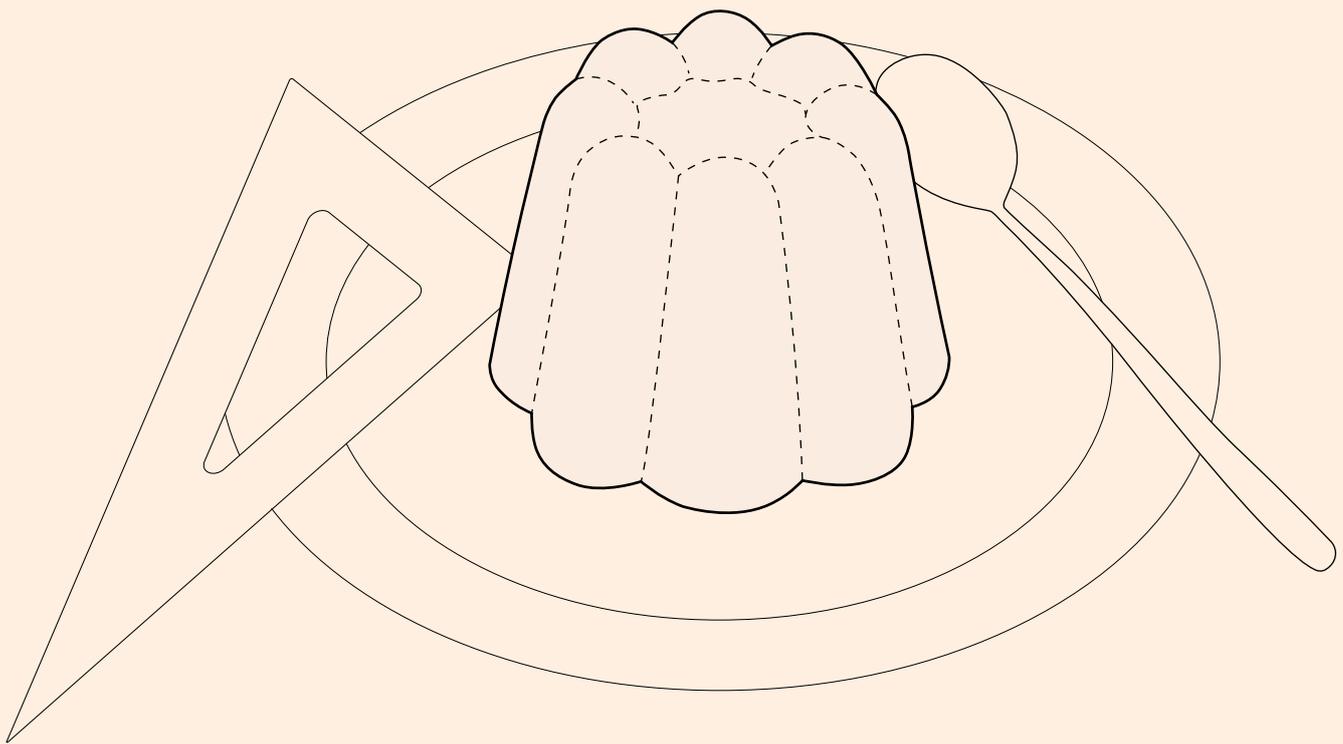


A R Q U I T E C T U R A

B L A N D A



Salvador Cantuarias Brañes

Profesores Guía
Miguel Casassus Rodiño
Jean Araya Gladinier

ARQUITECTURA BLANDA: Geles y Biogeles como
materiales de diseño arquitectónico.

Alumno: Salvador Cantuarias Brañes

Profesores Guía: Miguel Casassus Rodiño
Jean Araya Gladinier

Memoria de proyecto de título

Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura
y Urbanismo, Universidad de Chile
Primer semestre, 2021



La presente memoria de proyecto consiste en el registro de experimentación con hidrogeles para su uso como material en un proyecto de arquitectura. Dicha experimentación se abarcó mediante la manipulación de muestras y modelos basados en geles y su inmediato análisis de comportamiento mecánico.

El planteamiento principal de esta investigación es "el entendimiento de la arquitectura desde el material", mediante el uso de materias que no tienen unas soluciones contemporáneas en la arquitectura. Este enfoque vuelve imperativo el estudio exhaustivo de potencialidades y límites del material, mediante el cual se podría en algún momento llegar a una forma.

Para la realización de un análisis efectivo, que pueda rescatar la mayor cantidad de variables posibles, se establece una matriz que categoriza los descubrimientos según la complejidad de los procesos involucrados. Esto permite que no sólo se aprecien los potenciales descubiertos sino además su viabilidad de ser reproducido a mayor escala.

Este ejercicio concluye en la categorización de comportamientos de los distintos experimentos con geles, dentro de las cuales podemos distinguir cuatro estrategias principales para diseñar. Dichas estrategias buscan convertirse en una primera etapa de lo que será la creación de un modelo a escala real de carácter habitable.

EL GEL Y EL ENTORNO..... (p6-p10)

- LA ARQUITECTURA DESDE EL MATERIAL
- EL FIN DEL MUNDO Y LA OIKOS
- ¿QUÉ ES UN GEL?
- LOS HIDROGELES EN CHILE

EL GEL EN ACCIÓN..... (p12-p52)

- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN
- GELES DE BAJA COMPLEJIDAD
- GELES DE COMPLEJIDAD MEDIA
- GELES DE ALTA COMPLEJIDAD

PROYECCIONES..... (p54-p56)

- DUDAS Y REMANENTES
- ESTRATEGIAS PRELIMINARES

BIBLIOGRAFÍA..... (p58)

ANEXOS..... (p60)

EL GEL
Y
EL ENTORNO

LA ARQUITECTURA DESDE EL MATERIAL

La proyección arquitectónica contemporánea está generalmente basada en el entendimiento material estandarizado, donde estos han pasado por un proceso extensivo de categorización que les impone características en base a su capacidad de traer soluciones en la proyección edificatoria. A pesar de los innumerables beneficios que esto ha traído al campo, el solucionismo material también nos ha llevado a un entendimiento muy reducido de las cualidades, potencialidades y límites que cada uno de los estos poseen.

Es con el fin de lograr entender los materiales y la arquitectura fuera de este fenómeno, que resulta inmensamente interesante realizar el ejercicio de trabajar con un material sin soluciones aparentes para el campo arquitectónico, y que solo en base a su estudio exhaustivo de sus comportamiento y la experimentación de sus límites, puedan llegar a visibilizarse sus verdaderos potencialidades.

Es desde este enfoque que se inicia la investigación de geles, un material que a primera vista pareciera carecer de cualquier utilidad para la actividad proyectual y que, de todas maneras, será estudiado para este fin.

¿QUÉ ES UN GEL?

Fig. Inferior
Diagrama proceso de
gelificación.

Fabricación propia.

Los geles consisten en sustancias pertenecientes al grupo de los materiales blandos, cuyas propiedades mecánicas se caracterizan por su ductilidad, elasticidad, maleabilidad, etc. En términos más específicos, los geles se clasifican como sustancias coloidales, compuestas por una parte líquida y una parte sólida que comprende al gelificante mismo. Estas dos partes se denominan como "fases". Debido a la presencia de estas dos fases, los hidrogeles poseen las propiedades de tanto materiales sólidos como líquidos, presentando así, un variado abanico de características aprovechables.

Estos pueden llegar a componerse de un 99% de agua y aún así conservar sus propiedades de estabilidad formal.

Al hidratarse y fundirse a una temperatura determinada, la fase sólida genera una red polimérica que encapsula la moléculas de agua. Al enfriarse nuevamente, la solución pasa por el proceso de "gelificación, donde esta se estabiliza en un cuerpo con características aparentemente sólidas. Un ejemplo común de este proceso es la gelatina, que está compuesta de agua y colágeno (sólido en suspensión).

También existen otras formas de hidrogeles, dependiendo de qué acciones se apliquen sobre este. Los Xerogeles son aquellos compuestos cuyo contenido acuoso a sido totalmente extraído, aún así conservando ciertas características mecánicas y químicas. Los aerogeles son aquellos que han pasado por un proceso de secado supercrítico, donde las moléculas de agua han sido reemplazadas por otro elemento volátil, el cual eventualmente evapora y deja un gel compuesto hasta un 99% de aire, brindando nuevas propiedades.

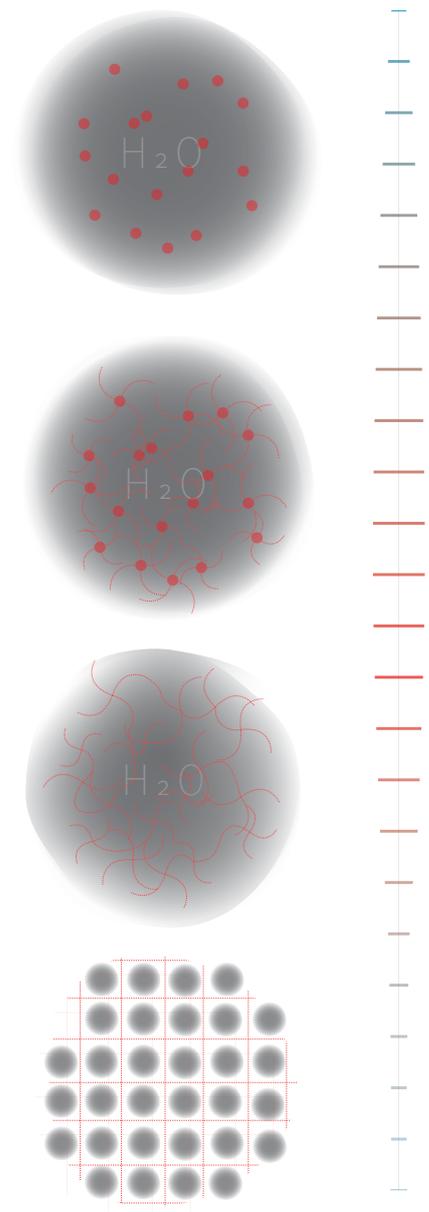
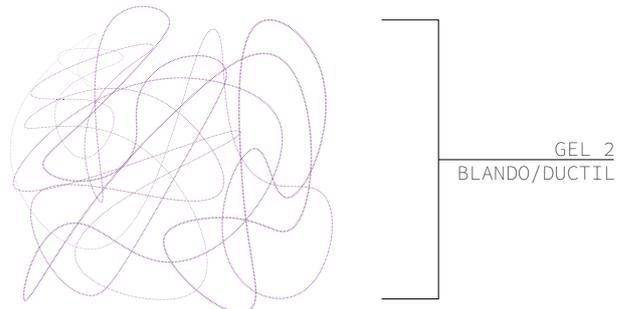
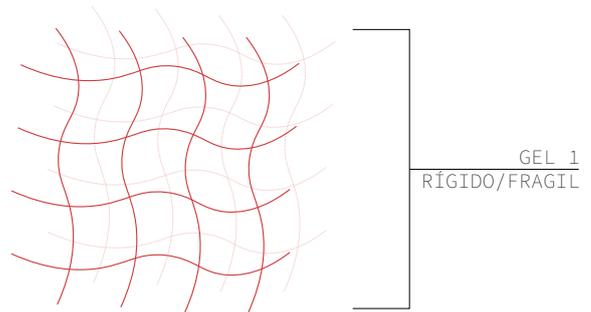


Fig. Inferior
Diagrama de estructuras moleculares de geles individuales y sinérgicos.

Fabricación propia.

Si bien lo mínimo que conforma a un gel son una fase líquida y una sólida, estos pueden llegar a conformarse por múltiples fases sólidas y líquidas, incorporando propiedades más específicas o fortaleciendo las que ya posee. Se les ha dado el nombre de geles DN (DN proviene de "double network" o doble trama en español) a estas soluciones más complejas. A escala molecular, se produce un entrelazamiento entre las redes de gelificantes. Este tipo de geles presentan características mecánicas, térmicas y de otro tipo, inmensamente superiores a los geles de trama única. Generalmente, Los geles DN no implican mayores complicaciones en su preparación ni manipulación respecto a los geles de trama única, permitiendo obtener soluciones con propiedades muy avanzadas, sin complicar demasiado su síntesis.



EL FIN DEL MUNDO Y LA OIKOS

La aparición de los hidrogeles dentro de la escena material no ha sido mera casualidad. Como ya es de conocimiento general, nuestro modo de vida y las condiciones materiales que lo sustentan son las principales causantes del catastrófico estado de los ecosistemas, cuyos efectos se han vuelto perceptibles de forma transversal, desde la escala global hasta la personal. Esto ha provocado que casi todas las comunidades del globo deban reorientar sus esfuerzos hacia un desarrollo sostenible y consciente con las condiciones y necesidades del micro y macro ambiente.

Los hidrogeles como materiales han recibido especial atención dentro de los últimos años al presentarse como una alternativa muy prometedora de los polímeros basados en hidrocarburos, como son los plásticos desechables que usamos a diario y cuyo impacto en ecosistema es absolutamente devastador. A diferencia de estos, los geles y sus precursores son casi en su totalidad de procedencia natural, y cuentan con cualidades como una producción no industria, biodegradación rápida, ser 100% reciclables y totalmente reutilizables.

Diversas investigaciones han arrojado hallazgos realmente revolucionarios respecto a las capacidades mecánicas de estos polímeros acuosos. Sin embargo, dicha atención viene desde mundos como la ingeniería química, farmacéutica y el diseño industrial.

De forma paulatina y accidentada, el campo arquitectónico también se ha adentrado en este zeitgeist, centrándose en la relación del espacio humano con el medioambiente y la eco-innovación, estando a la cabecera el desarrollo de nuevos materiales y métodos constructivos. Es de esperar entonces, que los geles también pudiesen integrarse al campo si se llega a probar su potencial mecánico en conjunto con las ventajas ya mencionadas.



Fig. Superior
Mundos Pequeños y Blandos,
2017.
María Mallo.

Escultura de colonias simbióticas de bacterias y levaduras sobre dibujo en papel.



Fig. Inferior
Coded Biophilia, 2017.
Giulia Tomasello.

Gel de agar ionizado con circuitos de controlador arduino.

LOS HIDROGELES EN CHILE

Los hidrogeles y sus precursores pueden encontrarse ampliamente en el reino biótico de casi todos los ecosistemas, ya que son esenciales en la composición de organismos simples y complejos, como las colonias bacterianas, las algas y los mismos seres humanos.

La extracción de agentes gelificantes se ha realizado por cientos de años, de manera tanto artesanal como industrial (dependiendo de escala y tecnología, según época y lugar). Si bien en Chile no ha existido una tradición de extracción y uso de hidrogeles como en otras partes del globo, recientemente han emergido industrias nacionales que operan en torno recolección de la inmensa y diversa fuente de algas que habitan la longitud completa del litoral chileno. De entre las poblaciones de algas se encuentra el pelillo rojo (*Agaropython Chilensis*), que se constituye en gran medida por polisacáridos de alta pureza, convirtiéndolo en uno de los especímenes más valiosos para la producción de agar-agar, agarosa y agarpectina, todos precursores primordiales para el actual desarrollo de materiales blandos.

En torno al creciente valor de estas especies y su abundancia en Chile, también han surgido múltiples iniciativas desde el espacio académico nacional, con el fin de incentivar un desarrollo sustancial de las industrias de cultivos, extracción y procesamiento de gelificantes derivados de algas. Es así como los hidrogeles se van convirtiendo, con cada vez más soberanía, en un material local y de fácil acceso, que al mismo tiempo tiene el potencial de poseer ubicuidad sobre todo el territorio nacional.

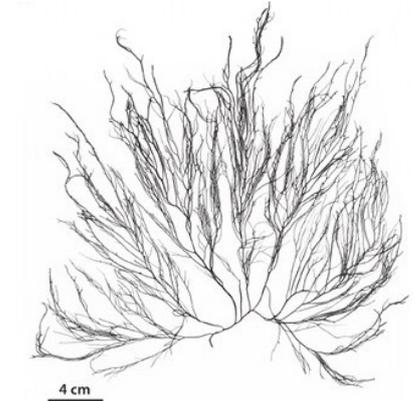


Fig. Superior
Dibujo de espécimen
Pelillo rojo (*Agaropython Chilensis*).

Imagen extraída de estudio: First occurrence of *Gracilaria chilensis*, and distribution of *Gracilariopsis lemneiformis* (2015).



Fig. Superior
Ejemplo de método cultivo y extracción de Pelillo Rojo.

Imagen extraída de proyecto Universidad San Sebastián: Acciones de apoyo a las actividades pesqueras artesanales y de cultivo en el golfo de Arauco (2017).

GELES EN ACCIÓN

TAXONOMÍA DE EXPLORACIÓN

Sin lugar a dudas, uno de los desafíos iniciales más grandes que impusieron los geles, fue el llegar a comprender cuáles eran las variables principales en su composición y manipulación que permitieran visibilizar su potencial y aplicabilidad en el diseño arquitectónico.

Para abordar esta problemática, se trabajó primeramente con la preparación de muestras de gel aisladas y manualmente manipulables, catalogando sus características y generando así un compendio de recetas. Esto permitió evaluar rápidamente las cualidades mecánicas de cada versión de gel. Una vez que las recetas fueron siendo afinadas, se construyeron algunos artefactos que permitieran imponer esfuerzos más grandes y complejos, dando a conocer en detalle cuál podría ser el verdadero potencial arquitectónico.

Las recetas y métodos de manipulación fueron catalogados según la complejidad de los conocimientos y equipamiento necesarios para llegar a resultados óptimos, disponiéndose entre las categorías Alta Complejidad y Baja Complejidad. El análisis a partir de este enfoque, tuvo resultados inmensamente prometedores y divergentes en sus características. Las recetas resultantes cumplen cada una un rol distinto, y pueden ser aplicadas en conjunto o de forma unitaria.

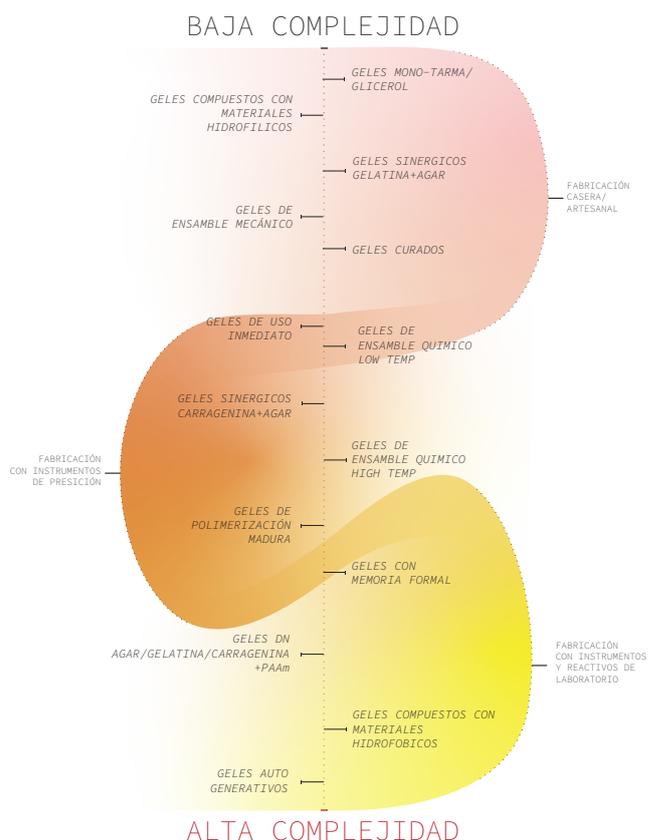


Fig. Superior
Diagrama de orden de procesos y experimentos.

Fabricación propia.

PRODUCCIÓN Y MANIPULACIÓN DE GELES

DE BAJA COMPLEJIDAD

Las primeras exploraciones fueron realizadas en base a métodos y materiales rudimentarios, los cuales permitieran observar las características básicas de los hidrogeles y su potencial de uso en el diseño de obras. Los gelificantes utilizados fueron gelatina y agar-agar, debido principalmente a su disponibilidad y facilidad de uso, además de ser inmensamente populares, por lo que encontrar referencias de cómo utilizarlos sería mucho más fácil.

Los principales referentes en el uso de geles por sus propiedades mecánicas fueron: La manufacturación casera de geles de gelatina para pruebas balísticas y la producción artesanal de biopolímeros en base a agar. En términos muy generales, ambos referentes priorizan la creación de geles que sean lo más mecánicamente resistentes que fuese posible, sin embargo, los geles balísticos deben poseer estas características en forma de volúmenes y además estar conformados por una gran cantidad de agua (sobre el 50%), mientras que los biopolímeros funcionaban como superficies planas, resultantes de la pérdida de un gran porcentaje del líquido que los conforma. A algunos de estos biopolímeros se les agregan aditivos como la glicerina, permitiendo que se mantuvieran maleables una vez secos.

El comportamiento de ambos gelificantes también era diametralmente diferente, siendo imposible intercambiarlos y obtener resultados similares. Por ejemplo, resulta imposible hacer un gel de carácter balístico en base a agar-agar.



Fig. Superior
Muestra de biopolímero en base a Agar.

Imagen extraída de www.Materiom.com



Fig. Superior
Muestra de gel balístico perforado con munición 9m.

Fabricado por grupo artístico: The Propeller Group (2018).

Los referentes, en conjunto con la experimentación, también permitieron establecer ciertos parámetros con los cuales comenzar a manejar las propiedades de los geles:

ÍNDICE DE HIDRATACIÓN:

La cantidad de agua contenida en los hidrogeles es determinante para la manifestación de sus propiedades. Por ejemplo, un hidrogel de gelatina necesita al menos un 20% de hidratación para mantener su flexibilidad, de lo contrario pasa a ser quebradizo.

TEMPERATURA:

Cada gel posee un punto de fusión específico. Si la temperatura sube hasta un punto determinado, las cadenas de polímeros se rompen y el elemento pasa a un estado líquido. La variable principal que determina el punto de fusión es el tipo de gelificante (la gelatina se derrite entre los 35° y los 40° Celsius), sin embargo, el índice de hidratación también es un factor determinante, donde a mayor cantidad de agua menor es la temperatura de fusión.

TIEMPO DE CURADO (DESHIDRATACIÓN):

Todos los hidrogeles son higroscópicos, por lo que su índice de hidratación varía según la humedad ambiental. Los experimentos muestran que los geles recién formados tienden a perder y ganar agua muy rápidamente. Por otro lado, los geles con mayor antigüedad también se deshidratan rápidamente, pero no tienden a absorber agua en ambientes húmedos.



Fig. Izquierda
Modelos de gelatina e hilo.

Fabricación propia.

Fig. Inferior
Modelos de Agar-Agar suspendidos sobre esqueleto de alambre.

Fabricación propia.

Cada gelificante tiene propiedades mecánicas particulares. La gelatina produce geles muy elásticos, bastante resistentes a esfuerzos de compresión y flexión, siendo entonces, el grupo de geles con mejor resistencia a los esfuerzos mecánicos. Sin embargo, estas cualidades solo se presentan cuando el gelificante comprende entre un 60% y 45% de la solución. Los geles de gelatina tienen un punto de fusión particularmente bajo, derritiéndose entre los 35° y 45°.

Los geles de agar-agar tienden a ser muy duros y frágiles, rompiéndose fácilmente ante esfuerzos menores. A pesar de esto, Existen otras cualidades sumamente interesantes, siendo su alta temperatura de fusión a 90° y su gran coeficiente de gelación, necesitando comprender solamente de un 35% a un 15% de la solución para formar geles estables, las características de más interés para nuestro fin proyectual.

Ambos gelificantes pueden combinarse dentro de la misma solución dando resultados muy variados dependiendo de las proporciones de cada mezcla.

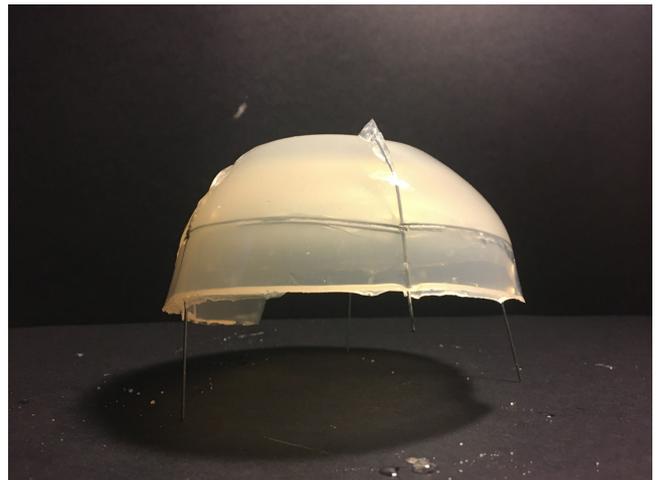


Fig. Inferior
Gráficos de recetas de geles Bajas
Temperaturas.

Fabricación propia.

La combinación de los gelificantes en la misma solución, da paso a un fenómeno conocido como sinergia, donde el gel resultante exhibe las características combinadas de sus sustratos precursores.

La sinergia entre la gelatina y el agar-agar produjo geles mucho más mecánicamente resistentes que las versiones aisladas, pudiendo doblarse y torcerse hasta el máximo que su forma permitía sin presentar fallas o fisuras.

La experimentación exhaustiva de creación y prueba de geles terminó por generar un compendio de recetas muy diverso, donde cada una se enfoca en una propiedad específica o una característica formal. Todas estas recetas fueron ideadas para mantener o mejorar sus capacidades en la medida que el material pasaba por el proceso de curado. Algunas recetas son para uso inmediato una vez que la solución gelifica, mientras que otras necesitan ser curadas para manipularse.

El factor determinante para lograr una elasticidad permanente en los geles fue la introducción de glicerina. Este agente trabaja como una segunda fase líquida la cual no es evacuada del gel con el pasar del tiempo, evitando así que el material se endurezca por completo. Mientras más glicerina se incorpora a la mezcla, más blando es el resultado.

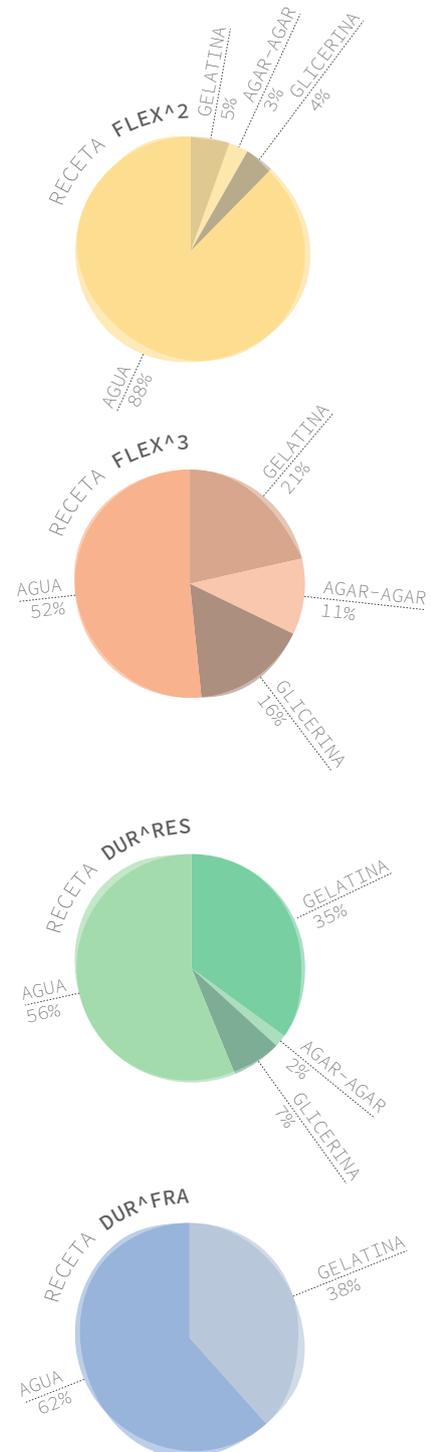


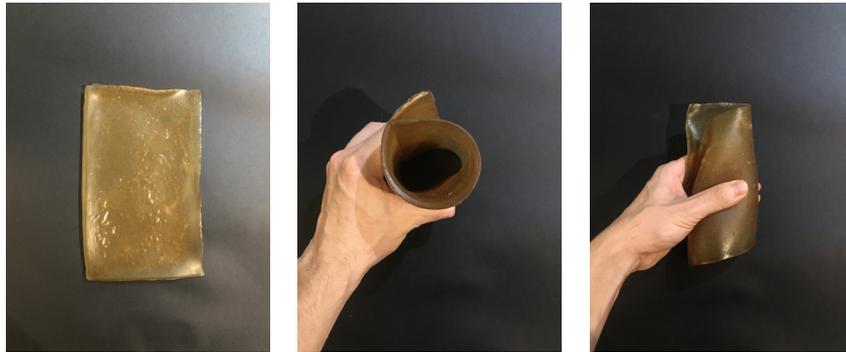
Fig. Inferiores
Muestras de gel de cada receta y su
comportamiento.

Fabricación propia.

[Flex^2]



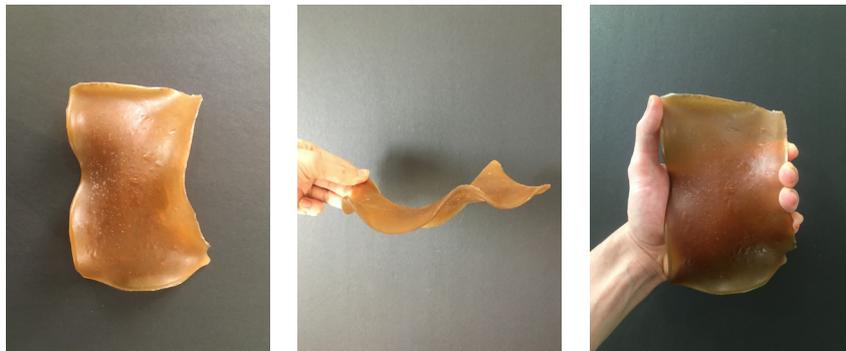
[Flex^3]



[Dur^Fra]



[Dur^Res]



Una consideración importante que se reveló en el proceso de confección y curado, fue que los hidrogeles (o al menos los que están basados en biogelificantes) tienden a convertirse en el alimento y hábitat de diversas colonias de hongos y bacterias. La proliferación de esta carga biótica depende de muchos factores ambientales. Por ejemplo, si el gel se encuentra en un espacio ventilado o con mucha iluminación, resulta muy poco probable que aparezcan colonias.

El efecto de estas colonias tampoco es muy importante para la integridad mecánica del material, sin embargo, para efectos de volverse un proyecto habitable, deben tomarse las medidas correspondientes para evitar el crecimiento de posibles patógenos y alérgenos.

Una solución a prueba de las condiciones ambientales y que no altera las características de los geles, es la introducción de propionato de calcio, un tipo de sal cálcica que funciona comúnmente como fungicida y bactericida. Su uso en la industria alimenticia, nos permite verificar que este agente no es nocivo para el ecosistema y puede descomponerse y reintegrarse fácilmente a los ciclos biológicos locales.

La adición de 3,6 gramos de Propionato de Calcio por cada 4 gramos de sustrato gelificante a

probado ser más que suficiente para detener el surgimiento de colonias en hidrogeles con hasta un 99% de índice de hidratación.



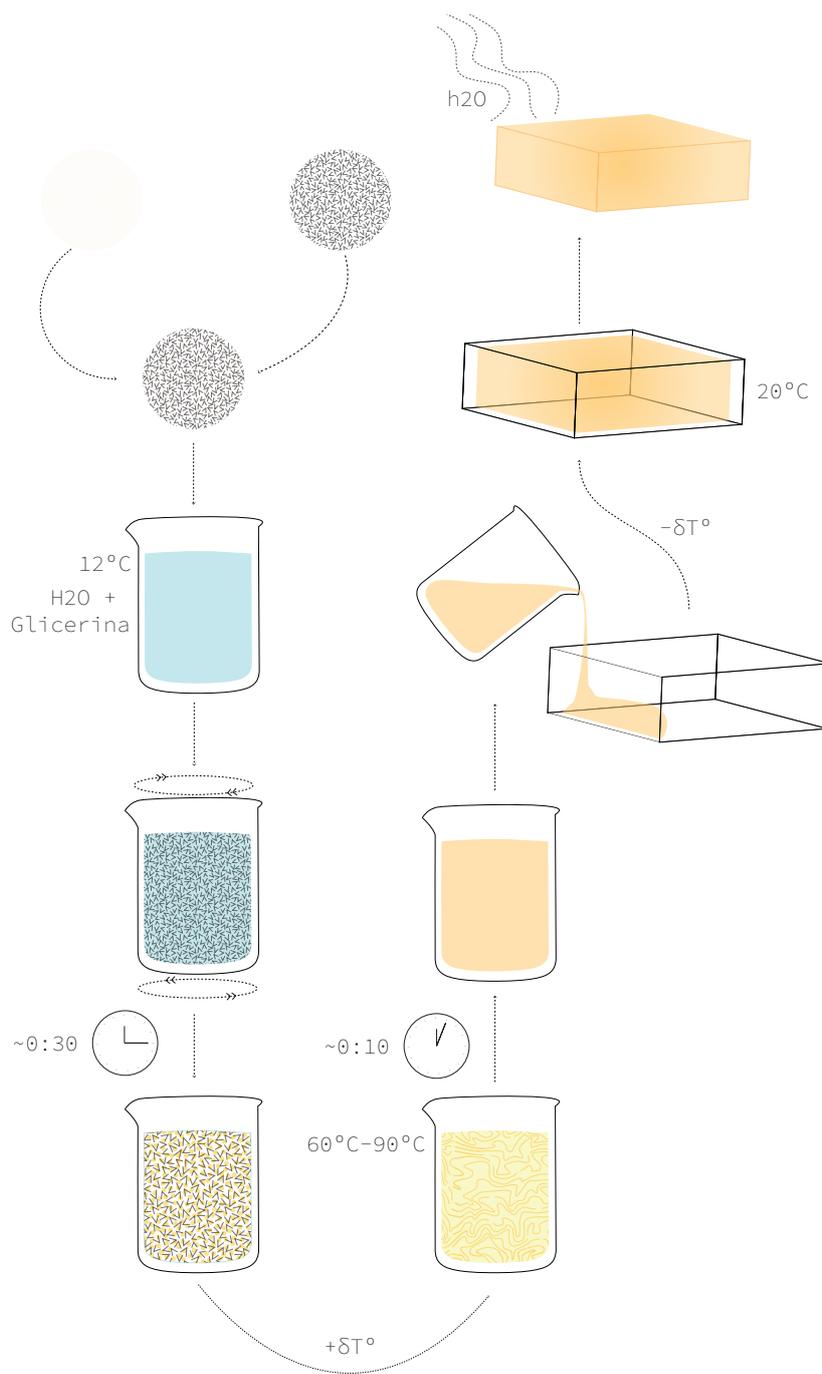
Fig. Superior
Muestra de gel expuesta al exterior con múltiples colonias de hongos.
Fabricación propia.



Fig. Superior
Muestra de gel con Propionato de Calcio, expuesta al exterior. No presenta colonias de ningún tipo.
Fabricación propia.

La preparación de estos geles se hizo con simples instrumentos caseros y sin la necesidad de más de una persona para la realización del proceso completo.

Fig. Inferior
Diagrama proceso de fabricación de geles.
Fabricación propia.



Uno de los componentes más importantes en el proceso de generación de geles son los moldes. En un principio, dada la elasticidad inherente de los geles, los moldes podían ser de cuerpo único. Los geles eran extraídos simplemente doblándose levemente hasta quedar libres. En la medida que los productos adquirirían complejidad Los moldes pasaron a componerse de piezas extraíbles e intercambiables, facilitando inmensamente su extracción, especialmente al momento de realizar modelos más delicados o detallados.

El único requerimiento de los moldes es que estos sean o estén cubiertos por algún material impermeable, de lo contrario, la extracción de los geles será imposible. De preferencia los moldes están fabricados con piezas metálicas, ya que su gran conductividad térmica permite un proceso de gelificación mucho más rápido y homogéneo.



Fig. Superior
Ejemplo de molde complejo cerrado. Realizado con cartón corrugado forrado en cinta aislante.

Imagen de fabricación propia.

Fig. Superior
Ejemplo de molde complejo abierto. Realizado con lámina de aluminio espejado.

Imagen de fabricación propia.

Una vez que se consolidó un compendio de recetas, se empezó a experimentar en la compatibilidad que tenían los hidrogeles con otros materiales más estandarizados. También se exploró la compatibilidad entre distintos hidrogeles, y si estos podían trabajar en conjunto formando parte del mismo cuerpo.

A pesar de que en un inicio se trabajó con múltiples materiales, como plásticos, metales, maderas, textiles y demases, la lista se redujo rápidamente a aquellos que tuviesen la capacidad de absorber agua. Dado esto, el gel podría pegarse a la superficie de los materiales y formar uniones extremadamente resistentes. Tal es el caso, que en situaciones de esfuerzos extremos, lo más común es que fallaran los materiales mismos antes que la unión formada.

Casi todos los materiales en base a fibras naturales, como maderas, cartones y telas, pudieron formar uniones de excelente desempeño. Estas uniones, también se hacen más fuertes en la medida que el gel se deshidrata.

En el caso de materiales no absorbentes, la superficie de contacto entre estos y los geles es extremadamente débil, por lo que con movimientos leves provocan una separación irreparable. Sin embargo,

elementos sumergidos totalmente en el gel, como enfierraduras, placas y textiles sintéticos de trama gruesa, lograban adhesión y trabajo sinérgico con los geles, siempre y cuando estos hayan pasado por un proceso de deshidratación severo, mejorando en gran medida su integridad.

Estos nuevos materiales también permitieron la introducción a nuevas formas de manipular, y finalmente controlar los geles.

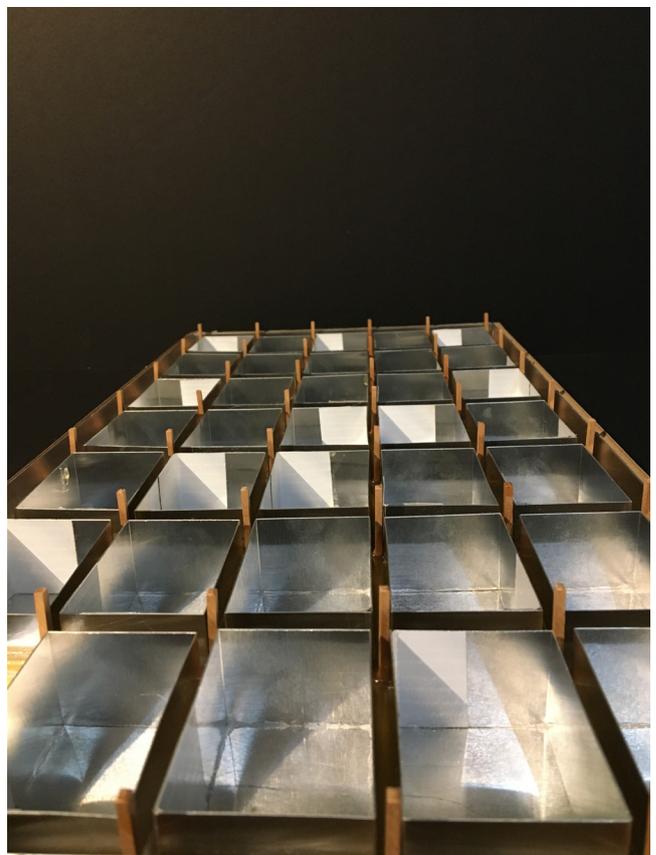


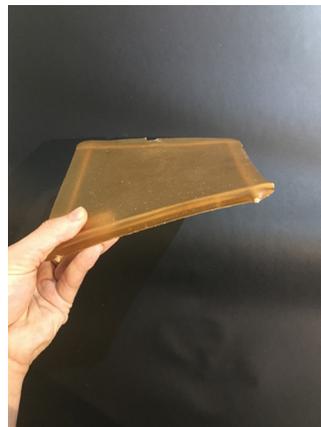
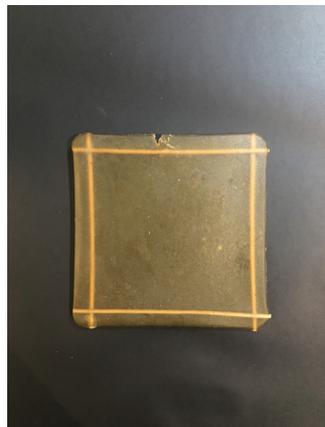
Fig. Inferior
Registro fotográfico de geles compuestos con
materiales absorbentes.

Fabricación propia.

[Flex^3]
+
Fibra de
lufa



[Dur^res]
+
Marco de
madera
amarrado



[Flex^3]
+
Cilindro de
cartón

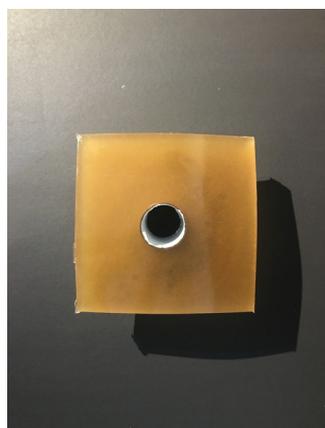


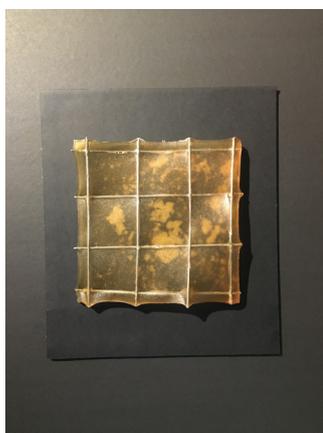
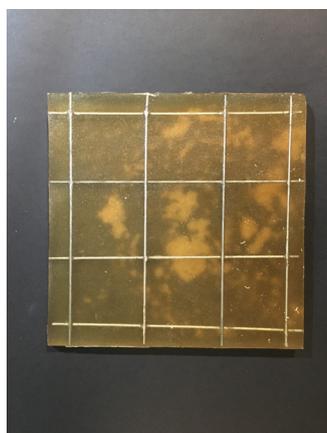
Fig. Inferior
Registro fotográfico de geles compuestos con
materiales absorbentes y no absorbentes.

Fabricación propia.

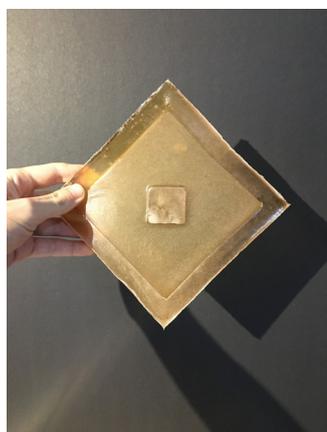
[Flex^3]
+
Láminas
de madera
perimetrales



[Dur^res]
+
Grilla de
alambre
soldado



Marco y cen-
tro [Dur^res]
+
relleno
[flex^3]



EJERCICIOS Y MODELOS

En la medida que los experimentos con cuerpos de gel comenzaban a mostrar resultados prometedores, el trabajo se reorientó hacia la fabricación de prototipos mecánicos, entrando así al análisis de tipologías estructurales y constructivas de los hidrogeles en base a modelos.

Estos modelos de estudio tuvieron un enfoque constante en visibilizar el comportamiento de los geles y cómo estos manifiestan situaciones de gran profundidad sensorial.

La forma de los prototipos no es más que la reacción física de los geles ante los esfuerzos ejercidos.

Dada la naturaleza de los hidrogeles, su comportamiento arquitectónico se basa en la interacción directa entre el agente y el objeto. En si, el objeto construido en base a geles no tiene forma definida, más es el resultado circunstancial de las dinámicas humanas y las condicionantes ambientales. El cambio de cualquiera de estas variables trae grandes y rápidos cambios a lo que pudo aparentar ser un objeto estático. De esta forma, la proyección de obras en base a hidrogeles tiene la consideración intrínseca del dinamismo y la reacción del modelo a los estímulos como la problemática medular.



Fig. Inferior 2
Maqueta funicular de La Cripta de la Colonia Güell, principios del siglo XX.
Antoni Gaudí.

Realizado en base a cordeles y pesas.



Fig. Inferior 1
Estudio físico geométrico de catenarias, principios del siglo XX.
Antoni Gaudí.

Fig. Inferior
Diagrama de fabricación de Modelo.

Fabricación propia.

MODELO 1

Fabricación:

Realizado con [Dur^{fra}] + láminas de madera balsa.

Se utiliza un molde ensamblable cuadrado abierto. Se intercalan placas de manera vertical en el molde, permitiendo generar los brazos de prototipo.

Descripción:

Se realiza un objeto de gel y madera que busca trabajar un forma de fabricación simple con la versatilidad extrema del material. La naturaleza del gel permite que puedan hacerse diversas formas apenas el objeto se desmolde. Una vez que el material comienza a perder humedad, la forma se estabiliza y el objeto pasa de una fase plástica a una elástica con memoria.

Este primer prototipo fue inmensamente útil para verificar la resistencia del gel a ser extensivamente manipulado, llegando a demostrar que podía inclusive resistir ser estirado en direcciones opuestas sin romperse en los puntos de encuentro que unían los brazos con el cuerpo central.

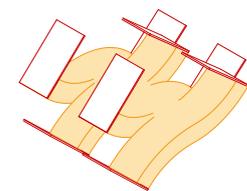
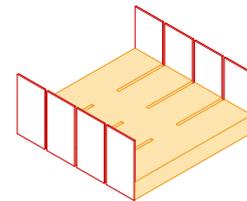
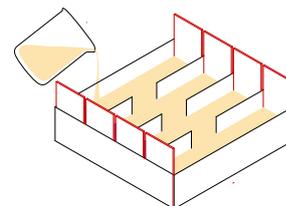
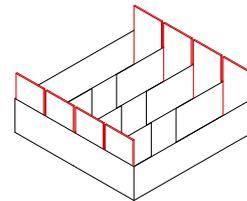
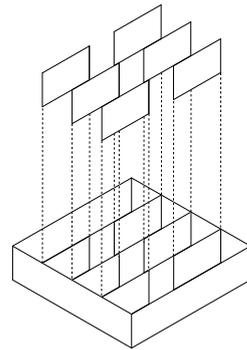


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

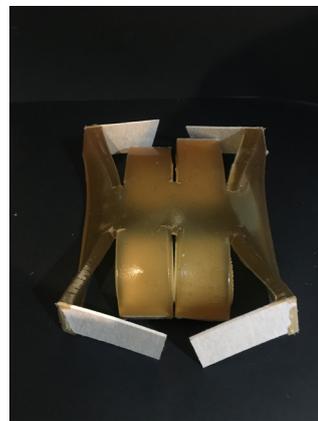
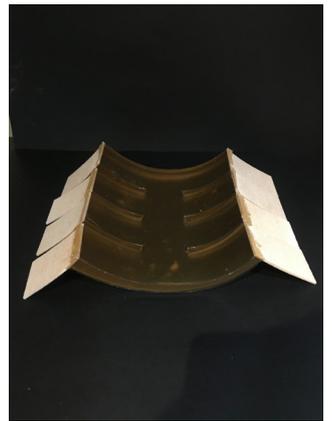
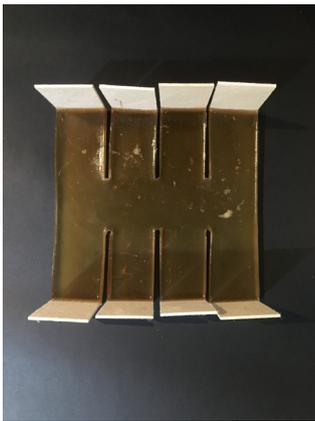


Fig. Inferior
Diagrama de fabricación de Modelo.

Fabricación propia.

MODELO 2

Fabricación:

Realizado con [Flex³] + placas de madera MDF.

Se utiliza un molde ensamblable, cuadrado y abierto, donde se disponen insertos de madera a los costados. Una vez se vierte la solución y esta queda gelificada, los insertos pasan a quedar unidos de forma permanente al modelo. Eventualmente, los insertos son perforados y utilizados como interfaz entre el gel y cualquier otro medio.

Descripción:

El gel resulta ser bastante flexible y resistente, aguantando manipulación extensa sin problema alguno. Las placas de MDF también logran adherirse de forma satisfactoria con el gel, aguantando esfuerzos de torsión y tensión sin desprenderse.

El modelo resultante demuestra que el gel puede aportar en la resistencia general de un modelo, permitiendo que este mantenga una forma definida. Al mismo tiempo, el gel otorga un inmenso dinamismo, logrando que el objeto en general pueda adoptar diversas formas dependiendo de las fuerzas aplicadas.

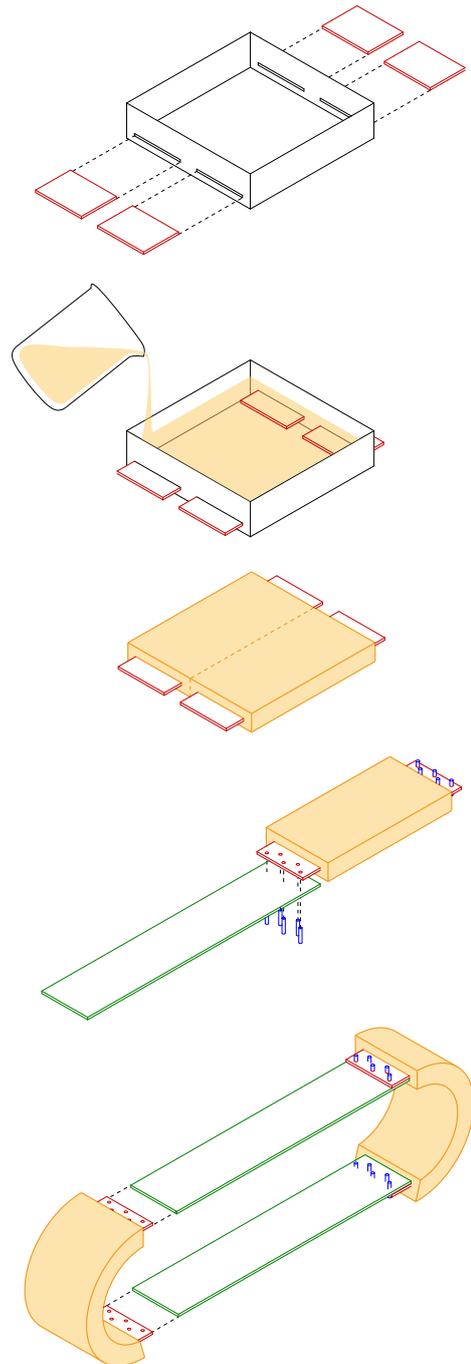


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

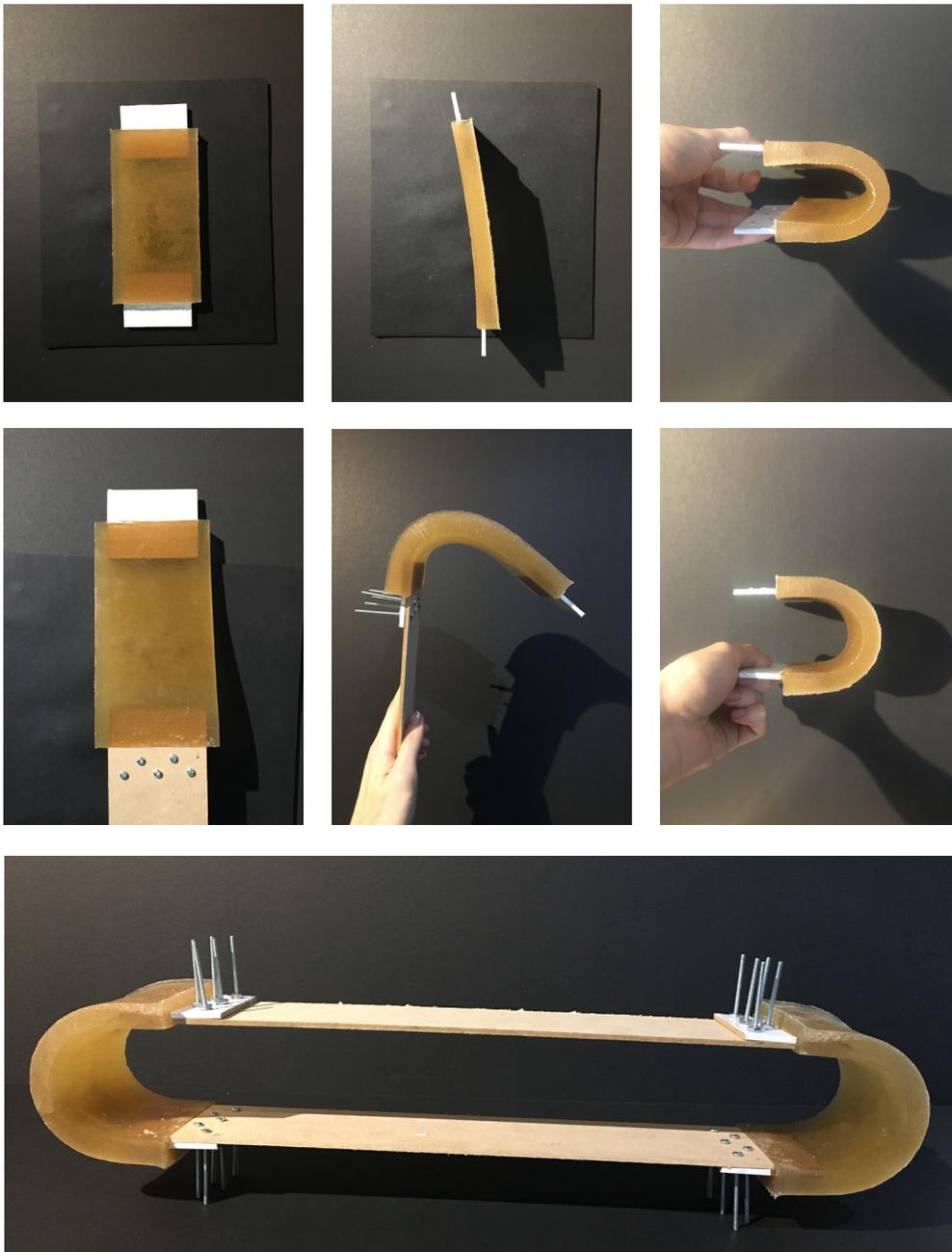


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

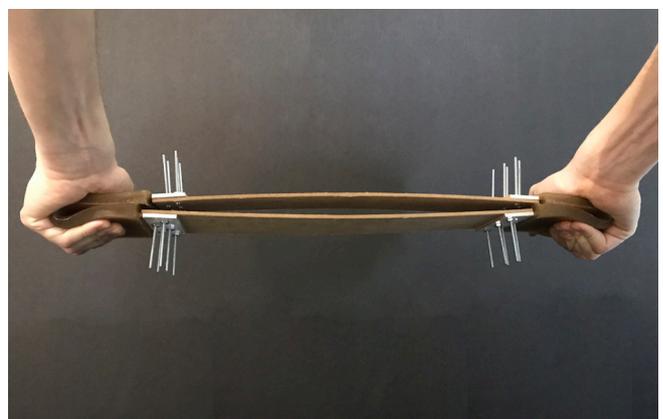
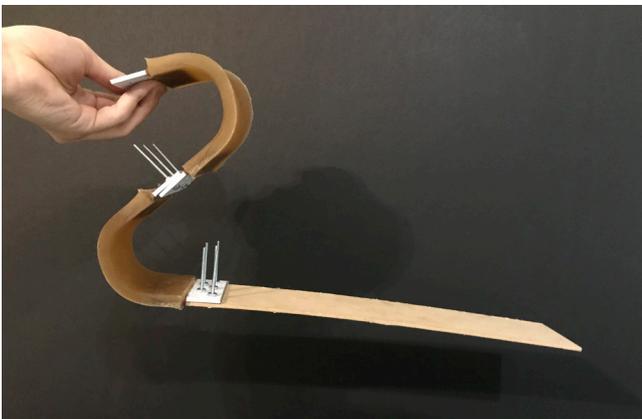
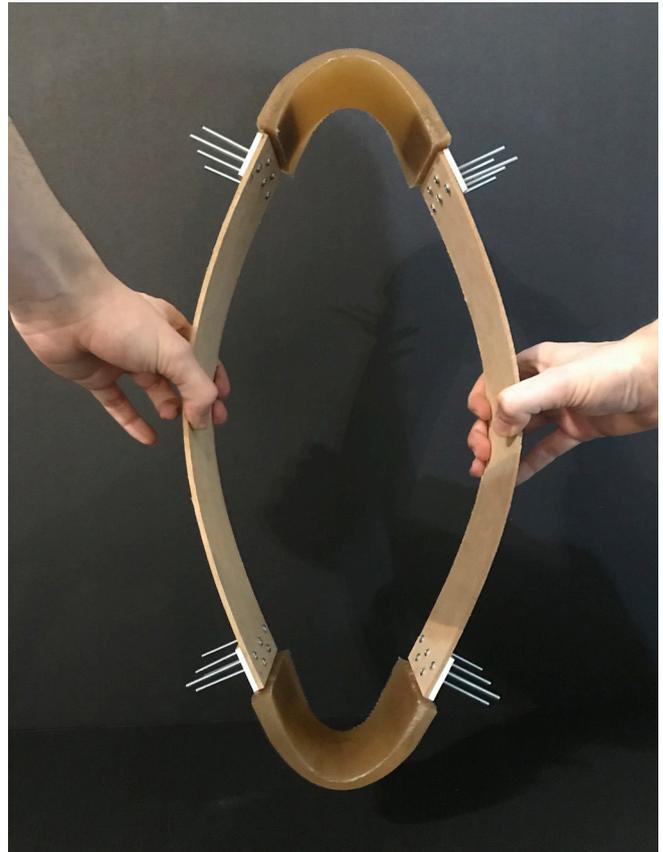
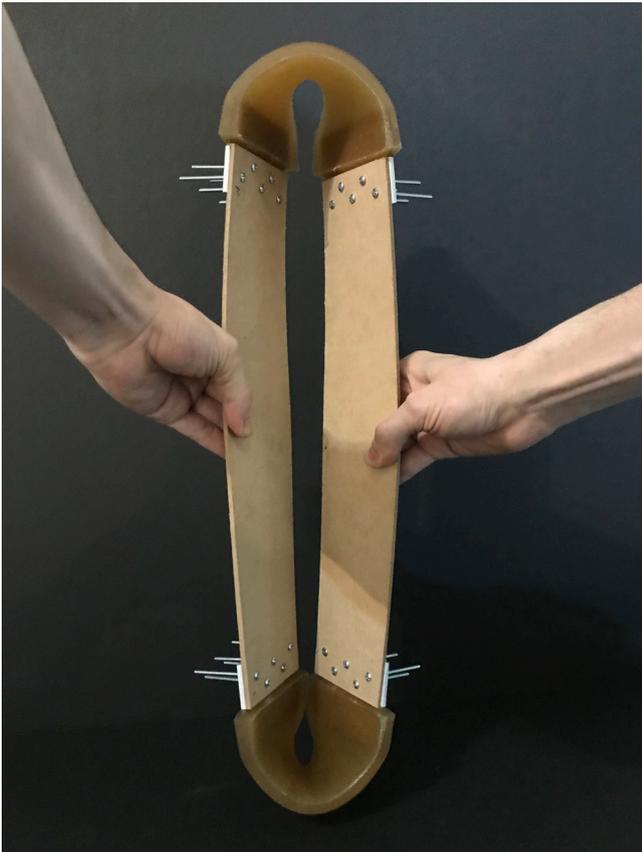


Fig. Inferior
Diagrama de fabricación de Modelo.

Fabricación propia.

MODELO 3

Fabricación:

Gel [Flex³] + láminas de madera balsa.

Al igual que el primer modelo, se adhiere madera a los extremos del gel, generando una interfaz más receptiva a ser trabajada posteriormente. Una vez formado el gel, este se divide en cuatro elementos longitudinales, los cuales son unidos entre sí a través de las interfaces y usando pegamento de madera. El objeto final es un gran cuerpo continuo en base a módulos, el cual podría expandirse de manera infinita.

Descripción:

Dependiendo de la extensión dada, el modelo pudo poner a prueba la capacidad del gel de soportar su propio peso bajo distintas instancias formales, y por ende, demostrando su gran dinámica formal e integridad física.

La esbeltez de la interfaz permitió unir seguramente los elementos sin interferir en el comportamiento del objeto. Este mismo sistema resulta muy prometedor para unir rápidamente piezas de gel con propiedades distintas, pudiendo formar objetos más complejos con características heterogéneas.

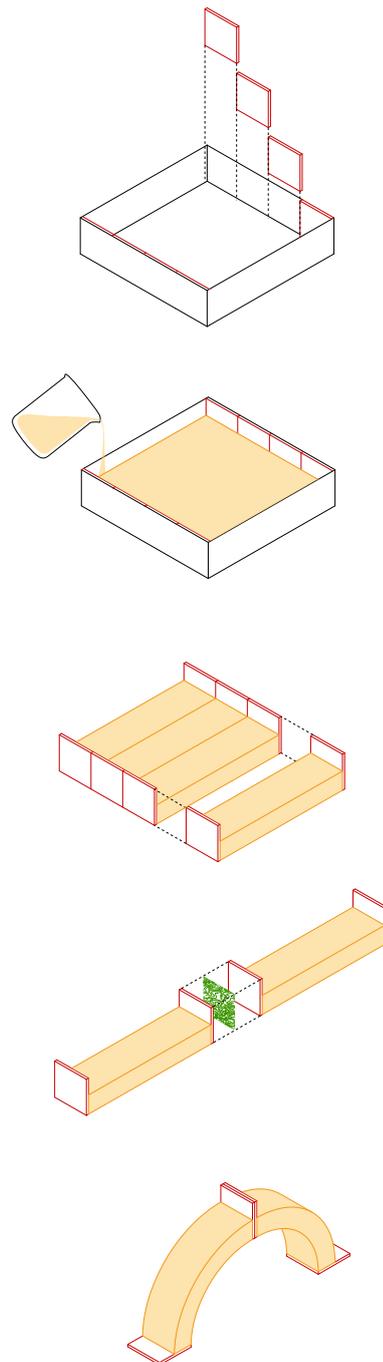
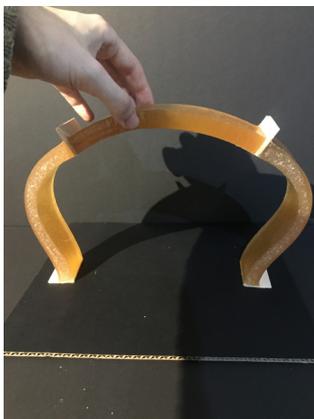
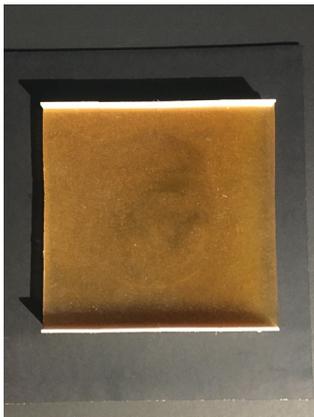


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.



MODELO 4

Fabricación:

Realizado con nervadura de [Dur^{res}] + membranas de [flex³] + varillas de madera.

El modelo se conforma como un manto compuesto por dos geles de propiedades sumamente distintas. Con el tiempo, la nervadura perderá agua y se endurecerá adquiriendo una forma definida según como haya sido deformada en el proceso de curado, mientras que las membranas mantendrán su elasticidad, aportando flexibilidad al objeto completo. Las varillas de madera fueron utilizadas para colgar el manto y así deformarlo de manera controlada. Sin embargo, el peso propio de gel no fue suficiente para una deformación notoria, por lo que se agregaron pesos que forzarán una deformación más drástica. Cada uno de los objetos dispuestos pesaba alrededor de un kilo, lo cual demostró que el gel aguantar fácilmente objetos cuatro veces su peso total sin romperse.

Este manto fue quizás la tipología de gel más compleja de hacer. Desde la creación del moldaje hasta el arduo trabajo de colgado y descolgado, incluyendo el largo tiempo de curado que fijó la morfología del gel.

Descripción:

Durante la etapa de curado, el gel comenzó lentamente a torcerse y deformarse, ya que la geometría debía compensar la evacuación exponencial de agua. Debido a que el modelo estaba simplemente colgando desde arriba, había nulo control sobre esta deformación secundaria. La forma resultante es entonces la combinación de ambas deformaciones.

Ya habiendo pasado su etapa de curado, se observa que el manto adopta su nueva forma permanentemente, sin importar los esfuerzos que se le impongan, salvo un pequeño grado de elasticidad provisto por las membranas. Al haber perdido casi la totalidad del agua que lo conforma, el manto pasa a ser un objeto extremadamente ligero y fuerte, pudiendo aguantar grandes cargas sin problemas.

Fig. Inferior
Diagrama de fabricación de Modelo.

Fabricación propia.

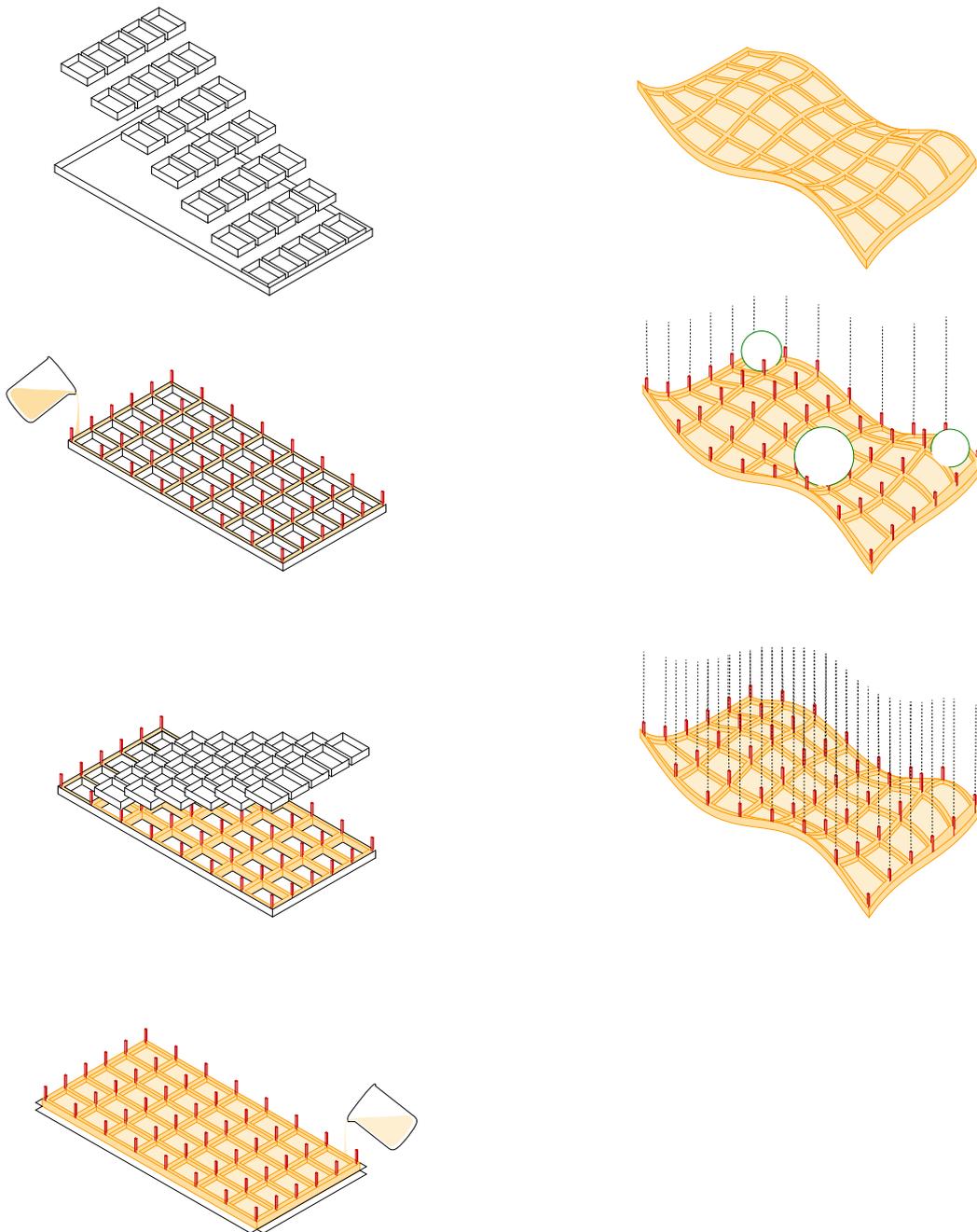


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

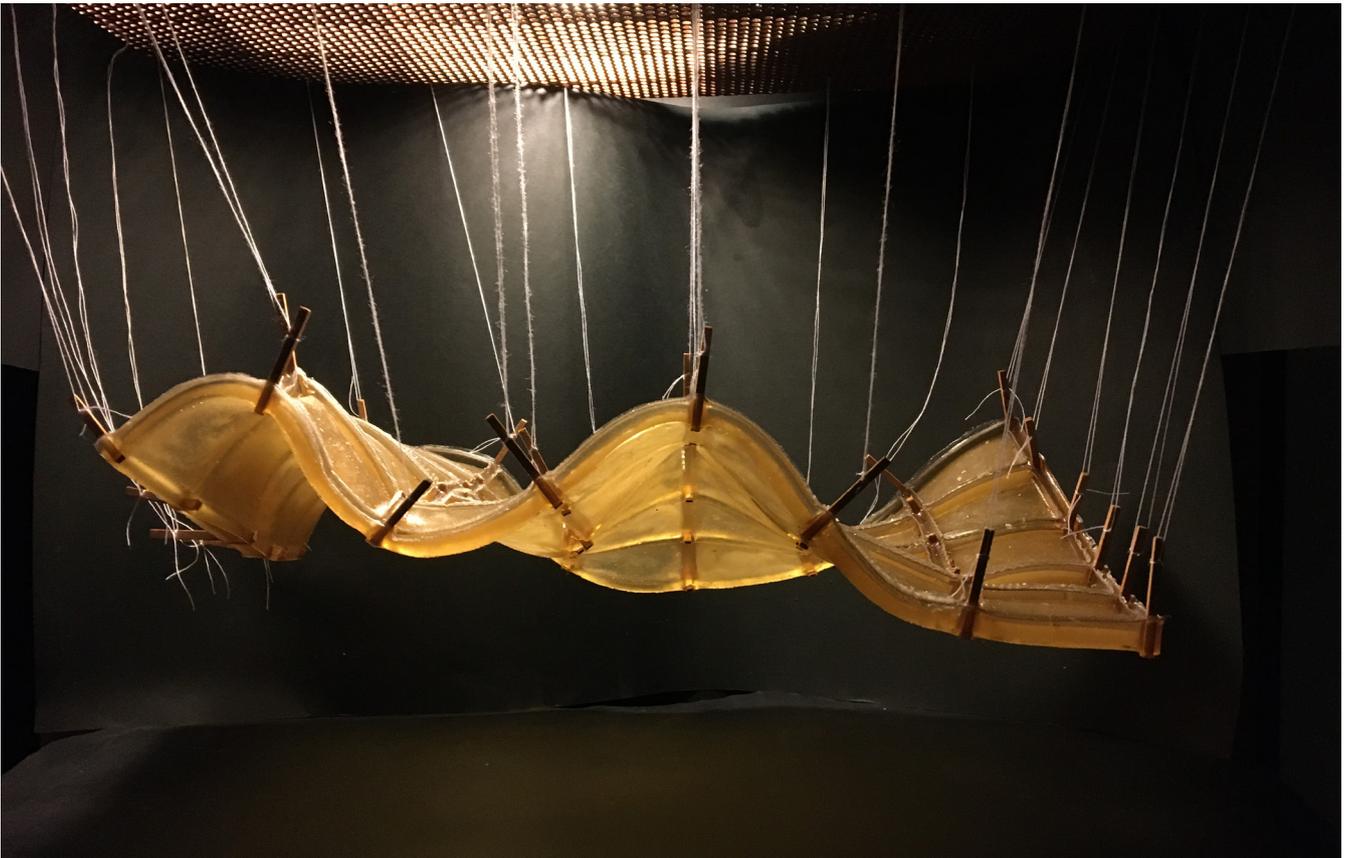
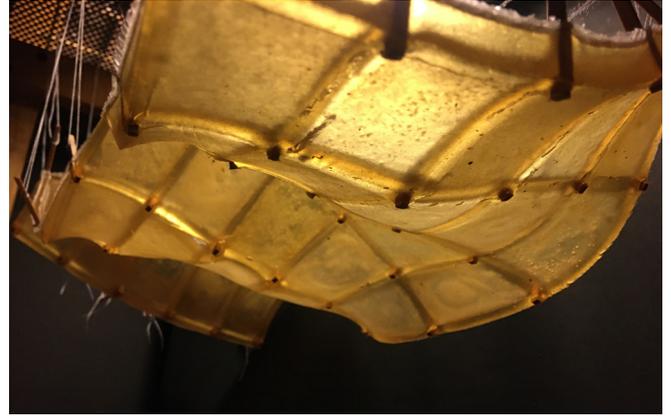
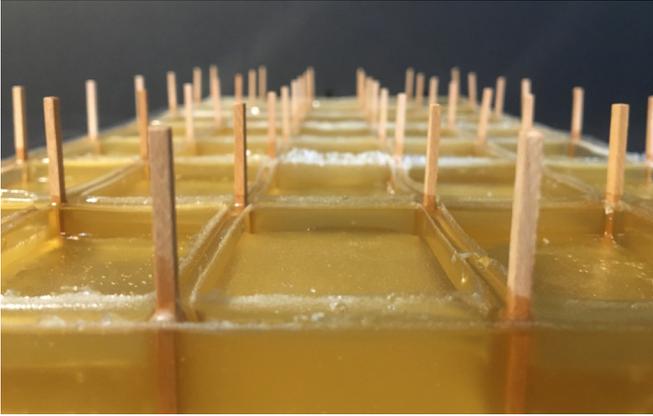


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

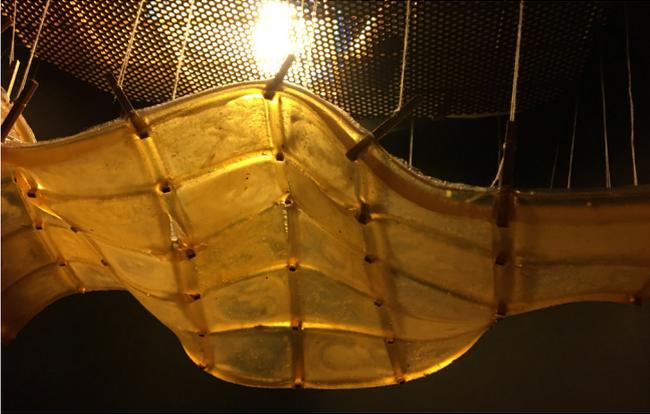


Fig. Inferior
Diagrama de fabricación de Modelo y su
variación de comportamiento respecto a
versión anterior.

Fabricación propia.

Modelo 5

Fabricación:

Este manto fue fabricado de la misma manera y con los mismos materiales que el modelo 4, salvo que la varas de madera ahora atravesaban el gel de lado a lado, permitiendo que este fuera tensado tanto por arriba como por abajo.

Descripción:

Gracias a la introducción de las varillas transversales el modelo pasa a ser mucho más manipulable que su versión anterior. Sin embargo, este nuevo método resulta ser muy laborioso, necesitando una inmensa cantidad de tiempo para ser colgado y ajustado hasta llegar a la forma requerida. De todas formas, el resultado es mucho más predecible, ya que la deformación por deshidratación solo impactó en la esbeltez final del material y no en la geometría impuesta.

Un aspecto muy importante resulta ser la preparación de una matriz resistente que permita amarrar los nodos y tensionar el gel. Si bien este sistema parece funcionar bien para un modelo pequeño, resulta poco factible pensar que se podría llevar a cabo en escalas mayores, ya que requeriría una cantidad de esfuerzo y trabajo inmensa, además de un lugar que también tuviese una matriz de amarre.

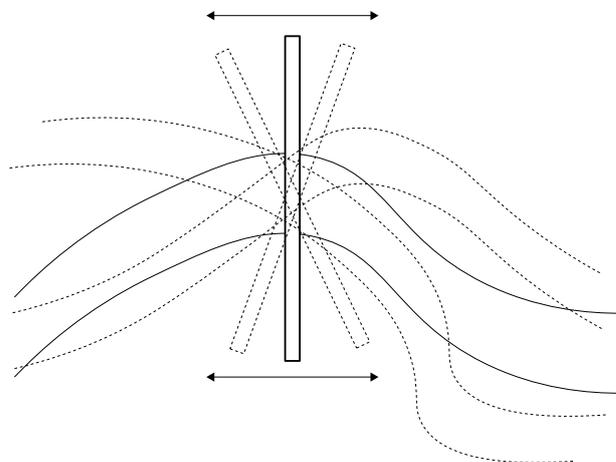
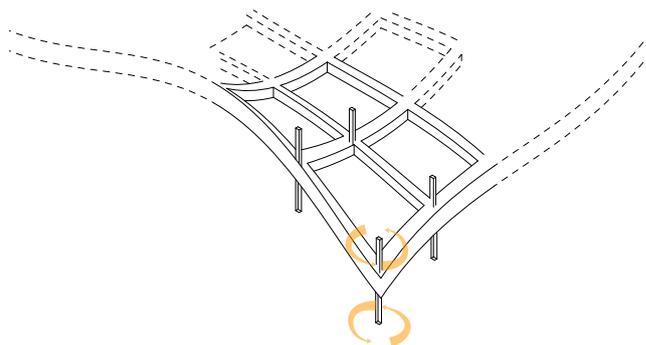


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

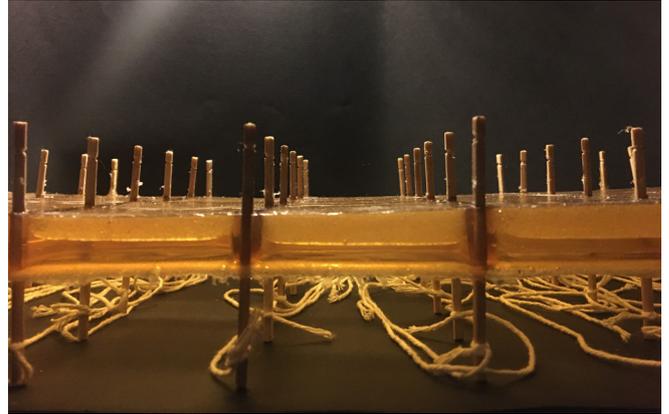
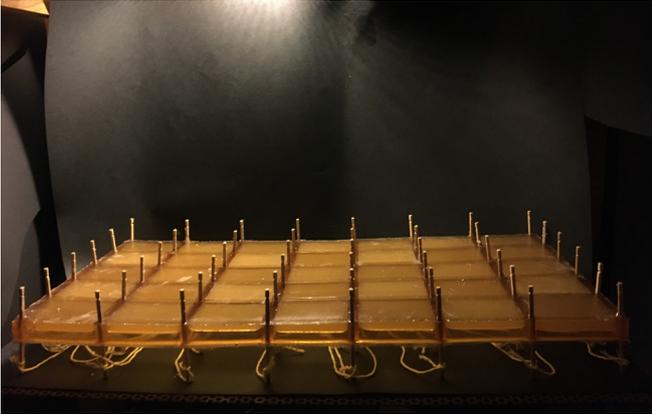


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.

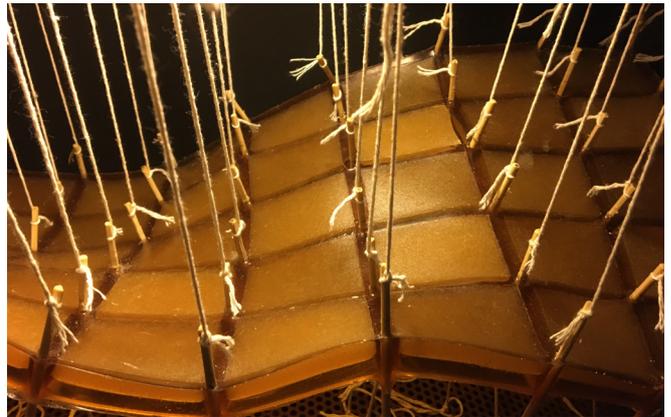
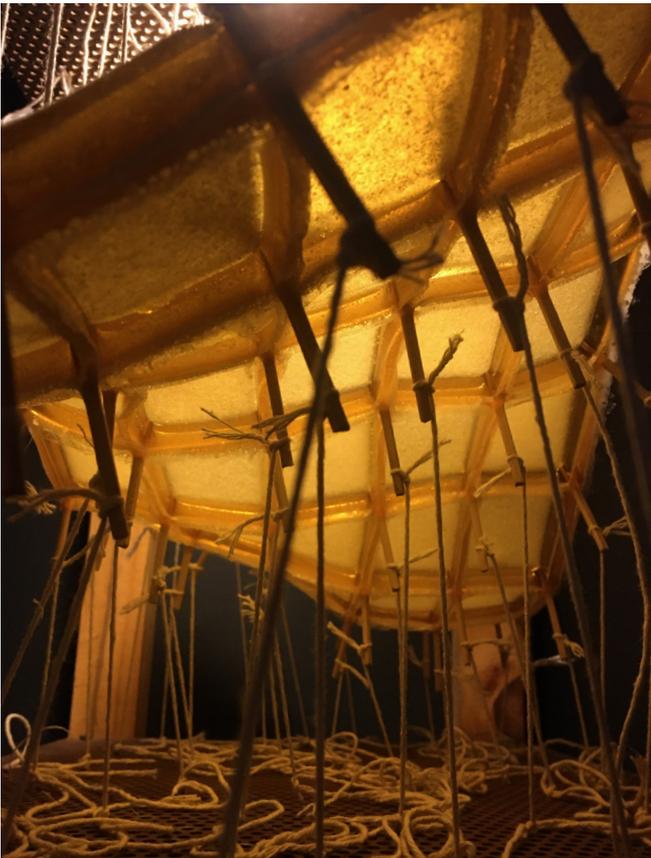
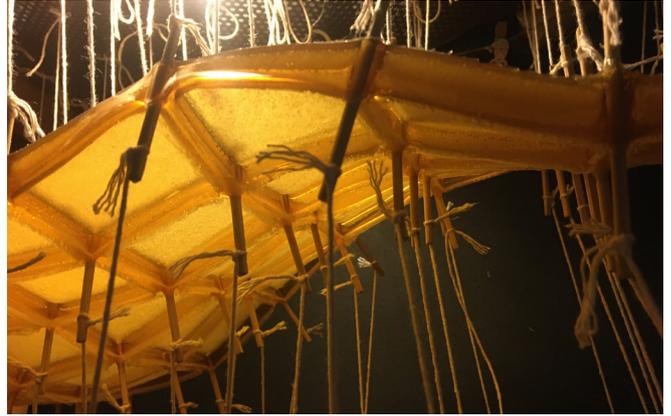
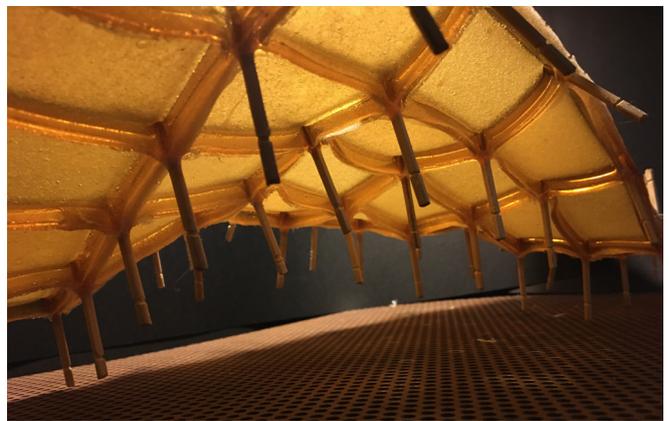
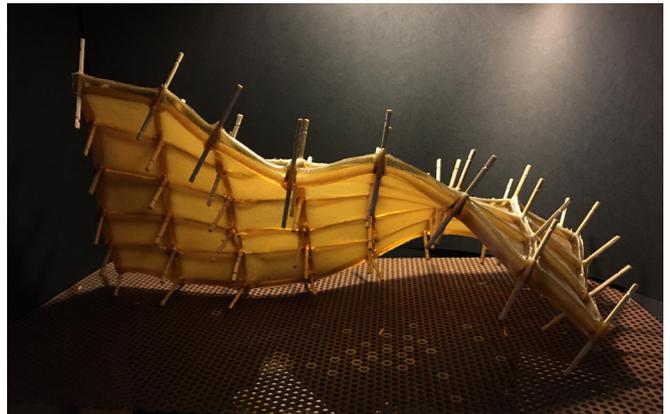


Fig. Inferior
Registro fotográfico de Modelo y su
comportamiento.

Fabricación propia.



PRODUCCIÓN Y MANIPULACIÓN DE GELES DE MEDIANA COMPLEJIDAD

Si bien la experimentación con métodos rudimentarios permite llegar a resultados muy prometedores para la proyección arquitectónica, también ha mostrado problemáticas importantes a resolver, muchas de las cuales requieren sustancias y equipos más especializados. Por esto la experimentación procedió a llevarse a cabo en un laboratorio equipado con instrumentos de precisión.

El objetivo principal de esta nueva fase de experimentación consistió en la fabricación de geles termoresistentes, que pudieran suplir el pobre desempeño de las recetas anteriores ante altas temperaturas ambientales. También se experimentó con uniones químicas entre geles, lo que permitiría generar grandes superficies o volúmenes a partir de módulos simples y pequeños, sin la interferencia de otros materiales.

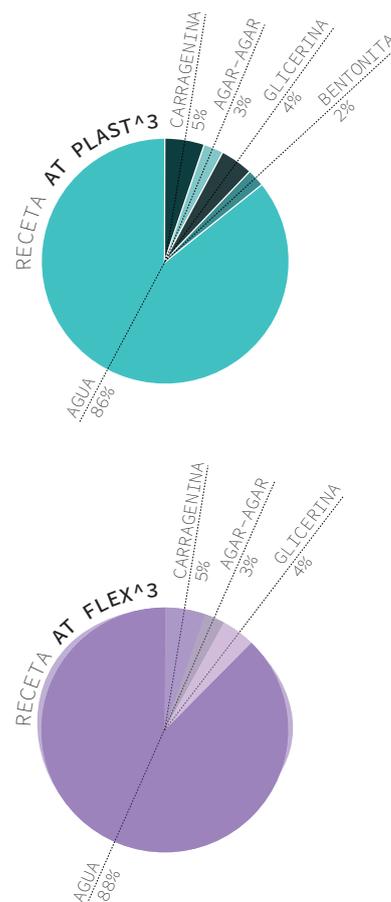


Fig. Superior
Gráficos de recetas de geles
Altas Temperaturas.

Fabricación propia.

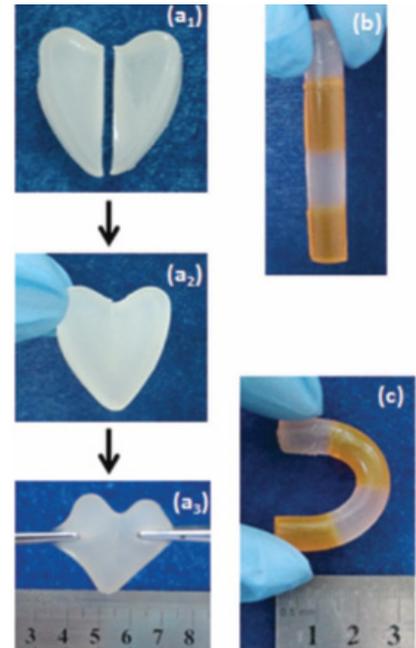
Como objetivo secundario se buscaba la experimentación de propiedades avanzadas de los hidrogeles, que de conseguirse, ofrecerían grandes beneficios mecánicos. Tales propiedades consisten en:

MEMORIA FORMAL:

Expuesto a temperaturas determinadas los geles pueden obtener la forma que se les imponga y mantenerla una vez que la temperatura cambie. Esto Implica que los geles no necesitan moldes formalmente complejos para obtener formas complejas, simplemente pueden ser reconfigurados al subir la temperatura.

AUTO-REPARACIÓN:

Expuestos a temperaturas determinadas por un tiempo determinado, los hidrogeles tienen la capacidad de regenerar roturas o cortes de material simplemente al poner en contacto las superficies a re-unificar. Esto no solo brinda una solución en caso de roturas de material, sino que además, ofrece la capacidad de unir módulos de geles entre sí a través de uniones químicas.



Fig, Superior. Demostración de capacidades mecánicas auto regenerado.

Prueba realizada con cortes de gel unidos.

Figura extraída del estudio: High Strength and Self-Healable Gelatin/ Polyacrylamide Double Network Hydrogels, 2017.

AUTO-GENERACIÓN:

De forma similar al funcionamiento de la musculatura humana, los geles tienen la capacidad de ser más resistentes a los esfuerzos mecánicos al ser "ejercitados", es decir, cuanto más estrés reciben los cuerpos de gel, mayor se vuelve su capacidad de resistir tal estrés. Esto se debe a que la estructura polimérica molecular es destruida al momento de aplicar fuerza suficiente, sin embargo, con el tiempo esta se recompone y reorganiza de manera más ordenada y por tanto más resistente que antes. Este fenómeno también puede encontrarse en la preparación de pan, donde el amasado refuerza las cadenas de gluten y hace que toda la mezcla sea mucho más elástica y resistente. De ser aplicable en prototipos estructurales, esta propiedad sería inmensamente valiosa para la creación de estructuras y el reforzamiento de estas mediante el uso del objeto y no el agregando de más material.



Fig, Superior.
Demostración de capacidades mecánicas de un gel ejercitado.

Prueba realizada con un manto de gel compuesto de alginato poliacrilmaida y fibra de vidrio.

Realizado por el departamento de materias blandas de la Universidad de Hokkaido.



Fig, Izquierda.
Imagen de pesa de dos decimales, siendo usada para apreciar el cambio de masa de una muestra de gel.

Imagen de fabricación propia



Fig, Izquierda.
imagen de aspas de rotor graduado siendo usado para revolver mezclas.

Imagen de fabricación propia

Para la creación y manipulación de hidrogel de mediana complejidad fueron necesarios los siguientes instrumentos:

BAÑO TÉRMICO:

Este aparato funciona como una pequeña piscina, la cual puede calentarse de forma exacta a la temperatura deseada y hasta que el líquido de la piscina lo permita. Este Instrumento fue fundamental para elevar rápidamente la temperatura de los geles y mantenerlos en estado líquido sin que perdieran mucha agua por exceso de temperatura.

HORNO GRADUADO:

Un pequeño horno sellado, el cual permitía regular la temperatura interna con absoluta precisión. Este fue usado principalmente para hacer pruebas de resistencia mecánica ante altas temperaturas ambientales, además de permitir un curado acelerado de geles, realizando en horas procesos que demorarían días con elementos rudimentarios. También fue necesario para hacer pruebas de auto-reparación, ya que las temperaturas para iniciar estos fenómenos se encontraban en rangos muy acotados.

PESA DE DOS DECIMALES:

Si bien los geles en base a gelatina no necesitan de gran precisión para ser sintetizados, es imperativo para los de agar y carragenina, ya que un pequeño exceso de sustrato en suspensión podría arruinar el gel fácilmente.

ROTOR DE MEZCLAS GRADUADO:

Tener un instrumento que resolviera automáticamente las mezclas fue de inmensa ayuda para acelerar el proceso de síntesis, además de permitir generar geles con una composición mucho más homogénea. La capacidad de graduación de velocidad también fue de gran utilidad ya que permite revolver sin ingresar demasiadas burbujas a la solución.



Fig, Anterior.

Baño térmico utilizado para calentar mezclas de gel.

Imagen de fabricación propia

Fig, Inferior izquierda.

Muestra de gel de carragenina+agar desgasificado y pre polimerizado. Nótese la claridad del material, resultado directo de ambos procesos.

Imagen de fabricación propia

El uso de estos instrumentos permitió observar nuevas variables que afectan en gran medida las cualidades de los geles:

DESGASIFICACIÓN:

Durante la síntesis de los geles es común que debido al movimiento se introduzcan burbujas de aire en la mezcla. Si dichas burbujas se mantienen pasado el proceso de gelación, estas se vuelven puntos débiles en el cuerpo, que ante grandes esfuerzos generan fisuras en cadena. Para eliminar este problema se pueden utilizar métodos de degasificación pasivos, dejando la mezcla reposar a una temperatura de fusión estable, o si la solución es muy viscosa, mediante métodos activos, como el uso de una cámara de vacío.

POLIMERIZACIÓN EN ESTADO DE FUSIÓN:

Se pudo apreciar que las mezclas que permanecen más tiempo en estado líquido y a una temperatura de fusión estable, generan geles mucho más mecánicamente resistentes que geles cuyo tiempo en estado líquido es breve. Esto se debe principalmente a que durante el estado de fusión los gelificantes ya se encuentran ordenándose y formando cadenas poliméricas. Mientras más tiempo se les da para configurar una pre-trama molecular, mayor será la calidad de la trama gelificada. A partir de lo observado, se considera que mantener la solución pre-gel en estado líquido por alrededor de 30 minutos debería mejorar considerablemente las capacidades del gel.





Fig, Izquierda.
Proceso de pruebas en búsqueda del rango correcto de saturación de gelificante en solución. A la izquierda la primera prueba, a la derecha la última y el mejor resultado.

Imagen de fabricación propia

La creación de geles de altas temperaturas (denominados AT de aquí en adelante) fue un proceso mucho más complejo de lo esperado. En gran parte, esto se debió a la ausencia absoluta de referencias hacia una receta de estas características. Como primer intento se trató de invertir las proporciones entre agar y gelatina de las mezclas anteriores, sin embargo, esto no tuvo ningún éxito. La razón principal es que el coeficiente de gelación del agar es muy superior al de la gelatina, por lo que administrar la misma cantidad que esta última produce soluciones sobre saturadas, donde quedan partículas de gelificante en dispersión que generan nano fracturas en los geles. Debido a esto, se disminuyó drásticamente la proporción de gelificantes en relación al agua, produciendo geles con cualidades mecánicas similares a los anteriormente basados en gelatina, con la importante diferencia de que estos estaban compuestos en un 80% de agua.

A pesar de este avance mecánico los geles aún no lograban superar temperaturas superiores a los 40° sin fundirse parcialmente, debido a que aún había gelatina en la mezcla. Fue gracias a la disposición y el consejo de los trabajadores del laboratorio en el que se estaba trabajando, que se reemplazó la

gelatina por carragenina, un polisacárido derivado de algas, cuyo punto de fusión está en el mismo rango que el del agar. Este gelificante produce geles mucho más blandos y maleables que la gelatina, convirtiéndose en un candidato especialmente prometedor para hacer sinergia con un gel duro como el agar.

Luego de varios intentos, se logró sintetizar muestras de gel que fueran altamente resistentes a temperaturas ambientales de hasta los 80°-85° C. En su condición de gel recién formado, dichas muestras no presentaban la misma resistencia mecánica que sus contrapartes de gelatina, sin embargo, este problema se resuelve con un leve proceso de curado. Debido a esto, es muy importante tener en consideración que, a diferencia de los geles BT (bajas temperaturas), el volumen final de los geles AT será mucho menor al inicial previo al proceso de curado.

[Para mayor información respecto al proceso de sintetización de geles de mediana complejidad, por favor revisar anexo]



Pruebas fallidas



Pruebas exitosas



Pruebas exitosas con propiedades nuevas

Fig. Inferior

Compendio de muestras realizadas para llegar a una receta de geles AT definitiva.

Material de fabricación propia.



Como se puede apreciar en la figura anterior, no solo se logró consolidar una receta de geles AT, sino que además se aprecian geles con nuevos comportamientos mecánicos. Esto se produjo por la introducción de Bentonita, un tipo de arcilla inerte, cuya incorporación mejoró enormemente la capacidad de memoria formal de los geles resultantes. Además, la Bentonita también mejoró la integridad del gel, permitiendo que este pueda ser manipulado extensivamente sin tener que pasar por un curado muy severo.

También se realizaron otros experimentos exitosos en torno a la auto regeneración de geles y el uso de esta propiedad para la generación de uniones químicas entre estos. Se cortó en tiras una muestra de gel AT para formar un tejido simple, el cual fue introducido en el horno a 75° por una hora cronometrada. Al sacar el tejido del horno, las tiras se unieron entre sí en todas las superficies que hicieron contacto, generando nuevamente un modelo único.

Es importante recalcar, que esta muestra nunca llegó a derretirse por la temperatura del horno, simplemente se generó calor suficiente para activar su superficie y generar la unión.

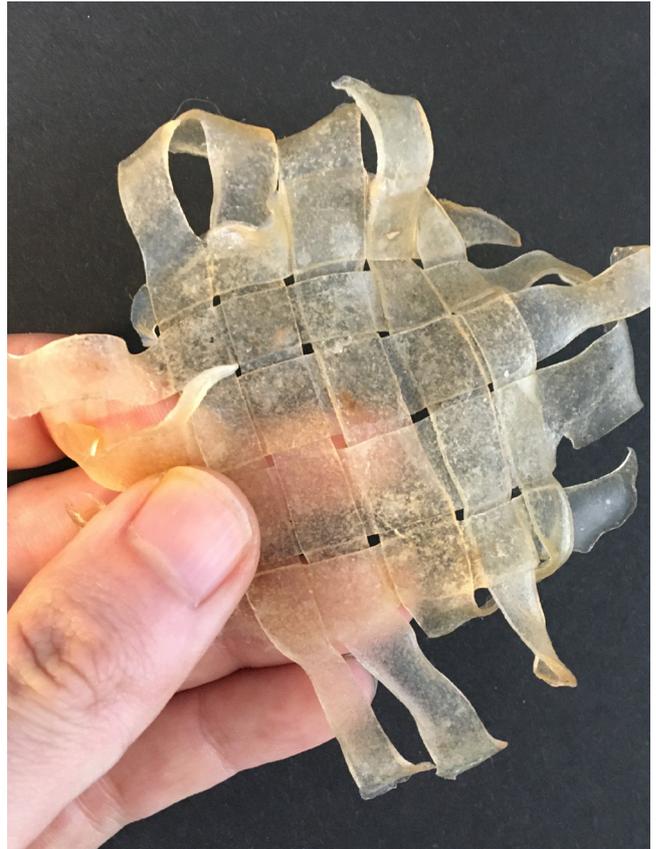


Fig. Superior
Muestra de gel AT tejido y unido
químicamente.

Material de fabricación propia.

Fig. Inferior
Ejercicios de plegado parcial y total de gel
AT con bentonita añadida

Material de fabricación propia.



PRODUCCIÓN Y MANIPULACIÓN DE GELES DE ALTA COMPLEJIDAD

Esta última y breve etapa de exploración tuvo como objetivo principal la sintetización de geles Double Network o doble trama (llamados Geles DN de aquí en adelante).

En términos muy simplificados, los geles DN son geles sinérgicos cuyo entrecruzamiento entre redes gelificantes es muy fino y complejo, obteniendo así propiedades mecánicas extremadamente desarrolladas. Estos geles pueden poseer estas características estando conformados casi totalmente de agua, lo que los convierte en materiales sumamente económicos.

A diferencia de los experimentos anteriores, las cualidades de los geles DN han sido ampliamente documentadas, por lo que el análisis se centró menos en sus propiedades y más en su viabilidad como material arquitectónico, tomando en cuenta la disponibilidad de los reactivos necesarios para realizar el gel, la seguridad de los métodos de preparación y la seguridad misma del gel para los usuarios.



Fig. Superior
Muestra de gel DN mecánico, compuesto en un 99% de agua, 1% de gelificante.

Muestra Realizada por el departamento de materias blandas de la Universidad de Hokkaido.

Los geles DN suelen estar compuestos por Poliacrilamida (PAAm) y algún gelificante natural como los anteriormente utilizados. Sin embargo, y a diferencia de los experimentos anteriores, ambos gelificantes no pueden simplemente combinarse en solución. Para una síntesis efectiva es necesario trabajar con los precursores de la poliacrilamida, los cuales reaccionan formando un polímero. Dichos precursores son:

ACRILAMIDA (AAm):

Este reactivo funciona como uno de los monómeros que producirá la acrilamida. Previo a ser polimerizado, este compuesto es extremadamente neurotóxico. El contacto directo con acrilamida puede causar daño severo al sistema nervioso, parálisis muscular y parálisis respiratoria fatal. Por esto se requiere trabajar en un espacio ventilado aislado en todo momento, usando todos los medios de protección personal necesarios para evitar cualquier tipo de contacto.

METILENBISACRILAMIDA (MBAAm):

Este agente es el otro monómero que se une a la AAm para formar una cadena polimérica. Dependiendo de la cantidad de MBAAm que contenga la solución, el gel resultante poseerá mayor rigidez o ductilidad. A mayor cantidad, más suave será el resultado.

AMONIO PERSULFATO (APs):

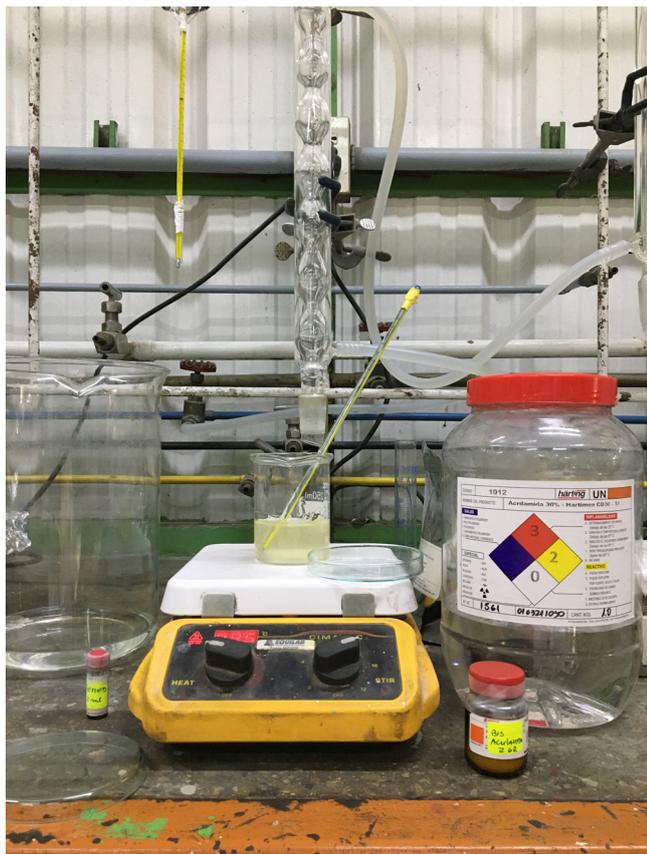
Este compuesto actúa como un iniciador. Una vez que tanto AAm como MBAAm se encuentren disueltos, la introducción de APs comenzará el proceso de polimerización entre ambos, formando así PAAm. Esta reacción es de carácter exógeno, por lo que se debe tener precaución con el aumento de temperatura repentino de la solución.

TETRAMETILETILENDIAMINA (TEMED):

Este último compuesto funciona como un acelerante del proceso de polimerización, logrando que la gelificación completa se produzca en horas, en lugar de semanas. Si bien, técnicamente la reacción podría lograrse exclusivamente con AAm, MBAAm y APs, La Introducción de TEMED garantiza que **NO** quedarán restos de AAm suspendidos en el gel, Lo que sería un potencial riesgo para aquellos que entren en contacto con el material.

Fig. Inferior
Ejercicios de plegado parcial y absoluto de gel con Bentonita.

Material de fabricación propia.



Si bien los geles DN traen consigo una gran cantidad de componentes nuevos con los que trabajar, el proceso de preparación sigue siendo igualmente simple que en las síntesis anteriores, salvo por las precauciones de seguridad correspondientes. Toda la síntesis se hace en un solo recipiente para luego ser vertida en el molde correspondiente. Un punto muy importante a tener en cuenta es que una vez agregado el APs a la mezcla

Fig. Inferior
Ejercicios de plegado parcial y absoluto de gel con Bentonita.

Material de fabricación propia.

la viscosidad comenzará a elevarse exponencialmente, por lo que se debe rápidamente agregar TEMED y verter la mezcla en el molde. De lo contrario la solución gelificará en el recipiente de preparación. Este punto nos indica una dificultad mayor al momento de realizar un objeto grande de geles DN, ya que el traspaso de fluidos hacia un molde podría demorar demasiado y afectar la resolución del modelo final.

[Para más información respecto a la preparación estos geles, Por favor referirse al anexo]



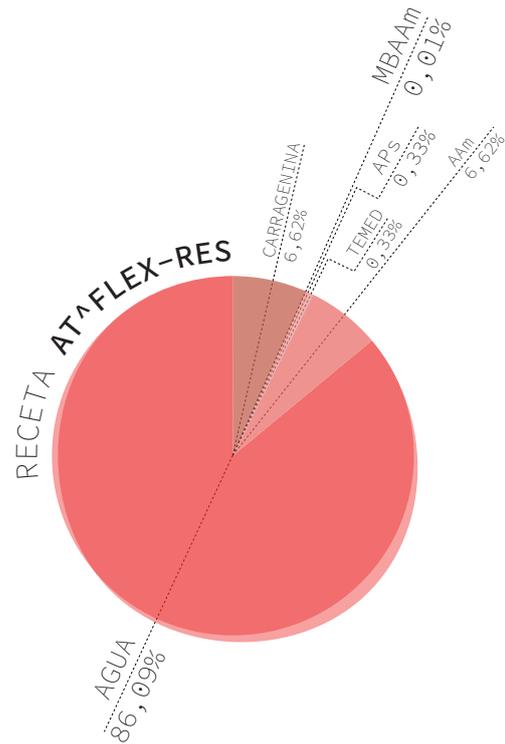
Fig. Inferior
Muestras de gel Carragenina + PAAm sintetizadas en el laboratorio

Material de fabricación propia.

Fig. Inferior
Gráfico de receta para geles en base a PAAm.

Material de fabricación propia.

Los geles resultantes de este complejo proceso de preparación tuvieron resultados mecánicos sorprendentes, considerando que estaban compuestos casi en un 86% por agua, siendo imposibles de romper por fuerza manual. Sin embargo, las características formales fueron extremadamente difíciles de dominar, por lo que la resistencia nunca pudo ser probada bajo condiciones formales específicas. Probablemente esto es un obstáculo menor que sólo necesita más pruebas para obtener mejores resultados, pero para nuestro propósito específico, se pronostica que los beneficios no son tan superiores en comparación a recetas de menor complejidad.



PROYECCIONES

Poniendo en evaluación general todos los hallazgos, se considera que los hidrogeles presentan un potencial inmenso como materiales de uso estructural en la arquitectura, siendo los de baja y mediana complejidad especialmente competentes, a pesar de su simpleza.

En la siguiente etapa de desarrollo proyectual se vuelve necesario verificar que las cualidades apreciadas en los modelos realizados sean compatibles con una escala mayor, poniendo especial atención a cuáles son los cambios formales y de sintetización que deben efectuarse para la transición efectiva de escalas. Para esto se proyectará un modelo que genere un espacio mínimo habitable, el cual pueda poner a prueba todos los descubrimientos alcanzados hasta ahora.

Esta transición de escalas también traerá consigo nuevas externalidades a enfrentar, como por ejemplo, los costos asociados, el lugar donde se realice el proyecto, sus características ambientales, el tiempo, equipamiento y personal necesario para su construcción.

ESTRATEGIAS PRELIMINARES:

En base a los modelos realizados y su estudio, se pudieron catalogar diversas oportunidades en la que los geles pueden operar como objeto o prototipo y que serán formalizados en proyecto final.

EL GEL COMO MANTO O SUPERFICIE:

Habiendo realizado múltiples versiones de mantos, cada una demostrando la versatilidad y resiliencia de los geles para adaptarse a esta morfología, se considera que adaptar esta tipología a una escala mayor y habitable ofrecerá variables de inmenso valor para llegar a soluciones estructurales y constructivas verdaderamente aplicables.

EL GEL COMO ARTICULACIÓN O PIEZA:

La experimentación de uniones mecánicas y adhesión a materiales absorbentes, demostró que los geles pueden funcionar también como elementos funcionales dentro de una estructura multi material, aportando características como elasticidad, plasticidad y memoria formal. Se considera hacer pruebas que verifiquen si dichas propiedades pueden funcionar a mayor escala y siendo parte de sistemas estructurales más grandes y complejos.

EL GEL COMO ARTEFACTO:

La experimentación con cuerpos completos de gel demostraron el inmenso dinamismo y resiliencia de los geles frente a la manipulación y uso extensivo. Resulta entonces inmensamente prometedor, plantear proyectos en base a gel como estructuras u objetos arquitectónicos cuyo fin sea establecerse como una matriz de actividades y usos. Cabe aclarar que este enfoque no va hacia los tipos de actividades, sino la variedad de formas que se generen en base al uso.

EL GEL COMO MÓDULO:

Uno de los elementos más complejos en la producción de geles es su fabricación, especialmente la síntesis de geles grandes o intrincados. Por esta razón se considera que la generación de elementos de mayor envergadura debería proponerse a partir de elementos modulares, pequeños y simples, los cuales después pudiesen unirse por medios químicos o mecánicos y formar un cuerpo absoluto.

REMANENTES:

Debido a limitantes de tiempo y capacidad de trabajo hubieron ciertas aristas del trabajo que quedaron inconclusas. Algunas para ser exploradas en la producción del proyecto en sí, otras para ser estudiadas más adelante y quizás por otras personas que puedan ocupar estos conocimientos como una base.

Síntesis de modelos con geles DN:

A pesar de las potentes capacidades mecánicas de los geles DN, su síntesis en modelos manipulables requiere más conocimientos previos y tiempo del que se les podía dedicar durante esta investigación. Dos de los aspectos más importantes a continuar investigando son:

1. La consolidación de una receta precisa de gel DN para uso arquitectónico, cuyo tiempo de gelificación y resiliencia a los esfuerzos sea coherente con la creación de estructuras habitables.
2. La verificación de que los geles basados en acrilamida son seguros de manipular sin equipo de protección. Así mismo, se debe verificar que con el tiempo la poliacrilamida no se descomponga en monómeros neurotóxicos, que puedan afectar el ecosistema y a los habitantes.

Se considera que este tipo de geles posee mayores exigencias de las que pueden ser abordadas por una sola persona, por lo que se considera necesaria la conformación de un equipo, el cual deberá ser capacitado en el manejo de químicos peligrosos.

Trabajo en uniones químicas:

Si bien se pudieron lograr uniones químicas entre geles ya formados por medio de calor y la propiedad de autoregeneración, esto requirió de instrumentos especializados, los cuales no podrían ser aplicados a mayor escala, por lo que este tópico queda inconcluso pero con mucho potencial. Se considera prudente seguir investigando formas de activar las superficies de los geles por medio de algún agente químico, sin embargo, esto requeriría una investigación independiente al proyecto en sí.

Desarrollo de modelos maleables:

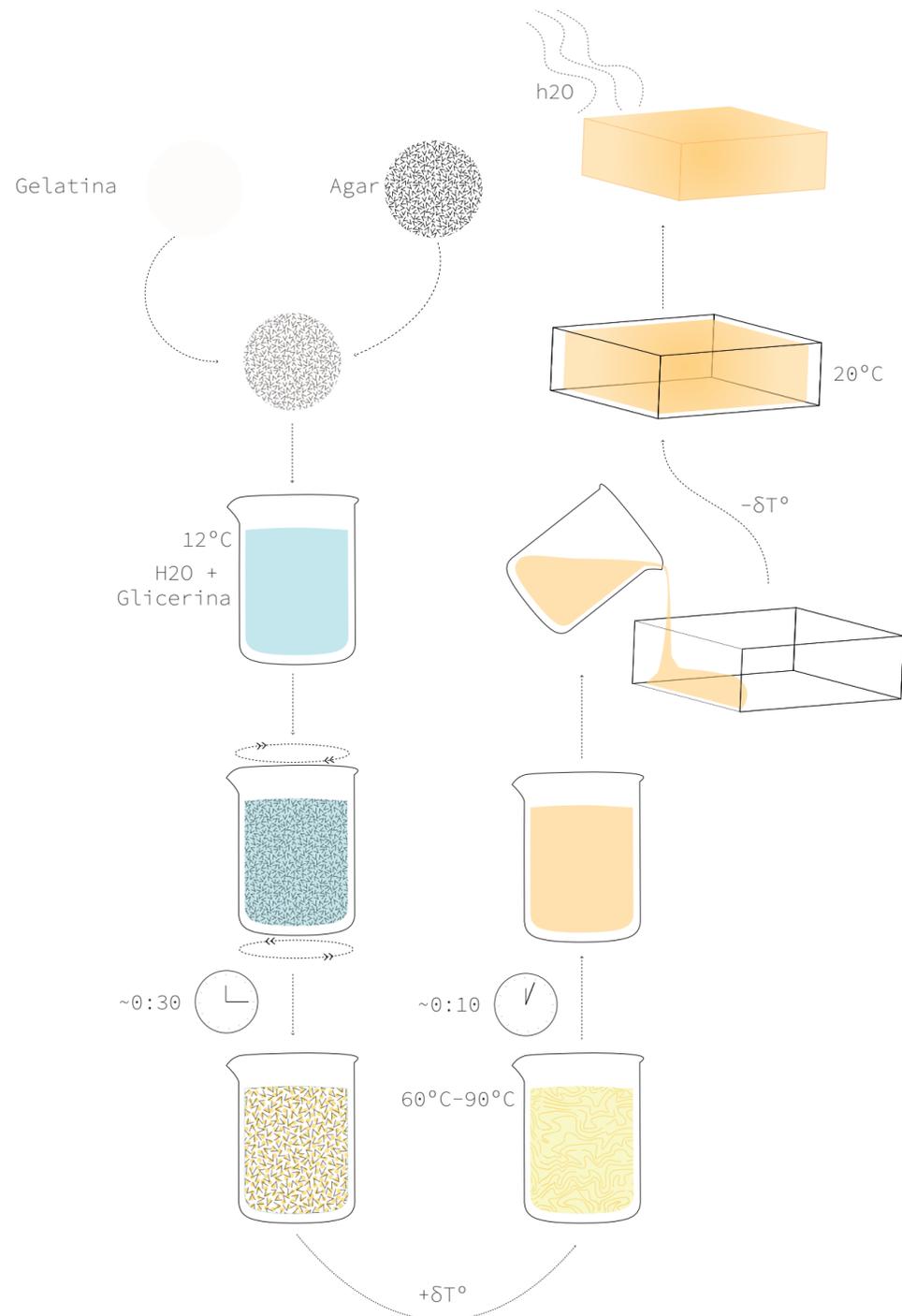
Observando el potencial de los geles con Bentonita añadida y su drástico impacto en el aumento de la maleabilidad de las muestras, resulta imperativo que sea aplicado a modelos previamente realizados e indagar si es que dicho comportamiento se traduce en una manera más viable de generar formas complejas a partir de modelos ya gelificados y curados.

BIBLIOGRAFÍA

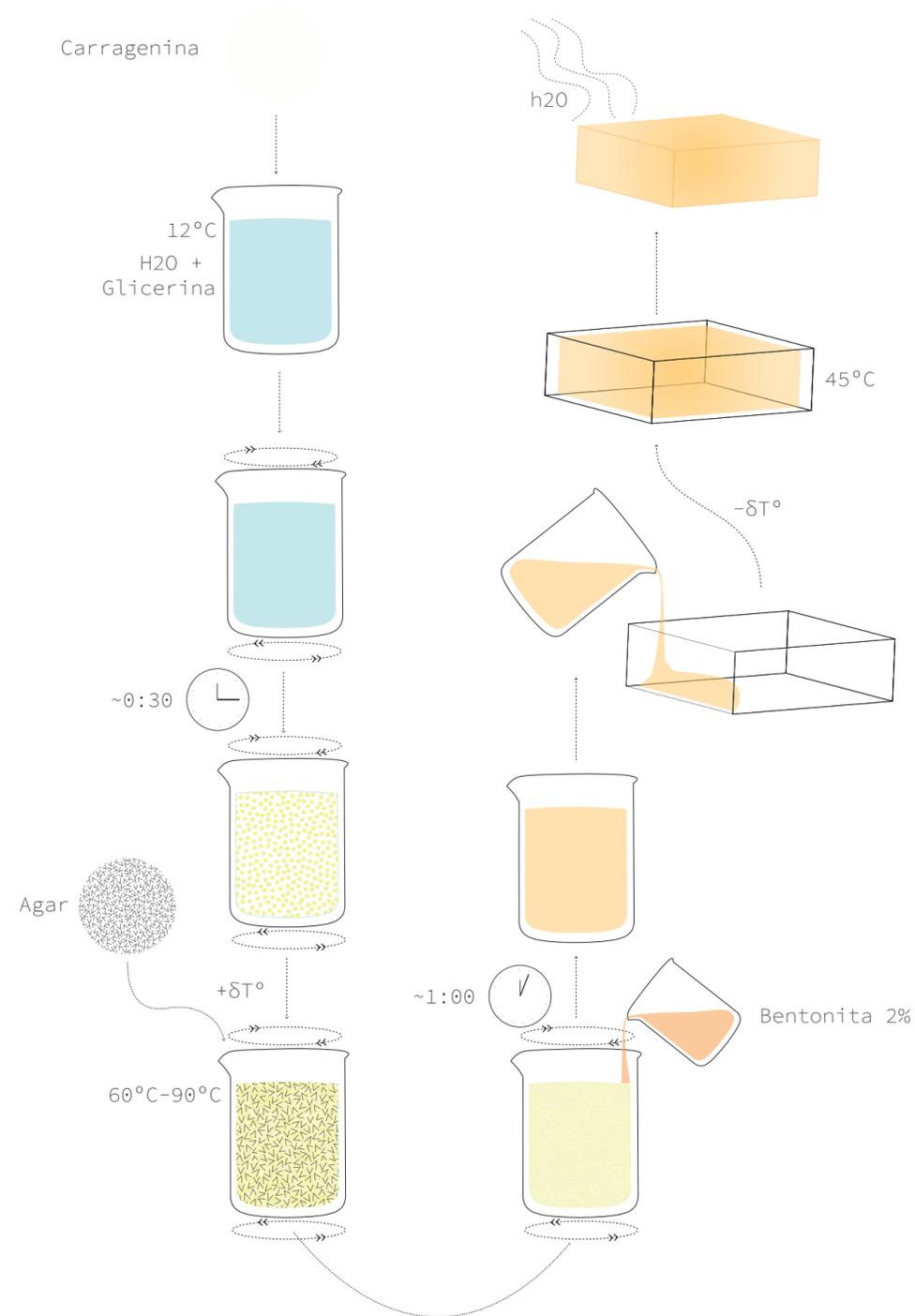
- 1) Arakaki, Natalia & Schmidt, William & Carbajal, Patricia & Fredericq, Suzanne. (2015).
FIRST OCCURRENCE OF GRACILARIA CHILENSIS, AND DISTRIBUTION OF GRACILARIOPSIS LEMANEIFORMIS (GRACILARIOACEAE, GRACILARIOALES) IN PERU ON THE BASIS OF RBCL SEQUENCE ANALYSIS.
 Phytotaxa.
- 2) Yang, Jia & Li, Yu & Zhu, Lin & Qin, Gang & Chen, Qiang. (2018).
DOUBLE NETWORK HYDROGELS WITH CONTROLLED SHAPE DEFORMATION: A MINIREVIEW.
 Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics.
- 3) Chen, Qiang & Chen, Hong & Zhu, Lin & Zheng, Jie. (2016).
ENGINEERING OF TOUGH DOUBLE NETWORK HYDROGELS.
 Macromolecular Chemistry and Physics.
- 4) Chen, Qiang & Chen, Hong & Zhu, Lin & Zheng, Jie. (2015).
FUNDAMENTALS OF DOUBLE NETWORK HYDROGELS.
 J. Mater. Chem. B.
- 5) Yan, Xiaoqiang & Chen, Qiang & Zhu, Lin & Chen, Hong & Wei, Dandan & Chen, Feng & Tang, Ziqing & Yang, Jia & Zheng, Jie. (2017).
HIGH STRENGTH AND SELF-HEALABLE GELATIN/POLYACRYLAMIDE DOUBLE NETWORK HYDROGELS.
 J. Mater. Chem. B.
- 6) Enzo Mari. (1974).
¿AUTOPROYECTOS?
 Hueders.
- 7) Mauricio Pezo Von Ellrichhausen. (2011).
LA MÁQUINA INÚTIL
 Arquitectura Revista.
- 8) Sol Lewitt. (1969).
35 IDEAS SOBRE EL ARTE CONCEPTUAL
 Revista Art-Language, Vol.1, N°1
- 9) Felipe Soto Romero. (2018).
(ARTEFACTOS PARA ASIR EL PAISAJE): MIRADORES, REFUGIOS, O UNA SERIE DE LUGARES PARA DETENERSE
 Memoria de proyecto de título
 Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo,
 Universidad de Chile

ANEXOS

FABRICACIÓN GELES DE BAJA COMPLEJIDAD



FABRICACIÓN GELES DE MEDIANA COMPLEJIDAD



FABRICACIÓN GELES DE ALTA COMPLEJIDAD

