



Figura 10. Imagen objetivo de la fachada. Elaboración propia.

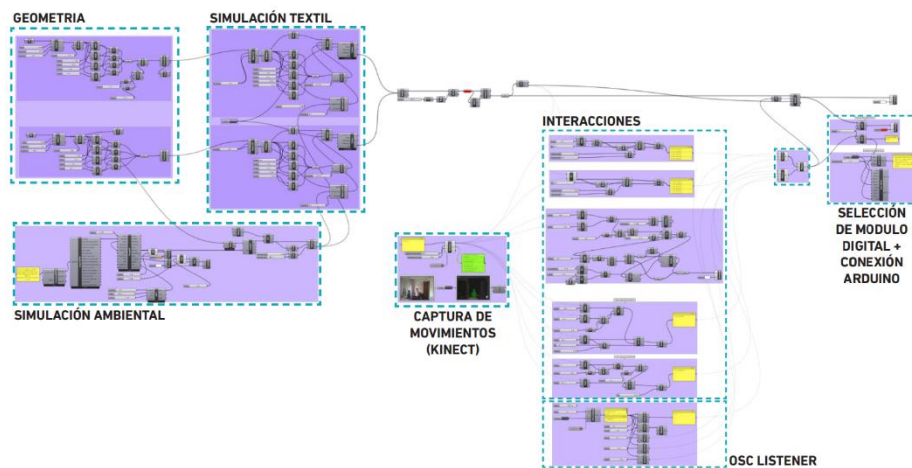


Figura 11. Script de la fachada responsiva. Elaboración propia.

5 Discusión

Una arquitectura que sea capaz adaptarse a los cambios ambientales pero que a la vez tenga en cuenta la presencia humana, supone una arquitectura que no es estática y que evoluciona en ambos sentidos, lo que puede tener un sin fin de beneficios. Por un lado, si lo vemos desde un punto de vista responsivo, el poder adaptarse a cambios en el ambiente posibilita la protección de elementos externo, pudiendo aumentar la esperanza de vida de un edificio y también disminuir el consumo energético, entre otras cosas. Desde el punto de vista interactivo, es interesante reflexionar en una

arquitectura expresiva, que sea capaz de reconocer que actividades se están dando dentro de un espacio, y adapte sus condiciones morfológicas para mejorar la realización o incluso posibilitar dichas actividades.

Al iniciar esta investigación, la teoría indicaba que los soft robotic podían tener un potencial gigante en las interacciones, por sus capacidades blandas y su compatibilidad con los humanos. Es por esto que la aplicación de soft robotic a las interacciones en la arquitectura es una oportunidad de investigación relevante, sobre todo si aquellas interacciones no requieren de un suministro constante de energía para funcionar. Un ejemplo de esto es la posibilidad de utilizar nitinol con una baja T° de transición (15° o 20° C) para generar cambios en un edificio únicamente con el calor corporal, sin la necesidad de energía eléctrica, software, ni mecanismos complejos, solamente la inteligencia del material.

Un camino para avanzar en el estudio de arquitectura adaptativa es mediante la hibridación. La hibridación permite explorar elementos existentes que están aparentemente separados y juntarlos para obtener un resultado nuevo, distinto al fin para el fueron hechos. En este caso en particular, permitió integrar dos elementos que por lo visto no suelen relacionarse, responsividad e interacción. Si bien el sistema es una hibridación de varios elementos (grasshopper, arduino y kinect), estos son open source. Esto da la posibilidad de que, en caso de querer desarrollar una fachada completa, existe la posibilidad de adaptar la programación a un lenguaje que sea compatible a ordenadores de placa pequeña, como Raspberry pi. Esto permitiría dejar de emplear una computadora convencional o laptops para controlar la fachada lo que reduciría el tamaño del sistema y la complejidad y la haría aún más accesible en términos económicos.

6 Referencias

- de Queiroz Nome, N., Carvalho, J. M., Verzola Vaz, C. E., & Nome, C. A. (2018). Pared cinética: Una fachada humana y ambientalmente responsiva. Un enfoque de educación en arquitectura. *Arquitecturas Del Sur*, 36(54), 58–69. <https://doi.org/10.22320/07196466.2018.36.054.05SAD>
- Dickey, R. (2017). Soft Systems: Rethinking Indeterminacy in Architecture as Opportunity Driven Research. *Protocols, Flows and Glitches, Proceedings of the 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, Bhatia 2012, 811–821.
- Majidi, Carmel. (2014). Soft Robotics: A Perspective—Current Trends and Prospects for the Future. *Soft Robotics*. 1. 5-11. 10.1089/soro.2013.0001
- Medina H., J., & Vélez N., P. (2015). "Soft Robotic": Una nueva generación de robots. *Maskana*, 0(0), 109–118.
- Omar, A. faleh. (2017). *Responsive Architecture a Place Making Design Strategy*
- Whitesides, G. M. (2018). *Soft Robotics. Angewandte Chemie - International Edition*, 57(16), 4258–4273. <https://doi.org/10.1002/anie.201800907>