

Digital | Análogo: sistemas de fabricación digital personal

DIGITAL | ANALOGUE: PERSONAL DIGITAL FABRICATION SYSTEMS

La conformación de cultura requiere de un tiempo de desarrollo prolongado para que pueda permear y trascender en la sociedad. Hoy existen diversos factores que dan cuenta de una incipiente transformación socio-tecnológico-productiva que no se encuentra resuelta en su forma material.

El modelo productivo actual está en crisis por su incapacidad de lograr un equilibrio en términos sociales, culturales, tecnológicos y ambientales. Industrialmente, la manufactura de los objetos que nos rodean no da cuenta de sus contextos. El modelo productivo globalizado se sostiene en la extracción de materias primas, su exportación a un país manufacturero que produce diseños concebidos en algún país desarrollado, la posterior exportación de estos objetos a los países que realizaron el diseño original y, finalmente, la distribución a todo el mundo. Esto genera una disociación entre las personas, los objetos y los territorios. La construcción de una sociedad-mundo (Morin, 2007), donde podemos acceder de manera democrática a bienes de consumo globales, se basa en una infraestructura tecnológica digital que permite la producción masiva y en serie. La tecnología que antes estaba disponible en la gran industria o en determinados centros tecnológicos ha logrado ampliar su accesibilidad, permitiendo que personas de distintas áreas del conocimiento puedan hacer uso de ella. El soporte tecnológico hoy disponible da pie para la construcción de nuevas narrativas formales y experimentaciones proyectadas en torno al diseño y fabricación en tiempo real mediante materiales, sistemas, *hardware*, *software*, actuadores y sensores.

La incorporación de las variables locales es fundamental a la hora de componer formas y sistemas, las que mediante la codificación digital podrían ser extendidas de manera global para, junto a condiciones particulares y específicas de cada sistema, constituir una nueva identidad.

El artículo sintetiza la elaboración de un cuerpo teórico y proyectual desarrollado por el autor a través de los talleres VII y VIII de la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile, así como a partir de los trabajos realizados en el Laboratorio de Fabricación Digital de Santiago (Fab Lab Santiago).

Se describen diversos sistemas de fabricación digital personal, entre los que destaca Sandbot. Estos sistemas buscan proponer un nuevo lenguaje en torno a las tecnologías destinadas a la fabricación digital de objetos, recogiendo contextos locales a través de materiales, estímulos del entorno e interacción con usuarios.

The article summarizes the elaboration of a theoretical and projective body of work developed by the author through design studios VII and VIII of Pontificia Universidad Católica de Chile's School of Design, as well as from work done at the Digital Fabrication Lab Santiago (Fab Lab Santiago). Diverse systems of personal digital fabrication are described, highlighting Sandbot. These systems seek to propose a new language around technologies oriented to digital fabrication of objects, gathering local contexts through materials, stimuli from the surroundings and interaction with users.

Fabricación digital _ sistemas materiales _ automatización _ máquinas interactivas _ diseño generativo _ sistemas emergentes _ computación física.

Digital fabrication _ material systems _ automation _ interactive machines _ generative design _ emerging systems _ physical computing.

La construcción de una sociedad-mundo (Morin, 2007), donde podemos acceder de manera democrática a bienes de consumo globales, se basa en una infraestructura tecnológica digital que permite la producción masiva y en serie.

Tomás Vivanco fue nominado, junto a Andrés Briceño, ganador del Diseño y la Curatoría del Pabellón de Chile en la "London Biennale 2016".



De bits a átomos

En tiempos en que la gran mayoría de los elementos que rodean nuestro entorno han sido completa o parcialmente digitalizados, cuando la información ha adquirido un rol protagónico en la toma de decisiones para definir políticas públicas, perfiles de usuario, tendencias y estrategias de *marketing*, entre otros, la información ha adquirido un valor tan primordial para el soporte de la economía que se encuentra a un nivel similar al del petróleo.

La información como objeto físico es equivalente a un bit, el cual no tiene color, tamaño o peso y puede viajar a la velocidad de la luz (Negroponte, 1995); por tanto, se hace imperceptible para las personas a menos que construyamos interpretaciones formales para su representación, transformación o materialización.

Sintetizar y materializar información compleja implica la extracción de una muestra acotada, en un determinado tiempo y espacio, capaz de comprenderse a sí misma de manera aislada y descontextualizada gracias a las definiciones explícitas de los distintos componentes y elementos formales que posibilitan su representación.

Es así como las formas que nos rodean contienen dos niveles de configuración. El primer nivel es la información implícita, aquello que hace que algo sea lo que es y no otra cosa. Es la manifestación pura del fenómeno, el inalterable sistema emergente de organización (Johnson, 2001). El segundo nivel tiene relación con aquello que le da forma y materializa el fenómeno de una manera explícita y flexible, capaz de adaptarse a distintos contextos y/o entornos.

Comprendiendo a los bits como la información implícita de los objetos, y a los átomos como su información explícita, los objetos son entendidos como patrones fotográficos de dinámicas que responden a amplias dimensiones, como lo son las culturales, las sociales, las económicas, las políticas, las energéticas y las tecnológicas.

Manufactura global

Los procesos de manufactura industrial se han ido optimizando desde el apogeo de la Segunda Revolución Industrial, a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX. Los procesos de las líneas de

producción mejoraron con la incorporación de máquinas y equipos avanzados que permitían procesar nuevos materiales. Esto, sumado a que los medios de transporte integraron nuevos mercados, abarató el valor de los productos. Todo ello permitió fundar, junto con otros condicionantes, una estructura económica capitalista y globalizada.

Las demandas sobre los objetos, determinadas por las dinámicas del mercado, exigieron que la producción en masa fuese más eficiente, sistemática y especializada, integrando los principios de administración científica (Taylor, 1911), los que, junto a otros factores, dieron paso a la profesionalización y especialización de las líneas de producción y los operarios.

Cualquier modificación o alteración a alguna de las distintas etapas de una línea de producción concebida bajo los principios tayloristas significa la redefinición completa del sistema interno, imposibilitando la incorporación de otras variables no consideradas previamente en el diseño inicial.

Para satisfacer los grandes volúmenes de ventas del mercado en la industria masiva, la técnica y el oficio han sido gradualmente reemplazados por la automatización y la eficiencia, generando una deshumanización en la factura de los objetos, haciéndolos cada vez más precisos. Sin embargo, esa disociación entre el oficio y lo industrial no debe verse necesariamente como algo negativo, sino todo lo contrario, ya que ha permitido hacer mejoras sustanciales en las tecnologías que nos rodean y que muchos usamos, directa o indirectamente, disminuyendo los costos y democratizando la accesibilidad a ellas.

Es interesante constatar que ninguna transformación social, cultural y/o tecnológica ha aumentado tanto el índice de desarrollo social como lo ha hecho la Primera Revolución Industrial, curva que se ha ido incrementando exponencialmente en los últimos años.

Sin embargo, pareciera que existe un silencioso y progresivo convenio global que tiende a homogeneizar los distintos territorios por medio de la estandarización de procesos y lenguajes, sostenido por la diversa infraestructura de comuni-

caciones que permite la construcción de una sociedad-mundo (Morin, 2007).

En este escenario, el sistema manufacturero globalizado se distribuye en determinados *clusters* extendidos por los distintos continentes, los cuales constituyen un contexto masivo único, unificando el planeta en un solo gran territorio capaz de satisfacer las demandas globales.

Hay dos factores clave que invitan a reflexionar de manera aplicada sobre la real eficiencia de este modelo de manufactura: por una parte, la descontextualización del territorio con los objetos genera una falta de conciencia cultural por parte de los usuarios; por otra, la factura entrópica lineal en que se explotan los recursos naturales que luego son procesados, elaborados, transformados y consumidos, para finalmente ser eliminados o desechados (Rifkin, 2012), supera cualquier posibilidad de equilibrio entre los recursos disponibles y los recursos necesitados y/o consumidos.

Infraestructura digital y automatización

Desde 1991, cuando se desarrollan los modelos de hipertextos World Wide Web (www), se ha venido configurando una ruptura de los límites territoriales y temporales, la que es posible gracias a Internet, que a diferencia de la infraestructura física, es capaz de crear un tiempo y espacio común.

La interacción del mundo físico con Internet demanda de esta última el procesamiento digital de la información, codificando átomos y energía en bits y códigos binarios. El lenguaje global es entonces un lenguaje digital en el cual todos los objetos que nos rodean podrían ser codificados. Desde una fotografía a un mueble, cualquier objeto puede ser enviado por correo electrónico a cualquier parte del mundo y ser reproducido con la misma precisión que el modelo original a través de máquinas de fabricación digital, sin necesidad de pagar costos añadidos y aumentar la huella de carbono.

Hoy ya no son solo las personas y los computadores quienes pueden conectarse a Internet, sino que también lo pueden hacer todos los objetos que rodean nuestra vida cotidiana, bajo lo que Cisco

denominó en 2009 como el “Internet de las cosas” (IoT, *Internet of Things*). En solo diez años, se estima que el número de objetos conectados a Internet crecerá cerca de cuatro veces. En 2010 se calculaba que había cerca de 12,5 mil millones de objetos conectados y para el 2020 se proyecta que ese número ascenderá a 50,1 mil millones (Evans, 2001).

En un escenario donde los objetos pueden interactuar entre sí, pueden también modificar sus comportamientos creando un sistema de inteligencia artificial que permita sus interacciones con entornos físicos variados.

El soporte tecnológico

En los últimos 15 años se construyó una revolución tecnológica que hoy ha permeado a todos los niveles de la sociedad. Este proceso tuvo su inicio tecnológico en 1986 con la primera patente de una impresora 3D estereolitográfica, perteneciente a Charles Hull, destinada a la generación de prototipos rápidos (*rapid prototyping*), lo que permitiría una disminución en los costos de producción.

El alto costo de estas máquinas e insumos dificultó la accesibilidad universal a estas tecnologías, que se mantuvieron dentro de grandes industrias e instituciones. Sin embargo, en 2004 Adrian Bowyer tuvo la idea de una máquina en código abierto que fuera capaz de autorreplicarse, es decir, que ella misma pudiera fabricar piezas para producir nuevas máquinas. Junto a otras tecnologías en código abierto como Wiring (2003), Processing (2001), Github (2009), dicha máquina permite la generación de nuevas máquinas o *apparatus* destinados a la traducción de bits en átomos.

En este escenario post-revolución hemos visto cómo la masificación de las tecnologías destinadas a la transformación de bits en objetos físicos ha abierto puertas para que aquellos que no tienen conocimientos específicos para diseñar y/o fabricar objetos puedan hacerlo con un grado de precisión industrial. Por otra parte, quienes sí tienen conocimientos teóricos, técnicos y prácticos pueden abrir nuevos campos de conocimiento al cuestionar las máquinas, reinventarlas o incluso diseñar sus propios sistemas.

La forma como producto de un sistema

El proceso de generación formal obedece a un proceso creativo que busca responder, a través de la plástica, a alguna oportunidad de diseño en sus múltiples escalas. En este proceso se definen las variables implícitas y explícitas que responden a los requerimientos propios de cada encargo u oportunidad, generando, como resultado final, un producto.

La disponibilidad de tecnologías que vienen de otras disciplinas, junto a las dinámicas tecnoculturales, nos abre a nuevas reflexiones y posibilidades de generación de formas.

¿Es el proceso de diseño vinculante al monoproducto? ¿Podríamos sistematizar el proceso de generación de formas para modificar directamente la materia sin necesidad de generar un nuevo proceso?

La creación de sistemas que permitan la generación de formas obedece a lógicas con las cuales la naturaleza resuelve los problemas formales de la materia, a partir de fenómenos determinados, mientras está en constante interacción con un entorno definido.

Lo generativo se asocia directamente a los sistemas de generación de formas. Es una invención que permite relacionar, asociar y tensionar objetos particulares y específicos entre ellos con la misión de crear nuevas estructuras.

Para comprender un sistema generativo, es necesario reconocer tres elementos que le dan soporte: en primer lugar, *inputs*: detección de fenómenos; en segundo término, proceso: definición de reglas, y por último, *outputs*: comprensión del resultado.

Un sistema formal es un sistema lógico que solo permite la generación de formas dentro de su propio proceso. Esto quiere decir que para la generación de una nueva tipología formal, será necesaria la creación de un nuevo sistema de estructuras, definiciones y componentes según las variables a considerar. En cierta medida, es un computador capaz de procesar una determinada información para producir una familia de resultados como respuesta a las reglas definidas.

La configuración de un *apparatus* requiere de una comprensión multidimensional de las distintas complejidades entrelazadas, reconociendo las relaciones, preponderancias, velocidades y funciones.

Es fundamental comprender el diseño desde una perspectiva integral y estratégica capaz de articular distintas disciplinas a través del desarrollo del pensamiento complejo, para así comprender, vincular y proyectar de manera sistémica materiales, electrónica, mecánica, programación y automatización.

El relato: contexto

Como se mencionaba anteriormente, la masificación de las máquinas destinadas a la fabricación digital ha permitido que cualquier persona en cualquier lugar del mundo pueda fabricar (casi) cualquier cosa. Junto con ello, la configuración de los sistemas no permite la producción de otra cosa fuera de las reglas implícitas de finidas originalmente.

La contextualización de un objeto se puede dar en distintas dimensiones. En cualquiera que sea, es necesario el vínculo en un determinado tiempo y espacio, asociado a los estímulos y a la materialidad informada que concluirá en una determinada expresión formal. Se hace necesario entonces integrar, dentro de la definición de los sistemas formales, variables que permitan la incorporación de valores aleatorios asociados directamente a los contextos donde se encuentren, lo que abre la posibilidad de experimentar con el error y lo aleatorio en la definición etimológica del producto.

El relato es comprendido como la relación entre la máquina y el entorno, que de manera recíproca y unificada estimulan de manera particular el material, produciendo objetos únicos e irrepetibles. Sin embargo, todos ellos responden a las mismas lógicas y sistemas formales.

Este desarrollo teórico es llevado a la práctica en el marco de los talleres VII y VIII realizados en la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile, así como en el desarrollo de un proyecto financiado por Fondart (en su línea de investigación), ambos durante 2015.

Los proyectos son experimentos donde se unen la teoría, la técnica y la práctica, con el objeto de extender los bordes disciplinares y el campo de acción del diseño, incorporando variables de programación, computación física, diseño mecánico y electrónico, materiales, interacción y los resultados formales.

La interacción del mundo físico con Internet demanda de esta última el procesamiento digital

de la información, codificando átomos y energía en bits y códigos binarios.

El lenguaje global es entonces un lenguaje digital en el cual todos los objetos

que nos rodean podrían ser codificados.

Proyectos

Talleres VII y VIII, 2015, Escuela de Diseño de La Pontificia Universidad Católica de Chile

En los talleres VII y VIII de la Escuela de Diseño de La Pontificia Universidad Católica se buscó dar una respuesta que sintetizara, a través de un producto generador de formas, la asociación entre la manufactura personal, digital, análoga y territorial, desde la experimentación con materiales, sistemas, procesos y tecnología.

En el marco del taller, los estudiantes trabajan sobre un encargo denominado "re-utilizando", en el cual deben construir, solo a partir de chatarra electrónica, una tecnología que diseñe o fabrique algo. Como inicio, se deben reconocer partes y piezas mecánicas, actuadores, sensores y elementos estructurales.

Para el desarrollo del ejercicio es sumamente necesario excluir cualquier idea preconcebida, para así dar cabida a que el análisis, el testeo y las morfologías de los componentes indiquen cuáles y cómo son las relaciones entre los elementos. De este modo, son los

materiales los que informan al diseñador, y no de manera inversa.

Una vez concluido el ejercicio y habiendo tenido una primera aproximación a la creación de un sistema formal, se analizan las posibilidades de generación de las formas que permite el sistema y, a partir de ellas, se modifican o ajustan los componentes, los códigos y los materiales.

El error es considerado como una posibilidad de diseño y no como un aspecto a mejorar, reconociendo en él la identidad de lo aleatorio, la singularidad del proceso propio y la exclusividad del objeto.

Cada una de estas máquinas puede ser fácilmente reproducida en cualquier lugar. Las líneas de código permiten la digitalización y la producción de objetos digitales particulares, donde lo digital no es equivalente a lo automatizado, sino que es un lenguaje análogo capaz de ser implícitamente replicado.

Tintorera

(Manterola, Hurtado, Urzúa)

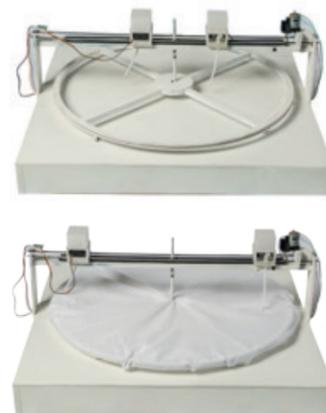
Esta máquina tiñe y destiñe género tensado según los cambios lumínicos del entorno en relación con la elasticidad de cada tela. Utiliza tinta y cloro para teñir y desteñir, creando patrones únicos.

La tela se fija en un bastidor que gira en el sentido del reloj, mientras la tinta y el cloro gotean en relación con la intensidad de la luz medida. Mientras el bastidor gira, la tela se tensa debido al eje central que presiona al centro de ella.

La tensión sobre la tela hace que el motor central (DC) se detenga y el bastidor

comience a girar hacia el lado opuesto, repitiendo siempre el mismo proceso. Los contenedores del cloro y la tinta se desplazan de izquierda a derecha sobre un eje superior de manera constante al activar sensores de fines de carrera (*switches*).

El motor DC del eje central fue obtenido de un microondas en desuso. El eje del travesaño superior se recuperó de una impresora deteriorada. La estructura completa es de una base de madera terciada de 15 milímetros, de 60 x 60 x 20 centímetros.



Malla colaborativa

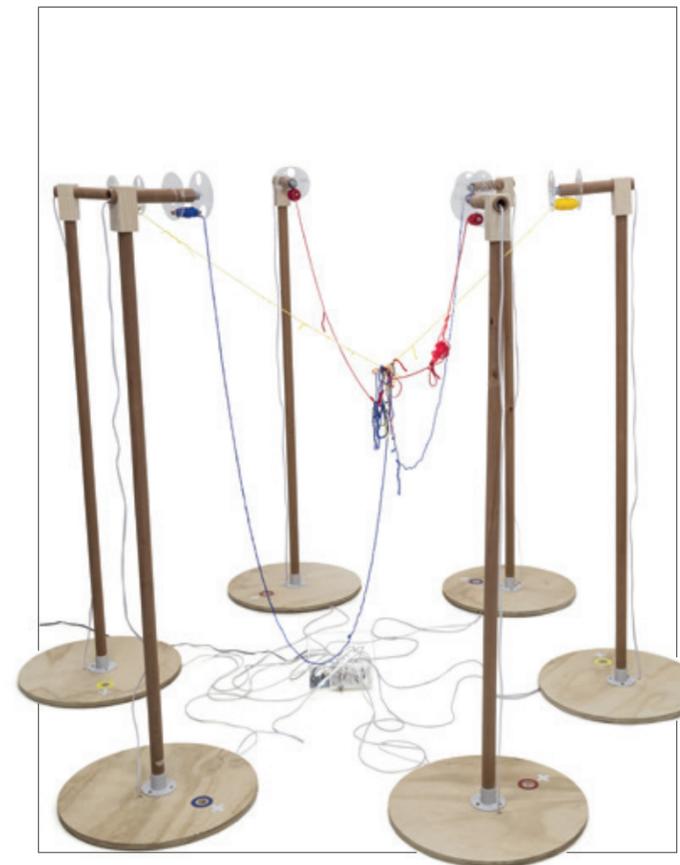
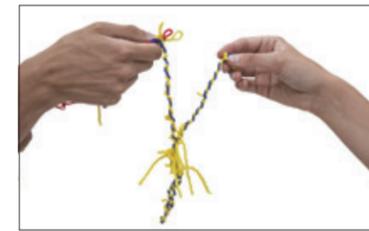
(Lutecke, Parr, De La Maza)

Malla colaborativa es una máquina que elabora un volumen textil a partir de la torsión de múltiples fibras interconectadas. Esta máquina es un sistema colaborativo en el que convergen tanto el trabajo electrónico-mecánico como la intervención humana. El estudio para este desarrollo surge del análisis de fibras textiles y su propiedad de torsión.

La máquina consta de seis piezas principales, más un motor DC y un sensor de luz. Se compone de seis varas de madera (raulí) de 3 centímetros de diámetro y 140 centímetros de largo. Estas son independientes entre sí y se posan sobre bases de terciado de 1,5 centímetros de grosor y de 45 centímetros de diámetro. En la parte superior de las varas se encuentran una

pieza de pino que une las varas y unas piezas de raulí ahuecadas, de 3 centímetros de diámetro y 20 centímetros de largo. Los motores van adosados a esta pieza de raulí ahuecada, la que contiene los cables en su interior. El motor, por su parte, está unido de manera permanente con una pieza de acrílico, que consiste en dos círculos de 10 centímetros de diámetro y 0,2 centímetros de grosor, unidos por piezas rectangulares de 7 centímetros.

La pieza de acrílico es la parte principal de la máquina, ya que en ella están contenidos dos carretes de lana que giran junto al motor. Este movimiento genera la torsión necesaria para elaborar volúmenes textiles más elásticos que la fibra inicial.



W.H.A.T.

(Grossman, Martini, Rojas, Schiefelbein)

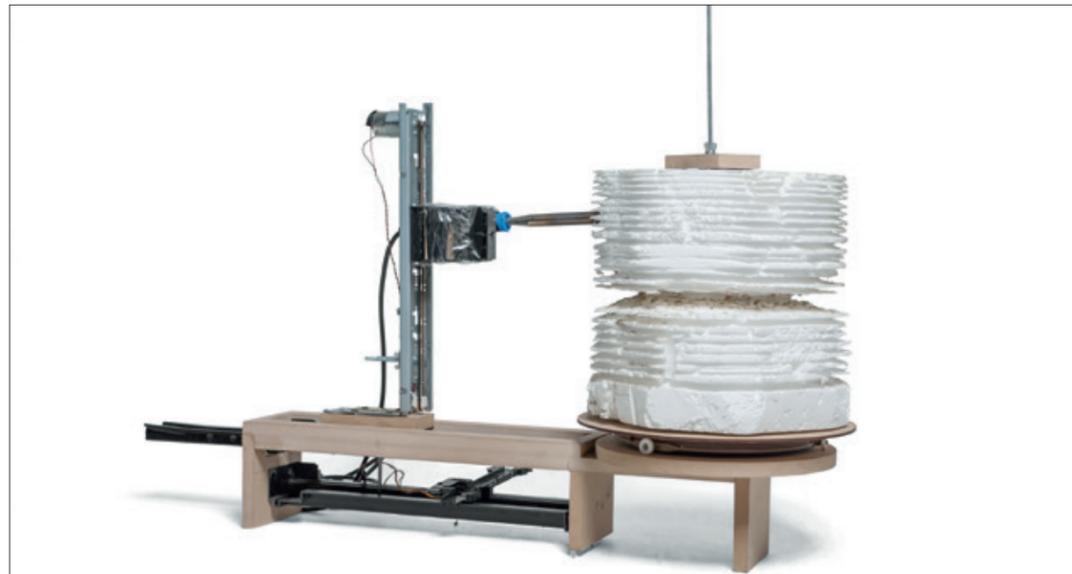
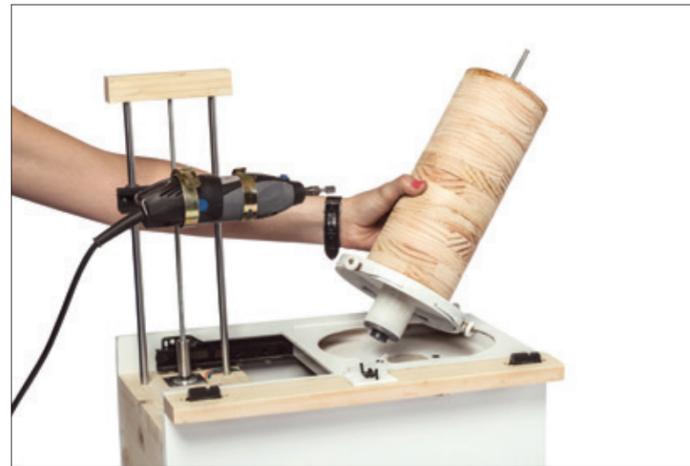
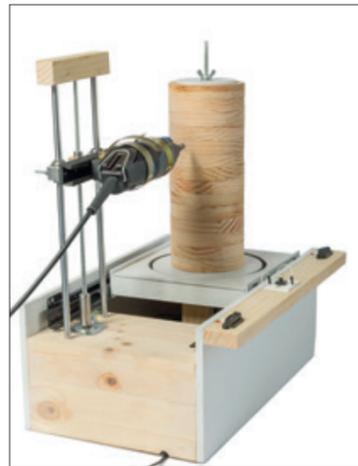
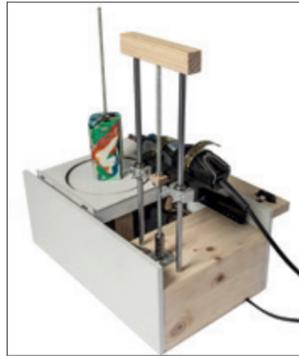
Máquina desbastadora de múltiples materiales —como madera, plástico reciclado y plumavit— de tres ejes (horizontal, vertical y rotacional) programada con Arduino y controlada mediante sensores de proximidad.

Tiene como objetivo acercar la tecnología a las personas de una forma fácil, sin la necesidad de tocar la herramienta. Para ello se utilizaron dos motores Shield V2.3 para poder controlar tres motores paso a paso. Los estímulos de los sensores de proximidad activan el movimiento

de los motores; si no hay estímulos, estos no se moverán.

La dirección de la rotación y el sentido lineal responden a una proporción entre distancia y largo del recorrido, valores programados a partir de la recolección de datos de los sensores de movimiento (distancia).

Como margen de seguridad, se definen restricciones para que los motores no lleguen a tope y, así, el material no se desplace mientras rote en el eje horizontal, evitando daños a la herramienta utilizada.

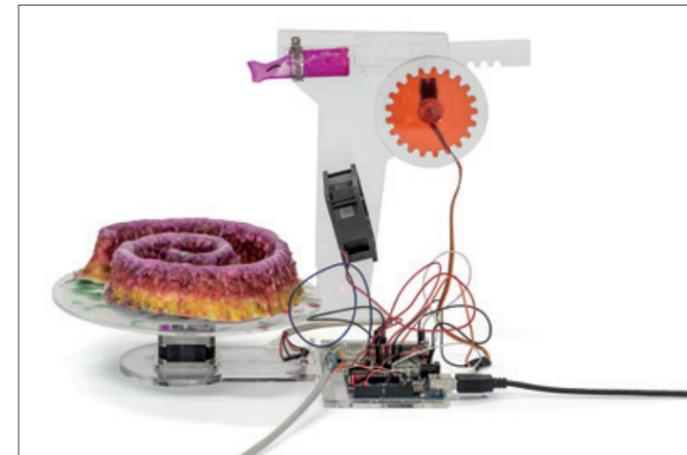
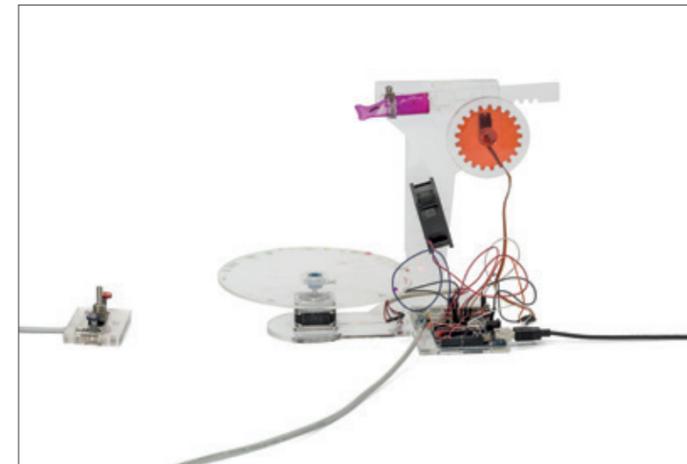


Candelaria

(Andrade, Echaurren, Rodríguez)

A partir de una fuerza rotacional en un eje vertical y del desplazamiento de un segundo eje horizontal, se construye una rotación centrífuga o centrípeta, dependiendo de la dirección del movimiento, que permite la creación de espirales logarítmicas regidas por las leyes de Fibonacci.

Se utiliza una vela encendida dispuesta de manera horizontal; al derretirse, sus gotas se van depositando sobre la base rotacional, conformando el volumen a partir de rotaciones y desplazamientos controlados por el usuario mediante un control remoto que permite tres acciones: encendido/apagado de la máquina, dirección de la rotación central y desplazamiento horizontal.



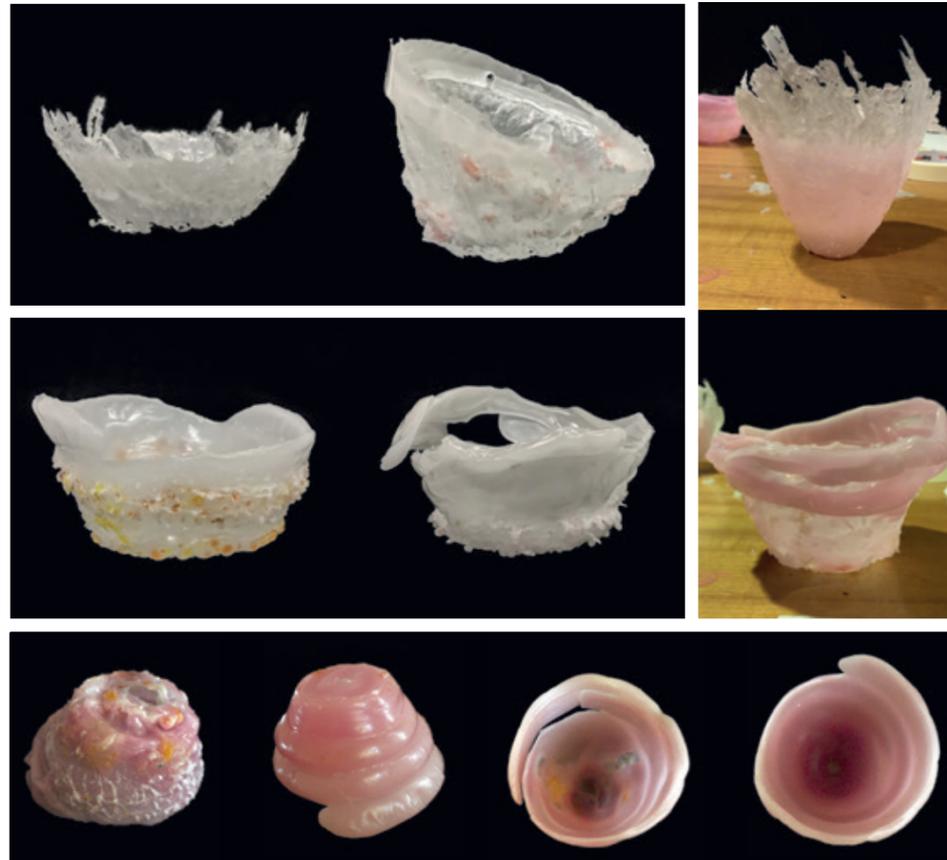
Matricería líquida

(Barrientos, Gajardo, Soto)

La producción de objetos de plástico necesita matrices rígidas que permitan la producción masiva y en serie. Este proceso responde a lógicas industriales cerradas en las que, para intervenir en la línea de producción, se debe hacer otra matriz (con todos los costos añadidos) y luego paralizar la producción para fabricar una pieza distinta.

Este proyecto investiga sobre la generación de matrices programables, variables, capaces de ser modificadas en tiempo real. Mediante la rotación de un líquido y al controlar su revolución, se generan formas y texturas que son solidificadas en cera derretida.

El sistema se compone de tres partes: fuente de calor, depósito de cobre para derretir y verter la cera y eje rotacional y contenedor del líquido.



Sandbot': sistema móvil para la impresión 3D en arena

Tomás Vivanco Larraín / Andrés Briceño Gutiérrez

Equipo: Felipe Barrientos, Joaquín Rosas, Laura Palazuelos, Diego Gajardo, Sebastián Greelin, Walter Bishop, Anath Hojman, Matías Karmelic.

El proyecto investiga, de manera aplicada, el potencial de la arena como material para la fabricación digital de objetos.

En Chile, solo el 56 por ciento del suelo es considerado apto para la producción agrícola, el seis por ciento es suelo arable y tan solo el uno por ciento no tiene limitaciones para cultivos (Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2001). Si bien los avances tecnológicos permiten aumentar este porcentaje, la abundancia de suelos de categorías andisoles, aridisoles, entisoles y alfisoles, que se encuentran en zonas de clima árido, demandan nuevas maneras de producción. Por otra parte, si consideramos que la crisis energética no se debería a una carencia de energía, sino de materiales, la arena cobra una relevancia especial, ya que se trata del material de origen orgánico más abundante en el mundo.

SISTEMA DE FABRICACIÓN Y LÓGICA MATERIAL

Una de las ventajas de utilizar la arena como material de fabricación es su disposición y autoorganización granular. La arena es un material que se autoapoya, lo que permite la construcción de capas en voladizos de luces extensas sin necesidad de añadir materiales de soporte. Esta característica es similar al sistema de impresión 3D por sinterización.

Los granos dispuestos dentro de un contenedor tienen un distanciamiento de aire que permite que un líquido fluya por capilaridad. Si el recipiente es sometido a vibraciones, se reduce este distanciamiento haciendo necesario el control de la viscosidad del líquido para controlar el recorrido vertical. Para esto, se desarrolla un sistema de fabricación por inyección de un líquido que tenga las características de solidificar los granos de arena y que sea lo suficientemente versátil como para tener un control absoluto de su viscosidad.

TECNOLOGÍA: Mecánica – Hardware y Software

Se creó un sistema CNC en tres ejes (X, Y, Z), impulsados por motores *steppers*. Se utilizaron perfiles de aluminio de 45 centímetros de longitud para que permitieran un desplazamiento libre interior de 40 x 40 centímetros en los ejes X e Y. Para el eje Z se definió una altura de 30 centímetros.

En cada eje va conectado un motor paso a paso (*stepper*) junto con dos sensores de fines de carrera que permiten que cambie la dirección una vez realizado el recorrido lineal de cada eje en cualquiera de los dos sentidos.

Los motores *stepper* van conectados a un controlador Ramps, que envía la información del G-Code a los motores paso a paso, indicando la velocidad de desplazamiento y

posición en cada paso u orden establecida.

El G-Code es un lenguaje que permite la interacción entre computadores y máquinas, permitiendo ejecutar acciones de automatización basadas en posiciones, velocidades y trayectorias. Estas variables no son aleatorias, sino que son específicas de cada modelo o geometría a prototipar y máquina a utilizar.

El controlador Ramps es una placa que opera sobre un microcontrolador Arduino Mega que permite almacenar los códigos G y la interacción entre el computador y la máquina.

EXTRUSOR

Durante la primera etapa del proyecto se utilizó resina poliéster, por lo que el extrusor debía tener la particularidad de contener una cantidad acotada de mezcla, ya que en caso contrario, el endurecedor y el catalizador, en un tiempo determinado, endurecerían la mezcla.

El extrusor se compone de tres partes básicas: en primer lugar, la boquilla que ingresa a la arena para inyectar el polímero. El largo de la boquilla define la profundidad máxima (o altura) de la impresión. La segunda parte es el contenedor de la resina. Se utilizó una jeringa de 60 mililitros (ml) que se conecta por medio de una pieza especial al eje Z de la máquina, permitiendo su desplazamiento en el eje vertical junto con el del extrusor.

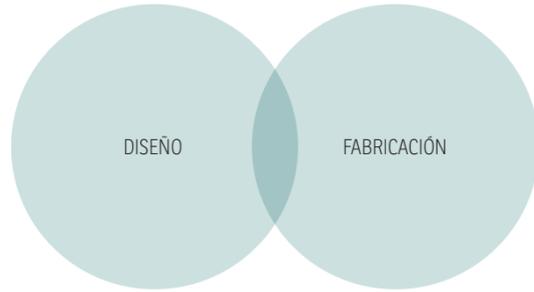
La tercera parte es el compresor, un sistema mecánico que comprime la resina de la jeringa y fuerza la expulsión del líquido por la boquilla. Las 19 partes y piezas especiales del extrusor fueron diseñadas y fabricadas en tornos para metales e impresas en 3D en plástico PLA.

El relato es comprendido como la relación entre la máquina y el entorno, que de manera recíproca y unificada estimulan de manera particular el material, produciendo objetos únicos e irrepetibles.

¹ Proyecto financiado por el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes a través del Fondart Nacional, línea de investigación, año 2015 (folio: 76101). www.sandbot.cl

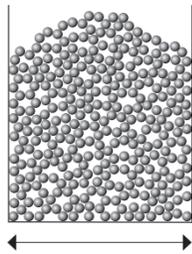
TIEMPO REAL

sistemas de control
modelado 3d
sistemas materiales
estructura
g-code

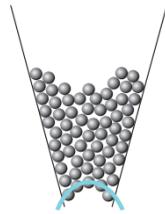
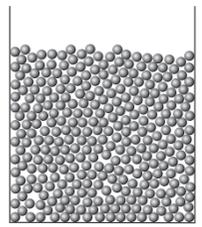


electrónica
mecánica
automatización
programación

MATERIAL GRANULAR

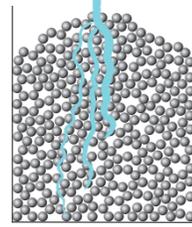


compactación por vibración

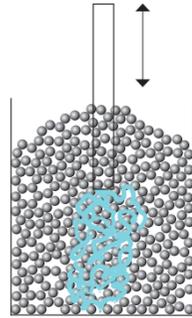


flujo / atasco

LÍQUIDO



viscosidad



capilaridad invertida

FENÓMENO INYECCIÓN Y
CAPILARIDAD INVERTIDA



inyección



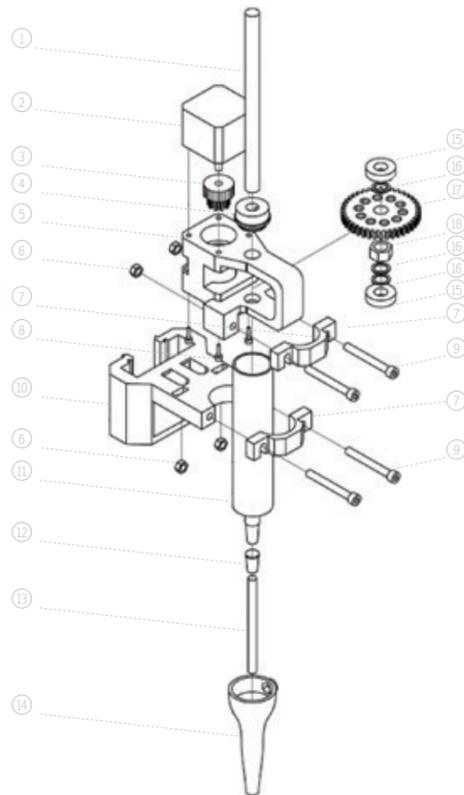
extrusor



material inyectado



EXTRUSOR MECANOTRÓNICA, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PARTES Y PIEZAS ESPECIALES



ENSAMBLE DEL EXTRUSOR:

1. Hilo / Diámetro 9mm. Largo 260mm
2. Stepper motor / Nema 17
3. Engranaje motor / Pieza especial 3D
4. Adaptador Jeringa / Pieza especial 3D
5. Cuerpo extrusor / Pieza especial 3D
6. Tuerca / Ancho 8mm. Diámetro interno 5mm
7. Apretador / Pieza especial 3D
8. Tornillo / Ancho 8mm. Diámetro interno 5mm
9. Perno / Diámetro 5mm. Largo 30mm
10. Eje Z / Pieza especial 3D
11. Jeringa 60ml / Diámetro externo 29mm
12. Adaptador azul incluido en la jeringa
13. Tubo plástico o metálico / Diámetro externo 6mm. Diámetro interno 5mm
14. Adaptador extrusor / Pieza especial 3D
15. Rodamiento / Diámetro externo 22mm. Diámetro interno 10mm
16. Golilla de caucho o goma / Diámetro externo 22mm. Diámetro interno 14mm
17. Engranaje / Pieza especial 3D
18. Tuerca / Ancho 14 mm. Diámetro interno 9mm



DEFINICIÓN DEL PIXEL

La definición del pixel de arena es el punto de inicio para la exploración formal y la construcción de formas complejas. Su definición está condicionada por las propiedades del material y las cualidades del extrusor ya construido.

El material granular utilizado en las primeras pruebas de los prototipos fue arena gruesa mezclada con grava fina, teniendo un espesor variante de entre 0,1 milímetros y 0,03 milímetros. En una segunda etapa el grano se disminuyó a un diámetro de entre 0,2 milímetros y 0,05 milímetros, con el objeto de lograr una mayor resolución.

La uniformidad del pixel es lograda gracias al control material mediante la codificación de los movimientos de los motores del eje Z y del compresor, logrando una proporcionalidad accionando actuadores y reaccionando a los estímulos enviados.

Para conseguir ese control se estudiaron las relaciones y proporciones entre la cantidad de aglomerante (mililitros) por altura (centímetros), que luego sería traducida al espesor del pixel (centímetros), que por el fenómeno de capilaridad sería distribuida en la extensión.

En el proceso se imprimieron una serie de pixeles para definir la relación adecuada para la formación de figuras complejas, junto con la relación entre los giros o pasos del motor y la cantidad de material extruido:

Esta relación se define de la siguiente manera: 1 centímetro de altura = 0,5 mililitros de resina = 8,5 pasos del motor = pixel de 1,3 centímetros de ancho.

Una vez definida la relación entre las variables mencionadas anteriormente junto con la definición de un pixel tipo, se precisó la distancia óptima entre pixeles. Esta distancia debiese cumplir con unir dos pixeles sin deformar el diámetro en toda la longitud y otorgar resistencia mecánica a la figura impresa. Esta distancia de traslape fue fijada en nueve milímetros.

La definición del pixel de arena es el punto de inicio para la exploración formal y la construcción de formas complejas. Su definición está condicionada por las propiedades del material y las cualidades del extrusor ya construido.

PROCESO DE DISEÑO E IMPRESIÓN

Para imprimir en la máquina se consideraron las variables mecánicas, electrónicas, instrumentales y materiales definidas durante el proceso. Para ello se utilizó un software de modelamiento paramétrico que permite la incorporación de datos y restricciones, construyendo un entorno de operación sujeto a las características del sistema.

Desde el software paramétrico se modelaron formas tridimensionales libres dentro de las restricciones del sistema. La geometría dibujada fue abstraída a puntos de inicio y fin de cada trazo, de los que se extrae su información de las coordenadas X, Y y Z, las que luego pasan por un script que traduce estas coordenadas en G-Code, lo que permite el control de cada motor stepper de la máquina.

El script traductor de geometría a G-code está desarrollado con toda la información específica de la máquina y es dependiente del sistema. Esa información es enviada al microcontrolador, que envía las operaciones a los motores X, Y y Z, y al extrusor, activando el movimiento en cada uno de ellos.

IMPRESIÓN EN AMBIENTE CONTROLADO

El testeó y las primeras pruebas fueron realizados en el ambiente controlado del Fab Lab Santiago. Las impresiones se realizaron dentro de un contenedor de vidrio de 3 milímetros de espesor, cuyas medidas fueron 48 centímetros de largo, 58 centímetros de ancho y 30 centímetros de alto. De este modo se controlaron las condiciones de humedad y temperatura. Para las impresiones de testeó en ambiente controlado, se utilizó una arena fina de entre 0,2 milímetros y 0,05 milímetros.

IMPRESIÓN EN TERRENO

Una vez testeado todo el sistema y habiendo obtenido muy buenos resultados de impresión y funcionamiento en general, se realizaron las primeras pruebas en el entorno desértico de San Pedro de Atacama, donde se estudió el comportamiento de los materiales en un ambiente no controlado. Variables como temperatura, humedad y granulometría de la arena fueron considerablemente distintas a las trabajadas dentro de Fab Lab Santiago, lo que significó un desajuste en el control de los prototipos.

Debido a la compactación de la arena, se debió establecer una cama de impresión blanda y libre de piedras. En el caso de las impresiones en arenas de granulometría con radios muy bajos, la capacidad de absorción de resina es mayor y, por consecuencia, aumenta su capilaridad, deformando el pixel. Esto afectó al espesor del pixel y por lo tanto el valor de la variable dentro del modelo paramétrico debió ser modificado.

El terreno era una mezcla de arena muy fina con limo, categoría intermedia entre la arcilla y la arena fina. La medida de los granos era de entre 0,02 milímetros y 0,005 milímetros, lo que afectó la forma final de los prototipos.

Por otro lado, la mezcla del aglomerante se vio afectada por las altas temperaturas del desierto, haciendo que este catalizara muy rápido y obligando a introducir ajustes en la mezcla.

CONCLUSIONES

El sistema mecánico y de automatización funcionó de manera correcta tanto en ambientes controlados como no controlados, lo que hizo que el software se desarrollara en todas sus etapas sin mayores problemas. La flexibilidad del script para modificar la variable del espesor granulométrico, flexibilizando el sistema, fue fundamental a la hora de fabricar objetos con arenas de características disímiles. Sin embargo, la mayor dificultad se encontró en lograr sistematizar las proporciones de mezcla de resinas, debido a la variabilidad de las condiciones del entorno.

AVANCES FUTUROS

Con el objeto de disminuir las complejidades de la definición de la mezcla, se decidió continuar con la investigación realizando pruebas con dextrina, un aglomerante no tóxico, soluble en agua, a base de almidón. Para ello es necesario realizar una mezcla previa con los granos de arena y cambiar la lógica de impresión, cambiando la inyección por la adición de capas.

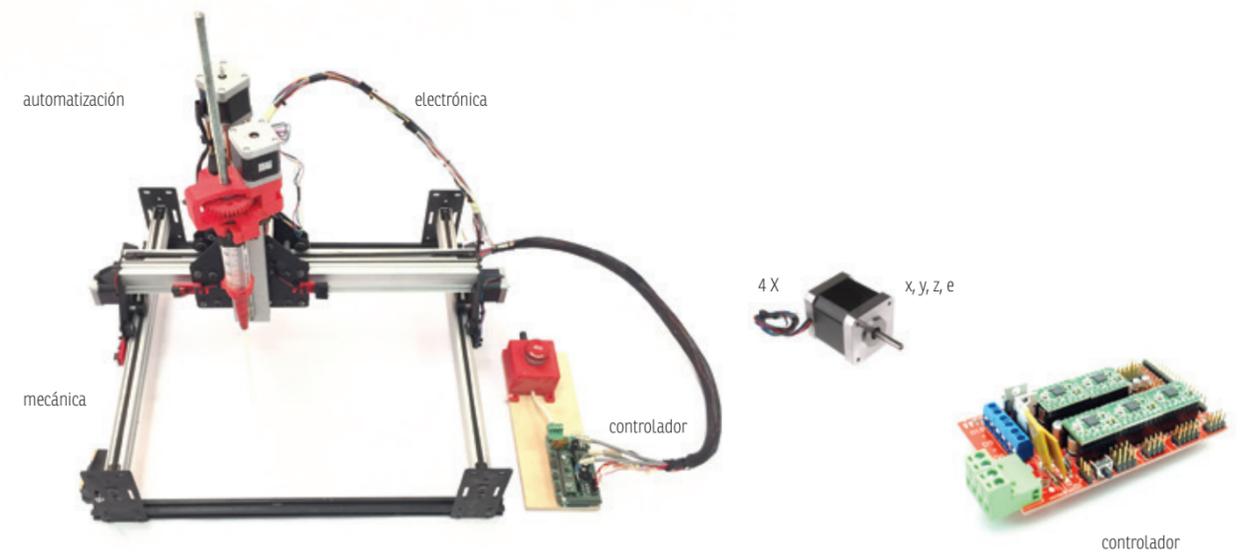
Junto con ello, se desarrolla un sistema capaz de desplazarse y así romper los límites mecánicos definidos previamente. Los ejes X y Z se mantienen fijos de 40 centímetros, mientras el eje Y se deja abierto para recorrer distancias de hasta 200 metros.

DNA

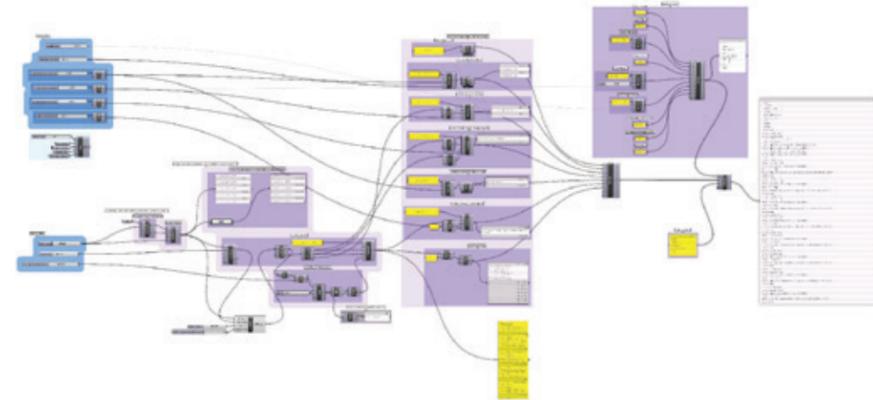
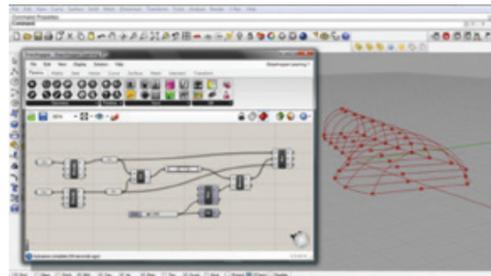
PIXEL, DEFINICIÓN DEL COMPONENTE CODIFICADO Y MATERIAL



SISTEMA, MECÁNICA, ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN, PROGRAMACIÓN Y DISEÑO



MODELO PARAMÉTRICO



Se desarrolla un sistema capaz de desplazarse y así romper los límites mecánicos definidos previamente. Los ejes X y Z se mantienen fijos de 40 centímetros, mientras el eje Y se deja abierto para recorrer distancias de hasta 200 metros.



energía

diseño

control

mecánica

producto

Referencias

Evans, D. (2001). *The Internet of things: how the next evolution of the Internet is changing everything*. Disponible en www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/loT_IBSG_0411FINAL.pdf

Johnson, S. (2001). *Sistemas emergentes, o qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. Madrid: Turner.

Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (2001). *Informe del estado del medio ambiente 2001*.

Morin, E. (2007). *¿Hacia el abismo? Globalización en el siglo XXI*. Barcelona: Paidós.

Negroponte, N. (1995). *Being Digital*. Nueva York: Vintage Books; Random House.

Rifkin, J. (2012). *La civilización empática: la carrera hacia una conciencia global en un mundo de crisis*. Barcelona: Paidós Iberica.

Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Londres: Harper & Brothers.