



Proceso de conformado de pieles estructurales transparentes

Informe para optar al Título profesional de Diseñador Industrial

Alejandro Javier Vidal Domínguez

Profesor Guía: Rodrigo Díaz Gronow
Santiago, Chile
Julio 2014

“Drawing and form-giving are not the essence of design. Seeing patterns, making connections, and understanding relationship are.”

Hugh Dubberly

Agradecimientos:

A mi familia, mis padres; Demian y Patricia, y hermanos; Ismael, Andres y Agustina, por la paciencia, cariño, confianza y apoyo constante.

A mis amigos y compañeros, por la compañía y las experiencias compartidas.

En especial a Ingrid Soto Libano, por toda su ayuda y apoyo incondicional.

Alejandro J. Vidal Domínguez

Julio 2014





{0,0} RESUMEN

En esta memoria se presenta el proceso y desarrollo de una nueva tecnología para la fabricación y conformado con materiales compuestos, como los polímeros reforzados con fibra. El proceso propuesto, permite realizar estructuras reticuladas, o pieles estructurales transparentes, que se logran adaptar a figuras de variados grados de curvatura, que pueden servir para reforzar, complementar, decorar o formar objetos y artefactos. Esta nueva tecnología es un proceso de bobinado por filamento pero, mediante unas guías, permite realizar un bobinado preciso de manera manual, asistido por computadora que permite manejar las variables de costos, materiales y hasta evaluar la estructura, sin necesidad de instalaciones, ni maquinarias industriales.

Este nuevo proceso se emplaza entre los demás procesos de conformado existentes con la diferencia en que enfoca su uso en espacios comunes de fabricación para la comunidad, como son el Fab Lab y los Hackerspace.

{0}

{0.0} RESUMEN	5
{0;1} INDICE	6
{0;2} INTRODUCCIÓN	8
{0;2;0} Contexto del Estudio	8
{0;2;1} Oportunidad de investigación	9
{0;2;2} Preguntas de Investigación	10
{0;2;3} Metodología	10
{0;2;4} Plan de Trabajo	11
{0;2;5} Alcances	12
{0;2;5;0} Finalidades	13
{0;2;5;1} Limitaciones	13

{1}

{1;0} DESARROLLO	12
{1;0;0} Materiales Compuestos	16
{1;0;0;0} Historia	17
{1;0;0;1} Polímeros reforzados con fibra (FRP) .	18
{1;0;0;2} Procesos de conformado	26
{1;0;1;3} Conclusión Materiales compuestos	35
{1;0;1} Diseño asistido por computadora (CAD)	37
{1;0;1;0} Non-uniform rational B-spline (NURBS)	38
{1;0;1;1} Diseño Generativo	38
{1;0;1;2} Lenguaje de Programación Visual	40
{1;0;2} Método de Elementos Finitos (FEM)	41
{1;0;3} Fabricación Asistida por computadora (CAM) .	42
{1;0;4} Fabricación Digital	43
{1;0;4;0} Máquinas herramienta (CNC)	43
{1;0;4;1} Prototipado rápido	45
{1;0;5} Conclusión	48

{2}

{2;0} EXPERIMENTACIÓN	52
{2;0;0} Desarrollo del proceso de envoltura por filamento	54
{2;0;0;0} Concepto	54
{2;0;0;1} Objetivos	56
{2;0;1} Descripción del proceso experimental	57
{2;0;1;0} Referentes	59
{2;0;2} Prototipado	61
{2;0;2;0} Prototipo 0: Mandril dentado	62
{2;0;2;1} Prototipo 1 Eje recto de revolución .	66
{2;0;2;2} Prototipo 2 Eje recto de revolución ..	70
{2;0;2;3} Prototipo 3 Eje recto y sección variable	74
{2;0;2;4} Prototipo 4 Eje recto y sección variable	78
{2;0;2;5} Prototipo 5 Costilla dentada y galleta anillo	80
{2;0;2;6} Prototipo 6 Eje curvo y sección variable	82
{2;0;2;7} Prototipo 7 Eje curvo y sección variable	84
{2;0;2;8} Prototipo 8 Eje espiral, sección variable galleta 2	86
{2;0;2;9} Probetas y Ensayos mecánicos	88
{2;0;3} Conclusión del proceso experimental de envoltura por filamento	91

{3}

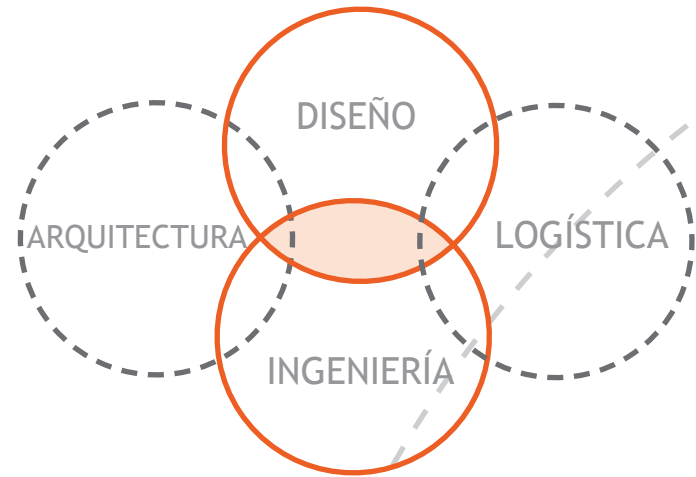
{3;0} APLICACIÓN AL DISEÑO	93
{3;0;0} Caso 0: Cántaros	96
{3;0;1} Caso 1: Como material	100
{3;0;1;0} Tuberías	100
{3;0;1;1} Planos	102
{3;0;2} Caso 2: Eolian 4	104
{3;0;2;0} Aplicación en el asiento	104
{3;0;2;1} Aplicación en el carenado ...	106

{4}

{4;0} CONCLUSIONES	109
{4;1} ANEXOS	113
{4;2} REFERENCIAS	114
{4;3} INDICE DE FIGURAS	116
{4;3;0} Esquemas	116
{4;3;1} Imágenes	116
{4;3;1} Tablas	120
{4;4} PATRONES	121
{4;5} FICHAS ENSAYOS	126

{0;2;0} Contexto del Estudio

Hoy en día existe una conciencia universal por la protección del medio ambiente, el uso eficiente de energía y recursos. Esto se traduce en iniciativas y desafíos que se convierten en proyectos desarrollados por estudiantes, que tienen por objetivos desarrollar alternativas viables para el uso de energías alternativas, o energías renovables no convencionales (ERNC). Uno de estos casos motivado por estudiantes es el proyecto Eolian, el que consiste en un automóvil solar, desarrollándose actualmente su cuarta versión. Participan estudiantes de ingeniería y diseño. Debido a las características y requerimientos técnicos de



Esquema 1: (Arriba) Contexto General, (Abajo) Campo de interacciones de las disciplinas, elaboración propia.

ARQUITECTURA

DISEÑO

CAD
Diseño Paramétrico
Diseño Generativo
Visual programming
Materiales compuestos
CAM
CNC
FEM

LOGÍSTICA

INGENIERÍA

este tipo de proyecto es necesario el uso de tecnología en materiales compuestos. Para poder desarrollarse requieren de componentes, insumos, logística y planificación específicos para poder obtener los resultados óptimos, aumentando en gran medida el costo de producción, que en la mayoría de los casos termina siendo un trabajo realizado a mano. Este proceso artesanal, tiene pasos muy claros y definidos durante la planificación, pero la ejecución de ciertos pasos, se ven entorpecidos por la morfología de la figura que se está trabajando.

Existen numerosas tecnologías para trabajar materiales compuestos, siendo sólo algunas de ellas asistidas por computadora en su totalidad. Estas, por la naturaleza del proceso, facilitan diseñar, optimizar y hasta, en ciertos casos, evaluar; estimar propiedades mecánicas del material compuesto.

Esta el espacio para combinar de nuevas maneras estas tecnologías para crear y facilitar el uso de materiales compuestos en escenarios a los cuales le son difícil de aplicar, por motivos diversos. Esto es motivado por el acercamiento que existe de tecnologías de fabricación a baja escala, de manera domestica; como la impresora 3D, cortadora láser y las maquinarias CNC en general. Herramientas que hoy están presentes en universidades, también como servicios disponibles para la comunidad. Esto se ve reflejado en los llamados MakerSpace y en los Fabrication Laboratory (FabLab).

Por otro lado, existen avances en el ámbito del diseño asistido por computadora (CAD), en el que ya no solo es posible dibujar, esculpir o proyectar las ideas, a partir de parámetros pre-establecidos o de parámetros de dimensiones dinámicas, sino que también es posible diseñar a partir de algoritmos, sucesiones de crecimiento geométricos basados en principios matemáticos, es el diseño generativo, que está inspirado en los patrones matemáticos de crecimiento que se reconocen en la naturaleza. Esto se aplica mediante la programación visual (VPL) aplicada en entornos CAD, la cual no solo permite aplicar estos criterios matemáticos al diseño, sino que también logra acercar los algoritmos a grupos de usuarios que no están familiarizados, ni son entendidos con la programación, y especialmente con el aprendizaje de nuevos lenguajes de programación. Que de otra manera no sería posible la creación de estos algoritmos de parametrización personalizados.

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4.2} ANEXOS

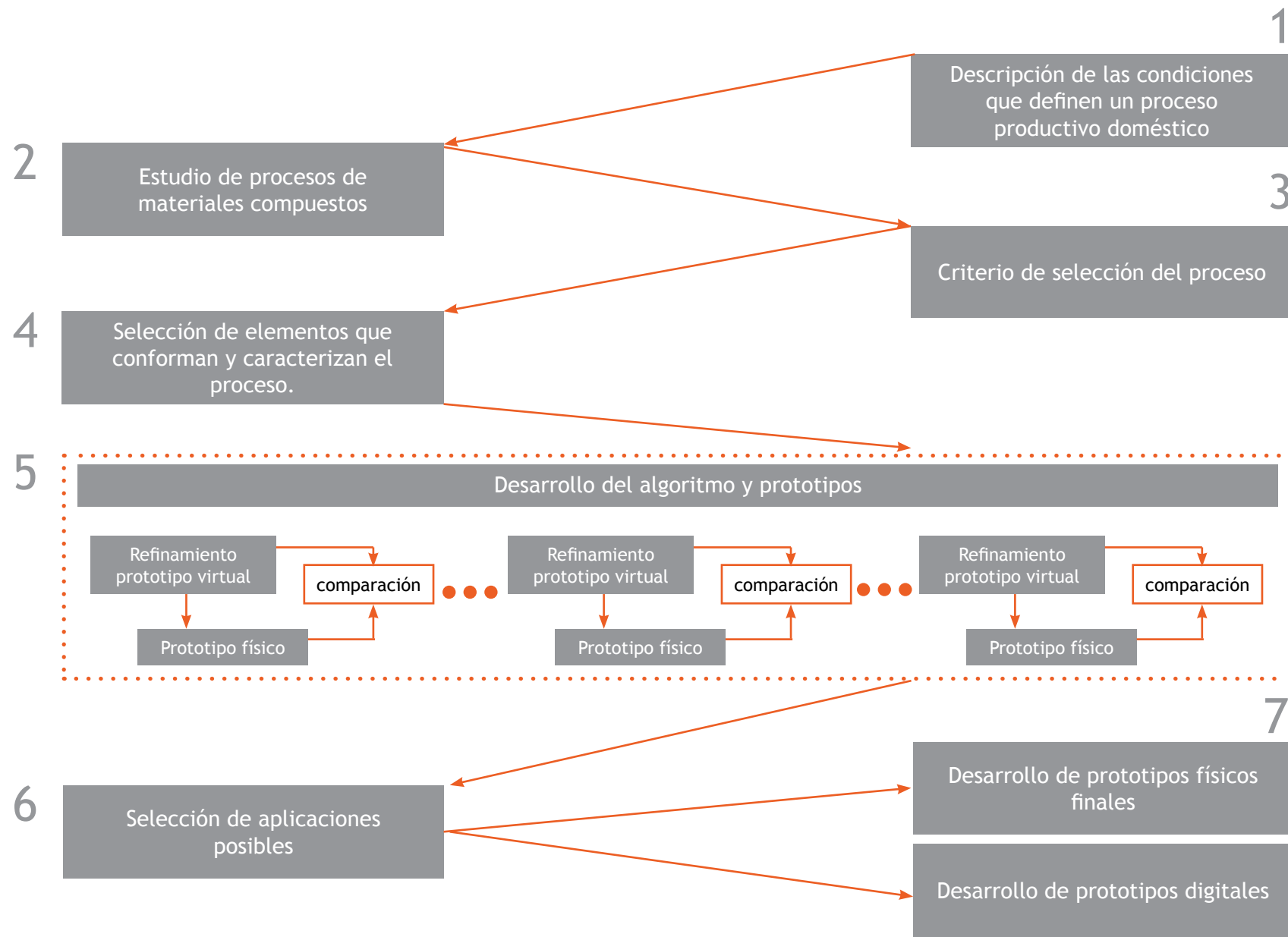
{0;2;1} Oportunidad de Investigación

Hoy en día, existen una serie de tecnologías que están al alcance de los estudiantes y que permiten el desarrollo de figuras complejas y la definición de algoritmos de parametrización complejos. Esto aplicado al caso particular del proyecto Eolian, en donde el uso de los materiales compuestos tiene sus claras virtudes y sus limitaciones, que se van encontrando a través de la experimentación, los cuales por sus altos costos y tiempos de manufactura son reducidas las oportunidades para realizar pruebas y en donde un error puede costar la continuidad del proyecto. Esto impide tomar muchos riesgos en el proceso de selección de materiales y la aplicación de procesos nuevos de manufactura para materiales compuestos.

{0;2;2} Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las condiciones para que un proceso sea catalogado como domestico?
- ¿Cuáles son los procesos de manufactura existente en materiales compuestos?
- ¿Cuáles de estos procesos presenta las condiciones para ser traducido a una manera domestica?
- ¿De qué maneras, a través del uso del diseño generativo, es posible domesticar estos procesos?
- ¿Cuáles son las características de este nuevo proceso?
- ¿Cuáles son las posibles aplicaciones de este nuevo proceso?
¿Cómo se compara con el resto de procesos existentes en el mismo nivel productivo?

{0;2;3} Metodología



{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

Esquema 2: Metodología, elaboración propia.

{0;2;4} Plan de Trabajo

Esquema 3: Plan de Trabajo, elaboración propia.

2013

septiembre

- Estudio de procesos de manufactura de materiales compuestos.
- Compra de hilo de yute.

octubre

- Prototipo de prueba de tramado manual.
- Estudio de referentes asociados a procesos que no utilicen tejidos laminares.
- Elección de proceso específico.

noviembre

- Desarrollo de primer prototipo digital.
- Estudio de referentes de filament winding y aplicaciones específicas; casos especiales.

diciembre

- Desarrollo de últimas iteraciones de prototipos digitales.
- Primeros prototipos físicos de validación.
- Prototipos de estudio de limitación de ranuras y paso de la trama.
- Refinamiento de prototipos digitales y metodología de uso.

2014

marzo

- Fabricación Patrones Irregulares.
- Selección de cuerdas para ensayos mecánicos.

abril

- Perfeccionamiento de la definición del patrón.
- Desarrollo de probetas para ensayos mecánicos
- Desarrollo de prototipos variados.

mayo

- Desarrollo definición para superficies abiertas.
- Ensayos mecánicos.
- Prototipo superficie abierta.

junio

- Desarrollo de prototipos finales.
- Conclusiones y proyección industrial.

{0;2;5} Alcances

{0;2;5;0} Finalidades

En el ámbito de los materiales compuestos aún no está todo definido. Los procesos existentes aún tienen etapas que se podrían intervenir o modificar. La finalidad de esta investigación es encontrar y explotar alguna etapa o proceso existente y adaptarlo para ser utilizado en una escala mucho inferior, pensando en un proceso que considere un uso eficiente de los recursos y que no necesita una gran inversión para ponerse en marcha ni realizar cambios morfológicos.

{0;2;5;1} Limitaciones

Como todo proceso tecnológico, existen limitaciones, en este caso en particular, su principal limitación es el nivel de aproximación, a la figura ideal, que es posible lograr a partir de estas estructuras reticuladas. Pero esta limitación hace posible que estas estructuras puedan ser muy ligeras.

Las estructuras desarrolladas no pretenden competir con estructuras creadas con telas, sino más bien, la idea es complementar y reforzar en el caso que sea necesario.

{0} INTRODUCCION

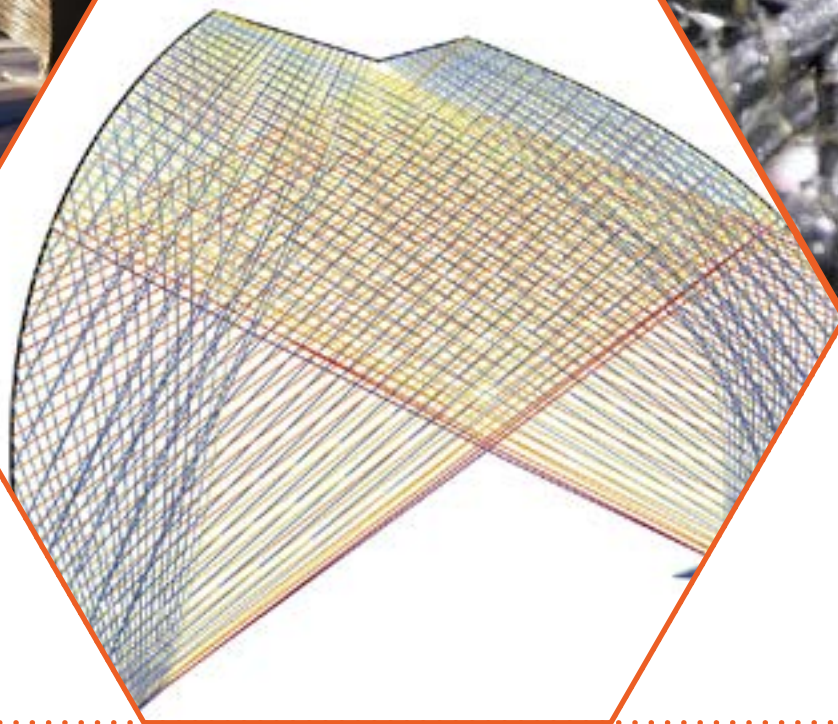
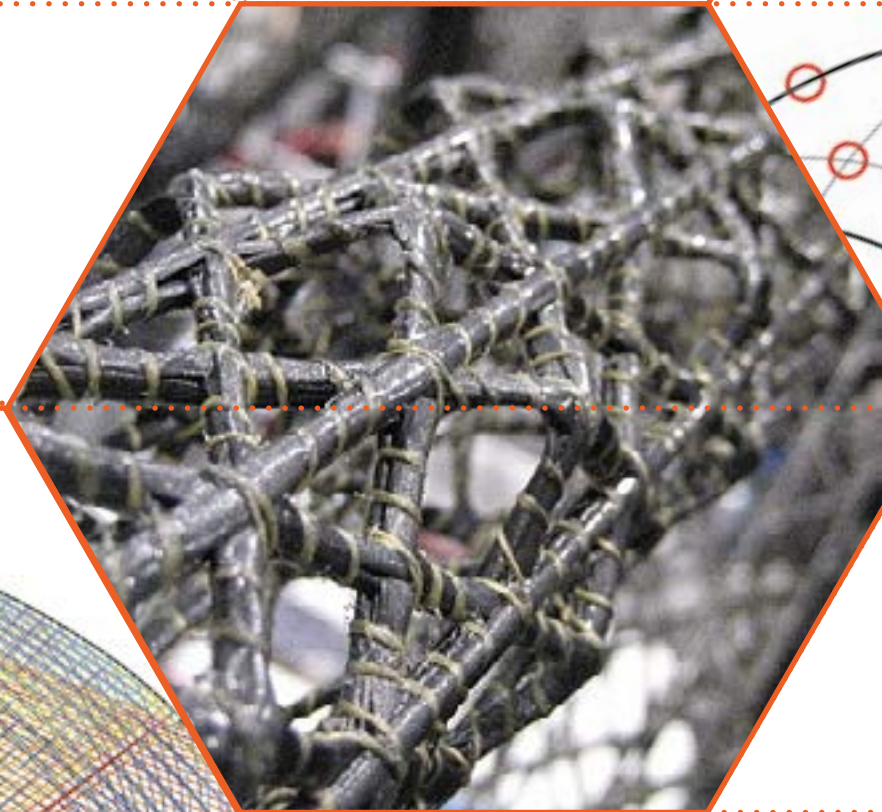
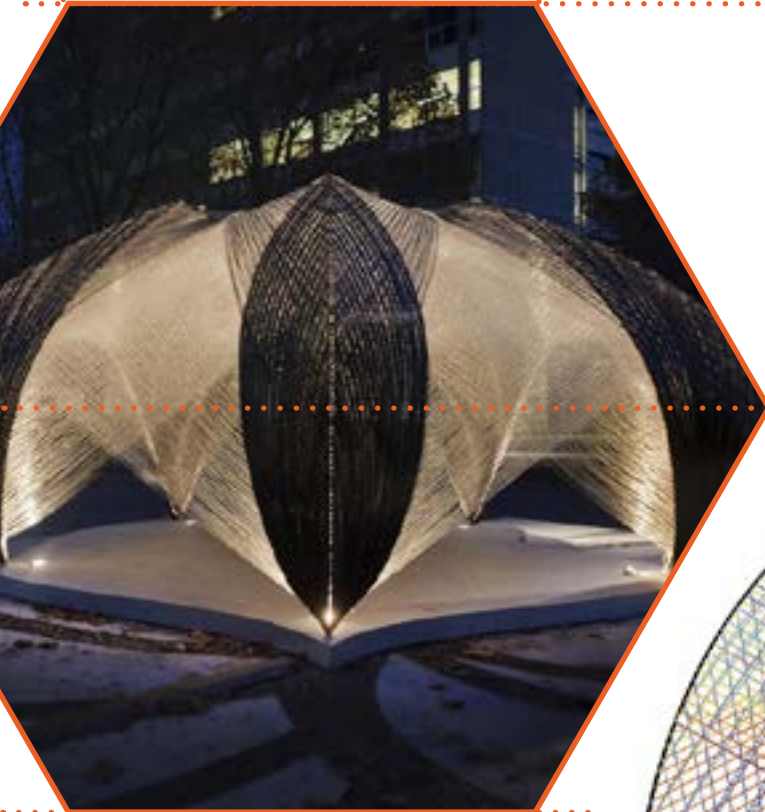
{1} DESARROLLO

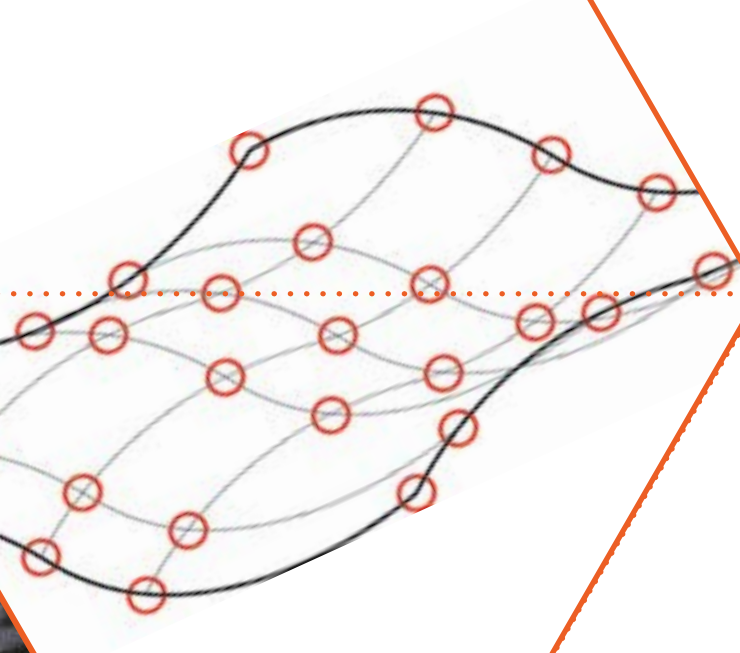
{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS



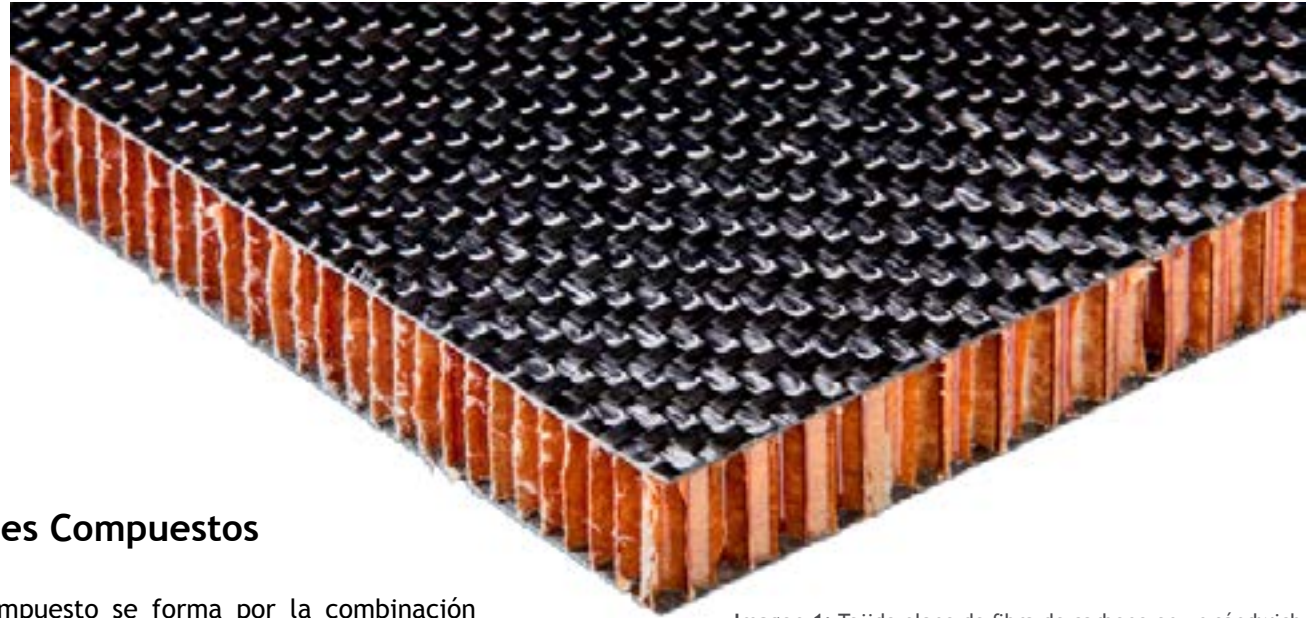


{1;0} DESARROLLO

En la actualidad cada día se masifican más los talleres y espacios de fabricación digital, como Fab Lab y Hackerspace, que se utilizan para la creación de objetos, artefactos y productos únicos y característicos de manera local. En ellos se utilizan máquinas-herramienta computarizadas que se convierten en la base para el Prototipado rápido y la fabricación.

Por la manera en que trabajan los materiales y la precisión que tienen estas tecnologías, estas herramientas singularizan a los objetos, creando familias de ellos. Por otro lado, estas mismas tecnologías son las que limitan y condicionan las posibilidades de diseño.

Mediante la combinación de estas herramientas con otras digitales, las limitantes dan la oportunidad para proponer una nueva tecnología de producción que complemente las existentes, creando una nueva generación de tecnologías que permita ampliar la gama de posibilidades de diseño y reforzando la identidad única de los objetos generados en estos espacios de trabajo comunitario.



{1;0;0} Materiales Compuestos

El material compuesto se forma por la combinación de dos o más materiales que poseen propiedades diferentes. Estos materiales trabajando de manera conjunta le dan al material compuesto propiedades únicas. La particularidad distintiva de un material compuesto es que sus componentes son, distinguibles y posibles de separar de manera mecánica. Estos no deben fusionarse ni disolverse entre sí.¹ (Australian Academy of Science)

Imagen 1: Tejido plano de fibra de carbono en un sándwich con Honeycomb, Aerospace Engineering, 2013.

¹ Putting it together - Science and technology of Composite Materials (2000, Noviembre), obtenido de Australian Academy of Science: <http://www.sciencearchive.org.au/nova/059/059key.html?q=nova/059/059key.htm>

{1;1;0;0} Historia



Imagen 2: Primer aeronave de entrenamiento con fuselaje en FRP, biplaza WWII de U.S. Air Force, Circa, 1943.

Los materiales compuestos existen en la naturaleza. Largas fibras de celulosa combinado con lignina forman la madera. Existen materiales compuesto que se han usado desde hace cientos de años, es el adobe, que consiste en la combinación de barro y paja. Otros ejemplos comunes de material compuesto son el cemento y el concreto.

Existe un tipo específico de material compuesto que se forma por la combinación de una matriz polimérica que es reforzada con fibras. Estos son llamados plásticos reforzados con fibras (FRP). La particularidad de este tipo de material compuesto, es que aprovecha la resistencia de la matriz polimérica a la compresión y la alta resistencia a la tracción de las fibras. La fibra es el componente de refuerzo de la combinación, por este motivo, la dureza, y especialmente la rigidez del compuesto, dependerá directamente de la fibra utilizada.

El primer FRP fue la baquelita, el primer plástico sintético, creado por el Dr. Baekeland quien anuncio su invención a la American Chemical Society (Sociedad estadounidense de

Química) en 1909.¹ Su desarrollo comercial fue extensamente investigado durante la década de 1930. Owens-Corning desarrolla la fibra de vidrio en 1935, en 1936 du-Pont desarrolla una resina adecuada para ser utilizada con la fibra de vidrio, creando los plásticos reforzados con fibra de vidrio (GFRP). Utilizados por primera vez en el fuselaje de una aeronave de entrenamiento norteamericano a fines de la WWII en 1942.²

La producción de fibra de carbono comienza a fines de la década de 1950, utilizándose en la industria desde 1960 en adelante. Luego, en la década de 1970 el crecimiento de la industria de los polímeros alcanza un nivel tal, que logra superar a la del acero, convirtiendo a los plásticos en el material más cotidianos en la actualidad. Siendo los plásticos reforzados con fibras, parte importante dentro de la industria de los polímeros desde sus orígenes.

¹ The New York Times (6 de Febrero de 1909), "New Chemical Substance, Bakelite is said to have the properties of Amber, Carbon and Celluloid.

² David Donald (1995), American Warplanes of World War II, Aerospace Publishing Limited, ISBN 1-874023-72-7, pages 251-252.

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS



Imagen 3: Chasis mono-casco construido con CFRP, McLaren Automotive, 2013.

{1;0;0;1} Polímeros reforzados con fibra

Los plásticos o polímeros reforzados con fibras involucran dos temáticas; la primera es la manera en que las fibras se obtienen y, la segunda es el proceso donde la fibra y la matriz polimérica se combinan durante el moldeo.¹ En esta investigación nos centraremos en la segunda temática, principalmente porque la primera temática esta solucionada,

y se dificulta proponer en estos temas, al no existir en Chile producción de ninguna de estas fibras.

¹ Erhard, Gunter (2006) Designing with Plastics. Munich: Hanser Publishers.

{1;0;0;1;0} Fibras

Tres categorías de fibras son las que se utilizan en los plásticos reforzados con fibras; vidrio, carbono y aramida. Hoy en día, estas fibras son muy utilizadas en la industria para la aplicación en plásticos con requerimientos específicos de resistencia y elasticidad. El más común de todos, por su bajo costo, es la fibra de vidrio. La fibra de carbono y aramida, también conocido por su nombre comercial Kevlar, se utilizan principalmente en la industria aeroespacial, automotriz de alto rendimiento y aplicaciones específicas en deportes.

También existen fibras especiales, que por su reducido

campo de aplicación, su uso es muy específico, siendo estas fibras de muy alto costo. Algunas de estas fibras son de origen: Cerámico, Boro, Carburo de Silicio, Cuarzo o Metálicas.

Por ultimo están las fibras naturales, que dentro de la industrial de los polímeros reforzados con fibras su uso es muy reducido. El costo de estas fibras es muy bajo. Pero, al presentarse estas fibras de forma natural, sus dimensiones son aleatorias, complejizando el trabajo de hilado o conformado de los filamentos.



Imagen 4: (izq.) Fibra de Carbono; (centro) Tejido de Aramida; (der.) Fibra de vidrio, Easy Composites Ltd., 2014



Imagen 5: (izq.) Lino; (centro) Yute; (der.) Sisal, Easy Composites Ltd., 2014

{1;0;0;1;1} Textiles

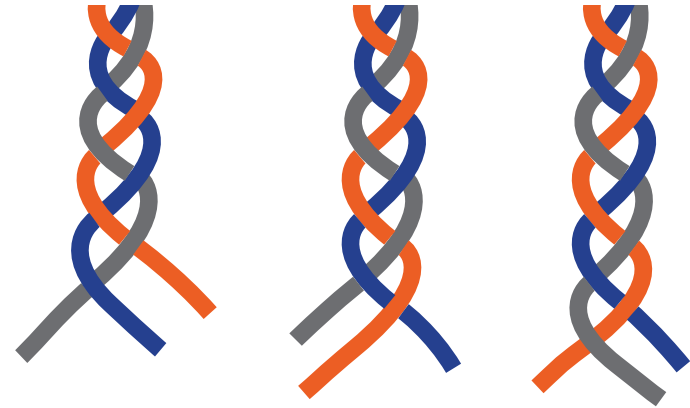
Las fibras pueden ser trenzadas, aglomeradas o tejidas: entrelazado, por punto-palillos (aguja), o por crochet (ganchillo). Las fibras deben pasar por un proceso en que se convierten en hilos, cabos o filamentos que son los que serán utilizados para tejer.

{1;0;0;1;1;0} Trenzado

La trenza es una estructura o patrón complejo formado por el entrelazamiento de 3 o más hebras o filamentos de alguna material flexible alambre, fibras o cabellos. Las trenzas se caracterizan por formar una estructura larga y delgada. Se utilizan comúnmente para hacer cuerdas, cables y peinados.

{1;0;0;1;1;1} No tejido (matting)

El matting es un proceso donde las fibras son directamente aplastadas y compactadas entre sí, quedando unidas por presión, formando un textil no tejido. Un no tejido es un tipo de textil producido al formar una red con fibras que son unidas por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos, sin ser tejidas y sin que sea necesario convertir las fibras en hilos.¹ Uno de los textiles más conocidos creado por este método es el fieltro.



Esquema 4: Trenzado, Elaboración propia



Imagen 6: Fieltro de diferentes colores, King, 2012

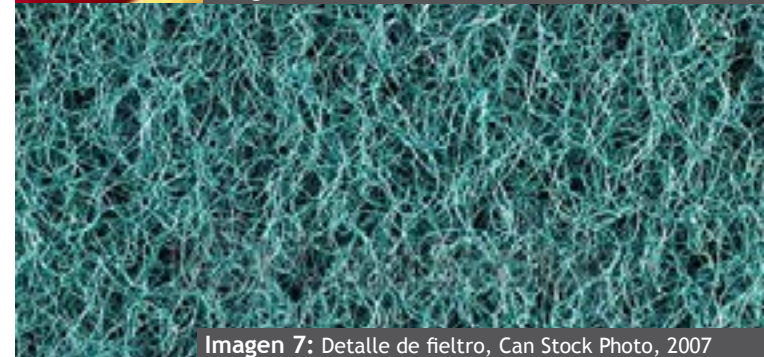


Imagen 7: Detalle de fieltro, Can Stock Photo, 2007

¹ INDA, (2012, 8 de julio) Association of the Nonwoven Fabrics Industry. «About Nonwovens».

{1;0;0;1;1;2} Tejeduría

Un tejido plano es una red flexible de fibras entrelazadas. Las fibras convertidas en filamentos son los que se entrelazaran para formar un tejido. Los elementos principales de un tejido plano son la trama y la urdimbre.

La **Urdimbre**, en ingles warp, es el conjunto de hilos o filamentos dispuestos de manera longitudinal que se mantienen en tensión en un bastidor o marco rígido; que funciona como soporte y limitador dimensional para la construcción de la trama.

La **Trama**, en ingles weft o woof, también conocido como contrahilo¹ o relleno, es el hilo transversal que se va tejiendo en la urdimbre para formar la tela. La trama y la urdimbre pueden ser de diferentes tamaños. La trama suele ser más grande que la urdimbre.

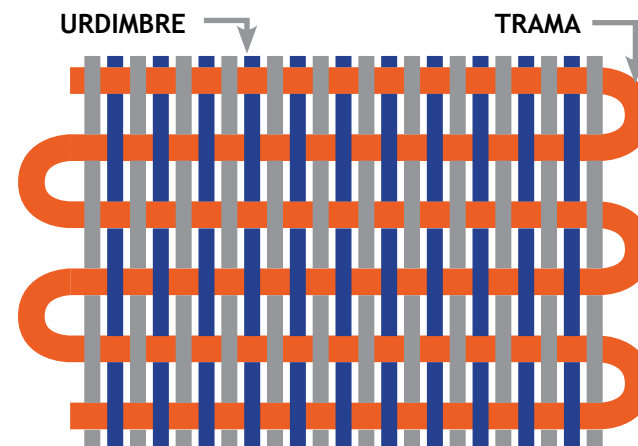
Tejido de **Puntos**, el tejido de puntos consiste en una serie de bucles o vueltas, llamadas puntadas, que van generando una fila y el apilamiento de estas filas crean una malla. Al conjunto de bucles característicos de esta malla se les llaman puntos. Existen dos tipos de puntos.

El punto a palillos o **tricotado**², se utilizan dos largas agujas (palillos) que pueden ser de diferentes espesores determinando el tamaño del punto. Consiste en el encadenamiento de anillos que van siendo pasados por encima de otro, los anillos pasados van quedando en uno de los palillos. Existen dos puntos básicos para tejer con esta técnica, el punto del derecho y el punto del revés.

1 Baugh, Gail (2011). «Sección dos». Manual de tejidos para diseñadores de moda. (En castellano 1ª edición). Barcelona (España): Parramón Ediciones, S.A. pp. 20-47. ISBN 978-84-342-3831-2. «Tanto en las telas tejidas, como en tejido de punto, el contrahilo también se conoce como 'trama'.»

2 La palabra tricotaje, castellanización del francés tricotage, tricotado es habitualmente usado como participio del verbo tricotar, que sí está recogido en el DRAE: «tricotar», Diccionario de la lengua española (22.ª edición), Real Academia Española, 2001

El **crochet** o tejido de gancho, es el que se realiza con una aguja corta con un gancho en la punta. Similar al tricotado, consiste en pasar un anillo de filamento por encima de otro, aunque solo se pasa un anillo a la vez.



Esquema 5: Componentes de un tejido plano, Elaboración propia



Imagen 8: Tejido tricotado, M. Leiva, 2012

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

{1;0;0;1;2} Clases de tejidos

Los tejidos planos además se pueden clasificar por la cantidad de ejes de filamentos que los componen. Siendo los tejidos más comunes los biaxiales.

{1;0;0;1;2;0} Tejidos Biaxiales

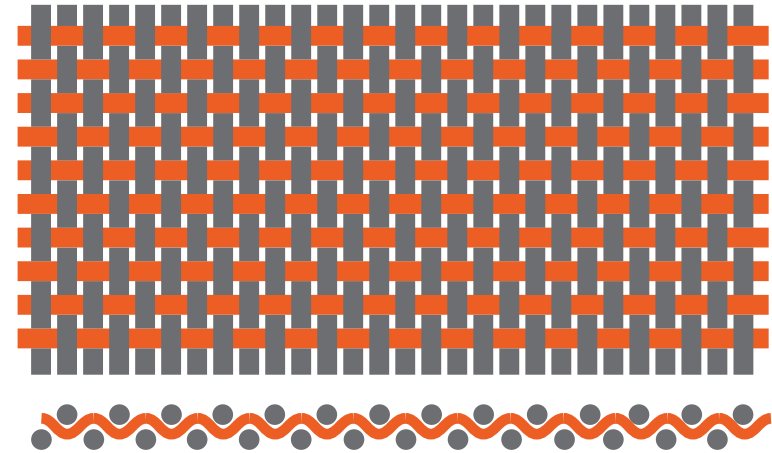
También conocidos como tejidos rectangulares, se componen de dos ejes de filamentos. Un eje horizontal y otro eje vertical. Esto quiere decir que la orientación entre ambos ejes es de 0° y 90° respectivamente. También hay variaciones de este tipo de tejidos, estando sus ejes en $-45^\circ/+45^\circ$. Los tejidos biaxiales más básicos se describen a continuación.

El primer tejido se llama **Tafetán** o simple (plain weave). Es el tejido más sencillo de los tres tejidos biaxiales fundamentales. Es un tejido fuerte y resistente. La trama y la urdimbre están alineadas, de modo que van formando un patrón cruzado simple. Este cruzamiento puede ser simple (1/1) doble (2/2) o más. Los tejidos donde el espesor del filamento de la trama y la urdimbre son iguales, y la cantidad de filamentos por centímetro es la misma en ambas direcciones, se les conoce como tejidos balanceados.

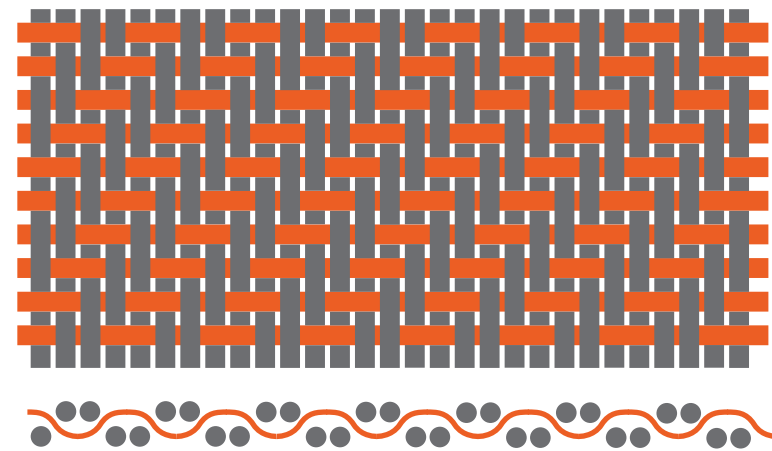
El segundo tejido es llamado **Sarga** (twill weave). Se caracteriza por un patrón de diagonales paralelas. La trama al pasar por encima de uno o más filamentos de la urdimbre y luego pasar por debajo de dos o más de los mismos. En cada fila existe un paso o desfase, que es lo que va formando la diagonal característica. Este paso se designa comúnmente con una **fracción**, por ejemplo 2/1 donde el numerador indica la cantidad de filamentos de urdimbre que se pasan por encima y el denominador, la cantidad de filamentos de urdimbre que se pasan por debajo.

El tejido Sarga es menos resistente que el tejido Tafetán, debido al patrón que forma, el cual descompone en la diagonal la resistencia del tejido. Esta característica le permite adquirir una mayor flexibilidad que el tejido simple.

Y por último, el tercer tejido es el llamado **Raso** o satén (satin weave). Se caracteriza por ser muy liso y lustroso. En este tejido, la trama pasa por encima de cuatro o más filamentos de urdimbre, luego pasa por debajo de un filamento, sumando el desfase entre cada fila.



Esquema 6: Tejido Tafetán (plain weave), Elaboración propia.



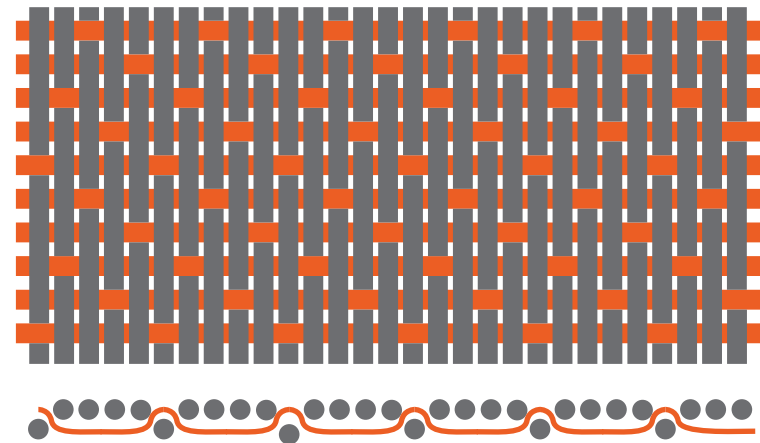
Esquema 7: Tejido Sarga (twill weave), Elaboración propia.

Los filamentos de la trama quedan flotando cada cuatro o más urdimbres. Se podría expresar como un tejido Sarga de 4+/1.

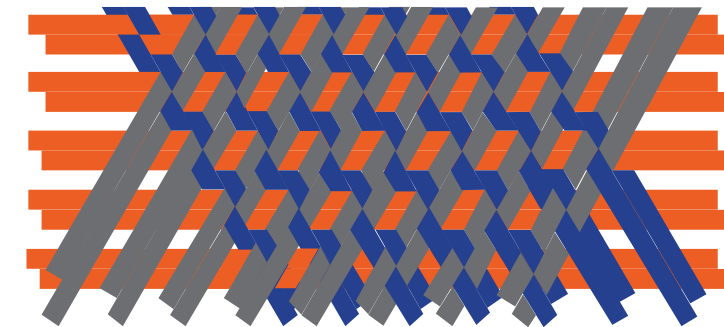
{1;0;0;1;2;1} Tejido Triaxial

Los tejidos **triaxiales**¹ o también llamados triangulares, se caracterizan por tener tres ejes de filamentos que por lo general, el primero se encuentra a 0° o 90° y el par restante se disponen de manera simétrica al primer eje con un ángulo de inclinación de +/-α°. Los ángulos más comunes son +/-45° y +/-60°². Hay que mencionar que este tipo de tejido se puede definir como un tejido con dos tramas, pudiéndose aplicar las variantes de patrones posibles en tejidos biaxiales.

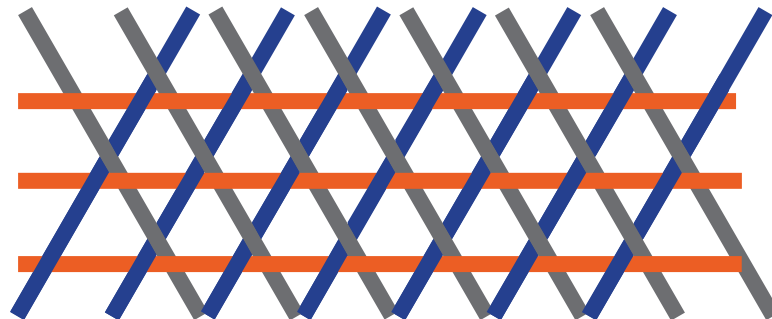
Este tipo de tejidos se caracterizan por ser más resistentes que los tejidos biaxiales, puesto que al agregar un eje de filamento, se vuelve resistente a esfuerzos de cizalle y más duro³. Este tipo de tejido puede tener hasta cuatro veces más resistencia a la rotura que un tejido biaxial⁴.



Esquema 8: Tejido Raso (satin weave), Elaboración propia.



Esquema 9: Tejido triaxial apretado, Elaboración propia.



Esquema 10: Tejido triaxial suelto, Elaboración propia.

1 Dow, N. (1968). United States Patente n° US3446251.

2 Kadir Bilisik (2011). Multiaxis Three Dimensional (3D) Woven Fabric, Advances in Modern Woven Fabrics Technology, Dr. Savvas Vassiliadis (Ed.), ISBN: 978-953-307-337-8, InTech, DOI: 10.5772/16530. Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-modern-woven-fabrics-technology/multiaxis-three-dimensional-3d-woven-fabric>.

3 Tim Tyler (2010) Triaxial Weaving - Hexdome. Obtenido de: <http://hexdome.com/weaving/triaxial/introduction/>

4 Buckminster Fuller Virtual Institute (2012) Selected ideas of buckminster Fuller: Three-way vs. Two-way weaving.

{1;0;0;1;2;2} Tejido Cuadraxial

Por último está el tejido tetraxial o también conocido en español como cuadraxial. Consiste en cuatro ejes de filamentos, dos ejes que se están dispuestos igual que un tejido biaxial a 0° y 90° , y los dos que quedan se orientan de la misma manera que los que definen la trama en un tejido triaxial, esto quiere decir de manera simétrica y con un ángulo de inclinación, generalmente, de $\pm 45^\circ$ y que pueden variar entre $\pm 30^\circ$ y $\pm 60^\circ$ ⁵.

Este es el único tejido que tiene una gran estabilidad isotrópica⁶, en todos los ángulos al tener filamentos en cuatro direcciones, convirtiéndolo en el tipo de tejido plano más estable y resistente de todos. Este tipo de tejido es flexible, pero su estabilidad dimensional hace que sea difícil de adaptar a superficies complejas.

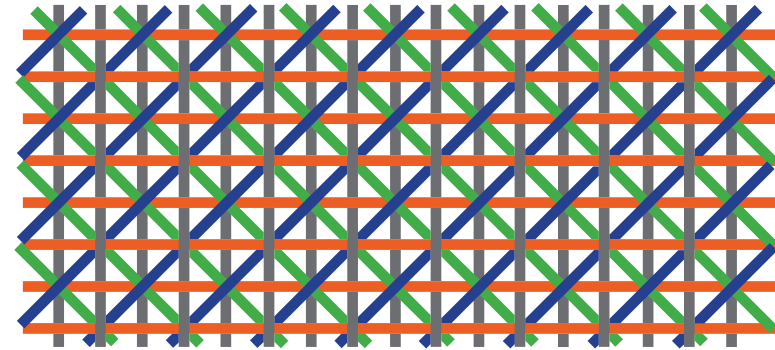
{1;0;0;1;2;3} Tejidos utilizados en Polímeros Reforzados con Fibras.

Dependiendo de la aplicación, se han desarrollado diferentes tipos de tejidos que están diseñados específicamente para utilizarse con los polímeros reforzados con fibra. Los parámetros que definen estos tejidos están determinados por requerimientos técnicos; tanto de rigidez, resistencia, flexibilidad, densidad del tejido y sus filamentos, y la cantidad de resina que quede atrapada entre sus fibras.

Los tipos de tejidos más comunes y utilizados en los plásticos reforzados con fibras. En fibra de vidrio y fibra de carbono se presenta en aglomerado (mat) tejido plano tafetán y sarga, de diferentes densidades de filamentos y patrones, y tejidos unidireccionales generalmente cosidos (stitched). En aramida se utiliza en combinación con fibra de carbono o fibra de vidrio dependiendo de las propiedades mecánicas que se desean obtener del tejido.

⁵ Mamiliano, D. (1991). United States Patente n° US5351722

⁶ Mamiliano, D. (2000). Madini Studio - The fabric. Obtenido de Madini Studio: <http://web.tiscali.it/tetraxial/The%20fabric.htm>



Esquema 11: Tejido tetraxial suelto, Elaboración propia.



Imagen 9: Mat de fibra de vidrio, Easy Composites, 2014



Imagen 10: Tejido Híbrido de Fibra de carbono y Aramida, Easy Composites, 2014

{1;0;0;1;3} Resinas

Además de las fibras, el componente restante fundamental para la creación de polímeros reforzados con fibras son las resinas. La resina es la encargada de formar la matriz polimérica donde quedan atrapadas las fibras.

Las resinas pueden ser naturales o sintéticas. Las resinas más utilizadas como matriz polimérica son sintéticas. Entre las más comunes se encuentran resinas de poliéster, vinil éster, epoxi y fenol-formaldehído (fenólica). Estas resinas pertenecen a los polímeros termoestables⁷, se presentan como un líquido viscoso, que debe reaccionar con otro líquido para iniciar la reacción en cadena que pasará en un estado de gel terminando en el curado, el cual es irreversible, formando una estructura rígida y frágil. Además por tener buena resistencia al impacto, a los solventes, gases y temperaturas extremas.

Los parámetros que hacen diferenciar cada tipo de resina sintética son los componentes que son necesarios para iniciar la polimerización. Estas diferencias generan variaciones en la dureza, el tiempo de uso/trabajo⁸, condiciones requeridas para el proceso de curado y post-curado.

⁷ La diferencia entre polímeros termoestables y termoplásticos radica en varios puntos. Los termoestables antes de llegar a su forma final (curado) generalmente son líquidos. El curado se realiza por la mezcla de dos agentes líquidos. Para curarse, necesita pasar por el proceso de gelado; donde se van creando redes tridimensionales con enlaces covalentes que van formando cadenas poliméricas que se entrelazan formando una macromolécula. Al elevarse la temperatura las cadenas se compactan haciendo al polímero más resistente hasta que el polímero se degrade por la temperatura. Los termoplásticos se forman generalmente por la fusión de pellets que son calentados y presionados en un molde. El enlace molecular de los termoplásticos es mucho más débil (Van der Waals). A medida que se va elevando la temperatura el termoplástico se va deformando y fusionando. Esto, a diferencia de los termoestables, permite que puedan reutilizarse al poder adquirir nuevas formas.

⁸ Más conocido como potlife: es el tiempo que existe en que se realiza la mezcla de los componentes, dando inicio al proceso de polimerización, y el proceso de gelado, que es cuando comienza el curado. Este tiempo viene dado por las capacidades propias de la resina y es determinado también por las propiedades que se requieren del polímero, es decir, el tiempo de uso y la temperatura de curado pueden influir en las propiedades finales de la pieza terminada.

A Construida con información de Gurit Holding AG (<http://gurit.com>), A to Z materials (<http://www.azom.com/Suppliers.aspx?SupplierID=221>) y netcomposites (<http://www.netcomposites.com/guide/resin-comparison/18>).

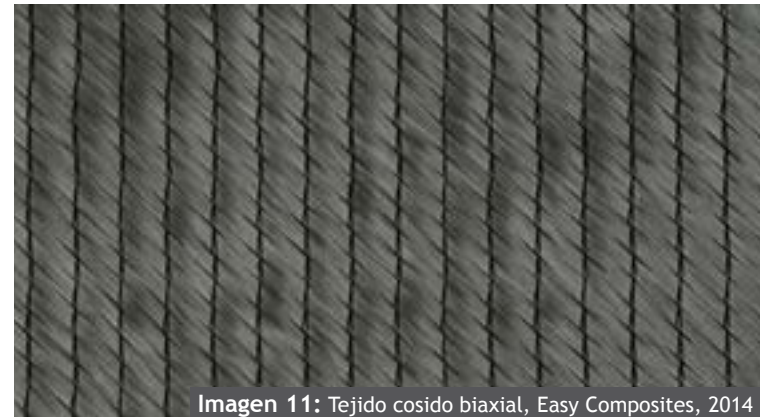


Imagen 11: Tejido cosido biaxial, Easy Composites, 2014

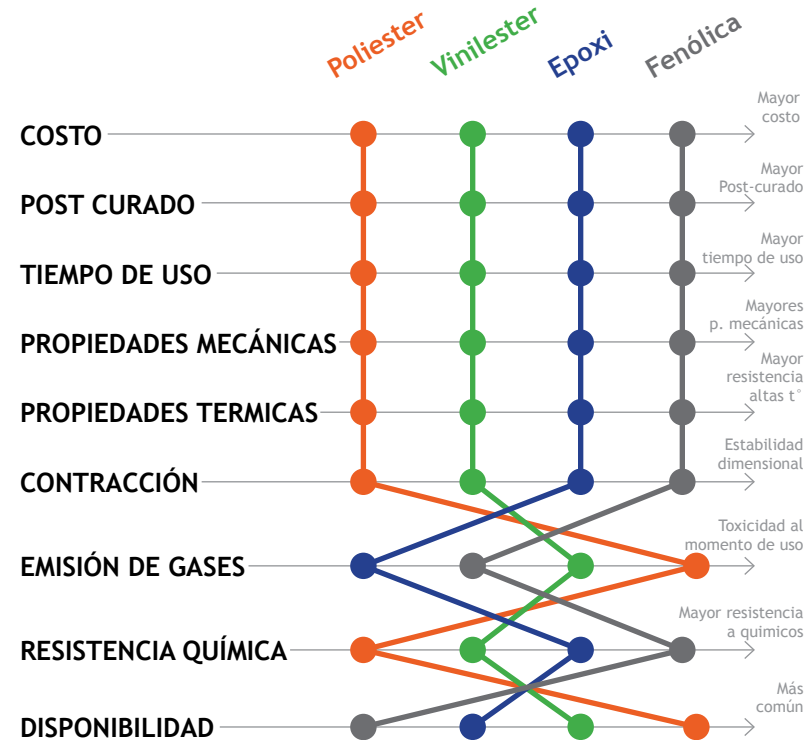


Tabla 1: Comparativa de resinas más utilizadas^A, Elaboración propia

{1;0;0;2} Procesos de conformado

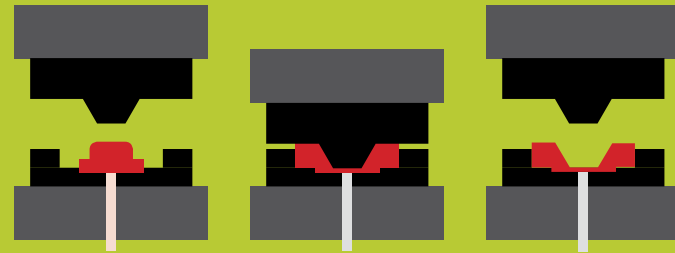
Ya teniendo una idea general de cuáles son los materiales y las maneras en que se pueden presentar en la fabricación de un polímero reforzado con fibras, se puede visualizar con claridad los procesos de conformado del FRP. Existen varias maneras en que el refuerzo de fibras se une con la matriz polimérica.

Una estructura rígida es lo que se utiliza para darle forma a los plásticos reforzados con fibra. Esta estructura puede ser dispuesta en una superficie plana, o envolviendo una superficie cilíndrica; como un mandril, pero la mayoría se disponen al interior de un molde. Los moldes pueden ser machos o hembras o se completamente cerrado⁹. El proceso de moldeado es, en pocas palabras como, la ubicación de fibras en el molde, siendo combinadas las fibras con la matriz polimérica: antes, durante o después de ubicarse las fibras en el molde, o en el mandril según sea el caso.

⁹ Si el molde representa la forma final, en positivo, es molde macho. En caso contrario, si el molde representa el interior de la forma final (negativo de la forma), es un molde hembra. El molde cerrado completamente es siempre un molde hembra, ya que el interior del molde es el interior de la forma final.

{1;0;0;2;0} MOLDEADO POR COMPRESIÓN

Consiste en un molde hembra y un molde macho. En el molde hembra se coloca el polímero combinado con trozos de fibras formando una pasta. Esta pasta es comprimida por el molde macho que cierra ambos moldes. Con este proceso se pueden lograr formas con alto nivel de detalles.



Esquema 12: Modelado por compresión, Elaboración propia.



Imagen 12: Moldeado por compresión con tejido pre-impregnado, Clear Carbon and Components, Inc. 2013

{1;0;0;2;1} AUTOCLAVE/ BOLSA DE VACIO

Este proceso utiliza un molde hembra en el que van siendo colocadas las capas de fibras pre-impregnadas, luego el release film (peel ply)¹, bleeder o breather² y por último la bolsa de vacío³. Se conecta la bomba de vacío en un conector ubicado en la bolsa. Luego se encierra todo el conjunto de molde y bomba en el interior de una autoclave⁴. Este proceso es muy utilizado en la industria aeroespacial principalmente por el control que se obtiene de la geometría final, y la seguridad en las propiedades mecánicas, al tener manejo absoluto del proceso de curado, que podría llegar a tomar varias horas.

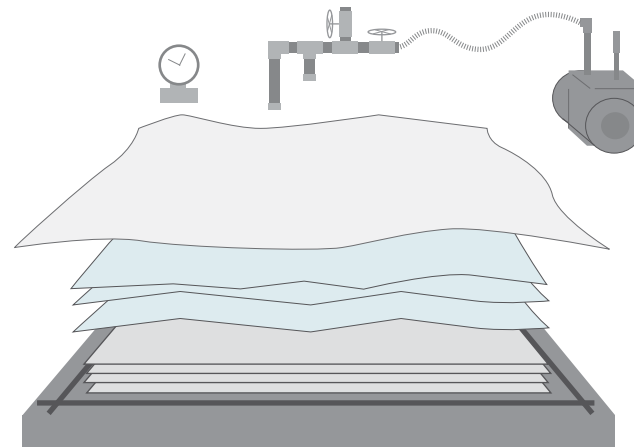
Este proceso es el más costoso existente.

1 Es una tela que se coloca encima de las fibras ya impregnadas que permite darle un acabado uniforme a la pieza, permite escapen los gases que se liberan en el proceso de curado y además impide que se pegue el material que absorbe los excedentes de resina.

2 Es un material que se utiliza para absorber los excesos de resinas y además dejar pasar los gases del proceso de curado. Tiene aspecto de esponja, y de fibras aglomeradas de un material absorbente.

3 La bolsa de vacío es una lámina plástica delgada y resistente a la presión y temperatura que se adapta al molde y se adhiere al contorno del mismo.

4 Autoclave es un horno con temperatura y presión controlada. Similar a una olla a presión de gran tamaño.



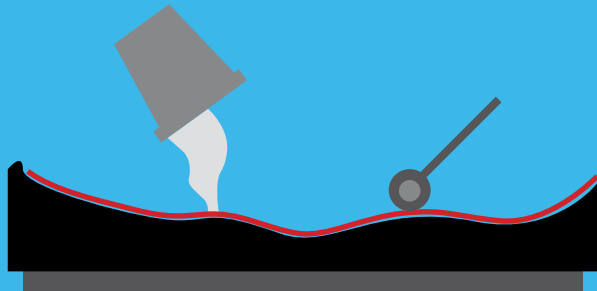
Esquema 13: Bolsa de vacío, Elaboración propia.



Imagen 13: Autoclave en las instalaciones de TORAY, Japón . Tokai University Solar Car Team 2013

{1;0;0;2;2} IMPREGNACIÓN MANUAL (Wet layup)

En este proceso se van ubicando las fibras sin impregnar¹ en el molde hembra y la impregnación se realiza en el mismo molde, combinando las fibras con la resina líquida en el interior del molde². Luego el molde se puede dejar ahí, o aplicar temperatura para asegurar un curado óptimo³. Las fibras de vidrio son las que más se utilizan con este proceso.



Esquema 14: Wet layup, Elaboración propia.

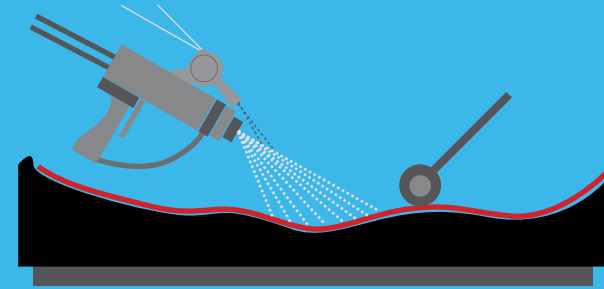
1 Esto no impide que se pueda realizar un pre-impregnado fuera del molde.

2 En este proceso se utilizan rodillos metálicos y brochas. Este proceso es lento y tedioso, pues hay que asegurarse de que la impregnación sea uniforme en toda la superficie. Quedando mucha responsabilidad a la persona que está realizando el impregnado.

3 También es posible utilizar la bolsa de vacío para fijar mejor las fibras al molde.

{1;0;0;2;3} CHOPPER GUN

Chopper gun es una pistola de mano que va disparando fibra de vidrio con resina. La pistola pica la fibra de vidrio y la va combinando con resina catalizada¹. El operador de la pistola es quien va regulando el espesor final de la pieza. Este proceso es adecuado para producción de grandes superficies a bajo costo, pero por la configuración de las fibras en la matriz polimérica, las piezas que se realizan tienen menor resistencia que los realizados por otros procesos, que además logran detalles más finos.



Esquema 15: Spray-up Chopping Process, Elaboración propia.

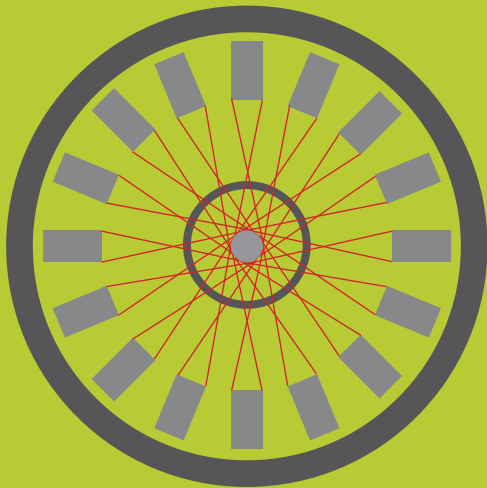


Imagen 14: Detalle de una Chop Gun, Graco Inc. 2014

1 La resina catalizada es cuando ya se han mezclados los componentes que inician el proceso de curado.

{1;0;0;2;4} TRENZADO DE FILAMENTOS (Braiding)

Es similar al filament winding pero con la diferencia de ser multifilamento¹. Es un proceso automatizado, siendo el único proceso que construye un tejido sobre la figura final, en este caso, en un mandril especial. El tejido que se forma es continuo y sin uniones, lo que se traduce en propiedades mecánicas uniformes. Cada ovillo de filamentos está en un anillo que rodea al porta-herramientas. Estos ovillos van rotando y trasladándose en el anillo armando la trenza. A diferencia del filament winding es el mandril el que va avanzando, quedando progresivamente con el tejido terminado.



Esquema 16: Trenzado multifilamento, Elaboración propia.

¹ Refiriéndose a que cada filamento tiene un origen distinto.



Imagen 15: Proceso automatizado de trenzado de filamentos 1. Munich Composites GmbH 2014



Imagen 16: Proceso automatizado de trenzado de filamentos 2. Munich Composites GmbH 2014.



Imagen 17: Ovillos de fibras en el proceso de trenzado automatizado de filamentos. Core77 2012

{1;0;0;2;5} BOBINADO POR FILAMENTO

El filament winding consiste en una maquinaria, similar a un torno automatizado, donde se monta un mandril, donde se va bobinando un filamento de fibras que va pasando por el porta-herramientas¹ del torno, se impregna con la resina y luego se va depositando sobre el mandril rotatorio. El filamento se puede impregnar de tres formas distintas, muy similares a las posibles en los otros procesos.

Bobinado húmedo: el filamento pasa a través de la resina líquida en el porta-herramientas del torno momentos antes de llegar al mandril.

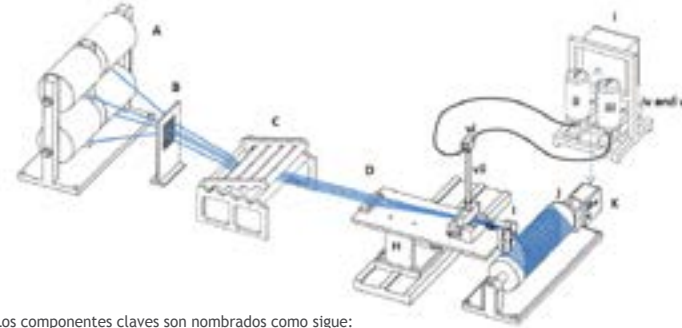
Bobinado prepreg o seco: el filamento está pre-impregnado con resina parcialmente curada.

Post impregnado: una vez finalizado el bobinado, se realiza un impregnado de las fibras sobre el mandril. El mandril está fijo y es el porta-herramientas el que va recorriendo al mandril longitudinalmente. Cada paso va superponiendo las fibras entre sí, formándose los patrones característicos de este proceso.

El filament winding es de bajo costo para la producción en serie de grandes estructuras cilíndricas que se utilizan, como ejemplo, como pilares para aerogeneradores². Es el proceso automatizado más sencillo.

¹ Es el lugar donde se monta la herramienta, en este caso es un anillo que tensa y orienta las fibras sobre el mandril.

² Los aerogeneradores utilizan la energía natural del viento para generar electricidad.



Los componentes claves son nombrados como sigue:

(A) Madejas de fibra (B) Guía de fibra (C) Sistema tensor (D) Pernos guía (G) Manojos de fibra impregnadas de resina. (H) Carro de desplazamiento de una plataforma adaptador para albergar la impregnación (viii) (I) Rodillo "colector" o anillo-D (J) Mandril rotatorio (K) Unidad de control.

Imagen 18: Esquema de proceso de bobinado por filamento, The University of Birmingham's School of Metallurgy and Materials 2013.

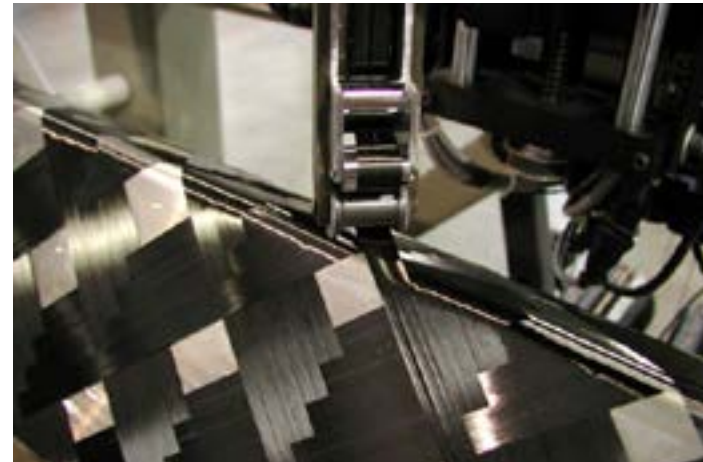


Imagen 19: Proceso de bobinado por filamento, Composites Solutions 2011

{1;0;0;2;6} MANDREL WRAPPING (Envoltura de mandril)

Este proceso consiste en la ubicación de las capas de fibras pre-impregnadas sobre un mandril cilíndrico metálico recto. Luego el mandril con las fibras son envueltas con cintas de embalaje plástico¹. Luego para el curado se utiliza bolsa de vacío y se ubican en un horno. Luego del curado, se retira el mandril, la bolsa y las cintas quedando el tubo de fibra rígido. Se utiliza principalmente para crear tubos robustos y fuertes de fibras de carbono.

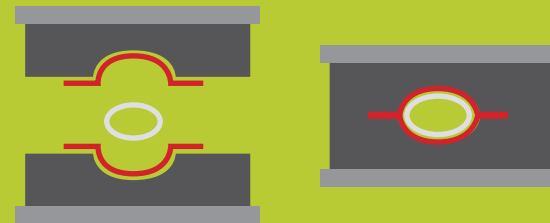


Imagen 20: Proceso de envoltura de mandril manual con cintas de fibra de carbono en seco, para luego realizar proceso de infusión con bolsa de vacío. Smoothy Ltd. 2013

1 Cintas de embalaje de polipropileno o nylon.

{1;0;0;2;7} BLADDER MOLDING (molde con vejiga)

Consiste en un molde hembra cerrado y en el interior una vejiga que se infla para hacer presión desde el interior. El proceso consiste en colocar capas individuales de fibras pre-impregnadas¹ en el molde hembra y luego el molde es cerrado, la vejiga inflada, calentado y presurizado para fijar las fibras en las paredes internas del molde hembra.



Esquema 17: Bladder Molding, Elaboración propia.



Imagen 21: Cuadro de bicicleta moldeado por vejiga en fibra de carbono, Hi-Torque Publications Inc. 2013

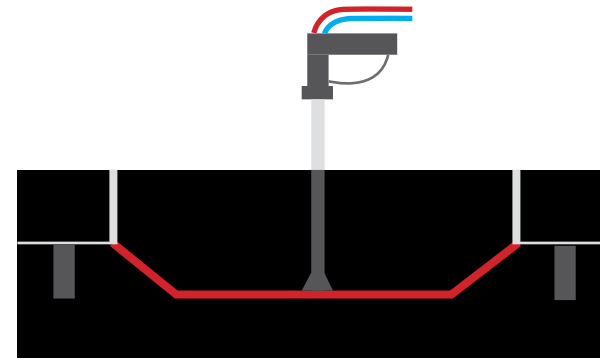
1 Esto quiere decir que el tejido de fibras ya ha sido combinado con el polímero.

{1;0;0;2;8} Infusión (RTM y VRTM)¹

En parte es similar en varios puntos al proceso por bolsa de vacío. La primera diferencia es que este proceso se realiza sin autoclave. La segunda diferencia, y lo que más caracteriza este proceso, es que al momento de ubicar las fibras en el molde, se ubican secas, sin impregnar, y no se impregnaran hasta después de ubicar todas las fibras, peel ply, bleeder, la malla de infusión² en conjunto con las espirales de infusión³ y la bolsa de vacío sobre el molde. Una vez puesta la bolsa de vacío, se activa la bomba de vacío, y se prepara la resina para el proceso de infusión⁴. Luego se inicia el proceso de infusión quedando la pieza con resina completando el proceso⁵.

La infusión se puede realizar tanto en moldes abiertos como en moldes cerrados, convirtiendo en este proceso en uno económico, al no requerir de laminadores manuales expertos, y por su característica es posible realizar producción en serie⁶.

- 1 Resin transfer Molding y Vacuum assisted Resin transfer molding.
- 2 Esta malla mantiene los espacios para que la resina fluya a través de la pieza y el vacío no cierre todos los caminos.
- 3 Estas espirales funcionan como vías de acceso y distribución a la resina para luego avanzar por la malla de infusión e impregnar todos los rincones de la pieza.
- 4 La infusión es el proceso en que la resina se transfiere o aspirada al molde por vacío, llenando todos los rincones.
- 5 Sumando el proceso de post curado cuando corresponda.
- 6 Esto depende de, los tiempos de uso y de las temperaturas que alcanza la resina durante el curado. Los moldes deben estar contruidos con materiales que resistan altas temperaturas. El tamaño de la pieza condiciona el tiempo de preparación y ubicación de las fibras en el molde.



Esquema 18: Proceso de Infusión con molde rígidos, Elaboración propia.



Imagen 22: Proceso de infusión con bolsa de vacío en el casco de una embarcación, Maccaferri 2014

{1;0;0;3} Compuesto estructurado sándwich

En inglés es conocido como Sandwich-structured composite. Es un tipo especial de material compuesto que se caracteriza por la unión de dos capas finas pero duras a un núcleo ligero pero grueso. El núcleo, o core en inglés, comúnmente es un material de baja resistencia, pero es su espesor lo que le proporciona al compuesto rigidez y resistencia a la flexión con una densidad baja. Los núcleos son de algún tipo de aglomerado de fibras¹, espuma sintética² o estructura honeycomb³ plástico o metálico.

Las capas finas externas pueden ser de metal, de papel reciclado, o incluso de polímeros reforzados con fibras. Las fibras de vidrio y carbono son las más comunes. La unión entre las capas exteriores y el núcleo se realiza con una capa adhesiva⁴.

Existen numerosos tipos de materiales y técnicas que se utilizan para la elaboración de núcleos para estructura de sándwich. Estos en la mayoría de los casos son diseñados para procesos productivos en particular. El honeycomb no se puede utilizar con el proceso infusión, pues la resina llenaría todos los espacios de la estructura de panal, que están diseñados para quedar vacíos para lograr las propiedades de rigidez y ligereza para el que fue diseñado este núcleo. Por otro lado, existen núcleos específicamente diseñados para el proceso de infusión y estos rellenan y van dejando caminos para que circule la resina y genere la conexión entre ambas capas de fibras.

Estos núcleos, tanto los específicos y los multipropósitos,

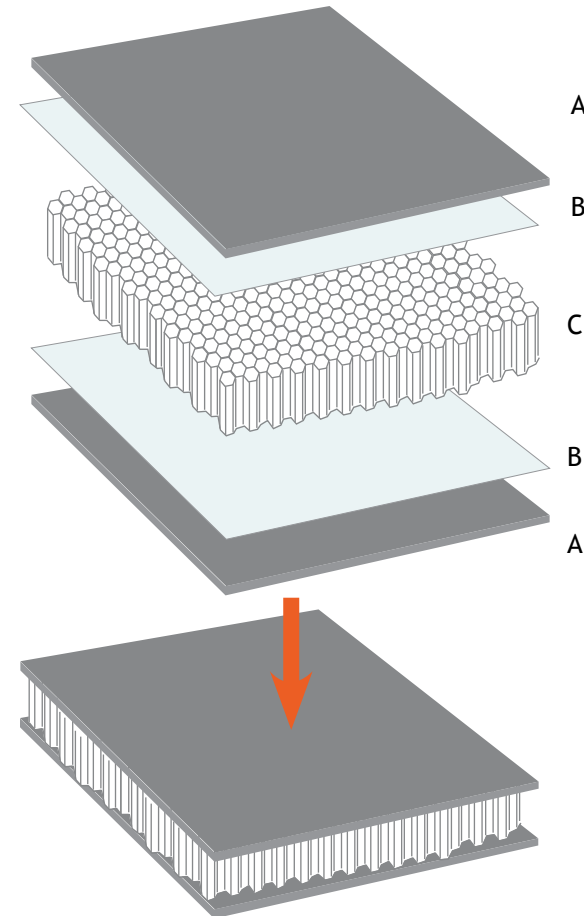
1 Muy similar a como es el fieltro.

2 Estructuras de burbujas que encierran un gas. Existen dos tipos de espuma sólida, de célula abierta, como una esponja de baño, y de célula cerrada, como una colchoneta de camping.

3 Estructura tipo panal de abeja que consiste en una lámina de patrón de hexágonos.

4 Esta capa adhesiva queda atrapada entre el núcleo y la capa exterior. Es importante que esta unión sea fuerte, si es muy débil podrían separarse ante algún esfuerzo provocando una de-laminación; que es cuando el polímero reforzado con fibras se separa del núcleo o las fibras se separan de la matriz polimérica.

se presentan en formato de plancha⁵, teniendo limitaciones para adaptarse a la geometría que se quiere fabricar, teniendo que fragmentar el núcleo, complicando el proceso y debilitando en cierto grado la pieza.



Esquema 19: Elementos básicos de una estructura de sándwich. (A) Capa fina exterior; (B) Capa adhesiva; (C) Núcleo. Elaboración propia.

5 Láminas planas de material de diferentes espesores.

A Algunos datos tomados de la ficha técnica de espuma dinivycell <http://www.fiberglasssupply.com/pdf/core/HManM.pdf>

B Ciertas espumas pueden ser termoformadas, con pistola de calor, para adaptarse a la superficie.

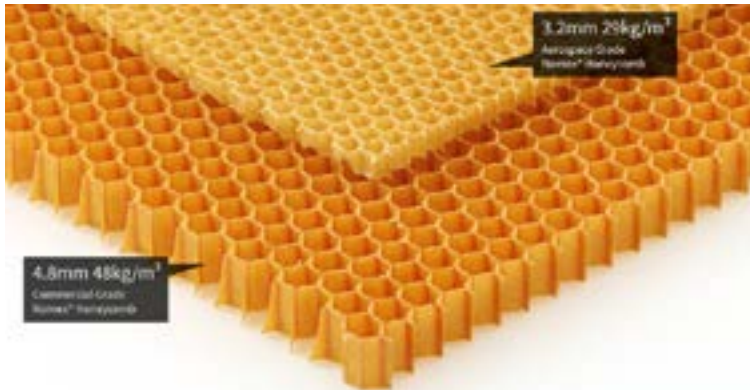


Imagen 23: Honeycomb de Aramida, Easy Composites Ltd, 2014.



Imagen 26: Lámina Lantor-Soric Coremat. Easy Composites, 2014

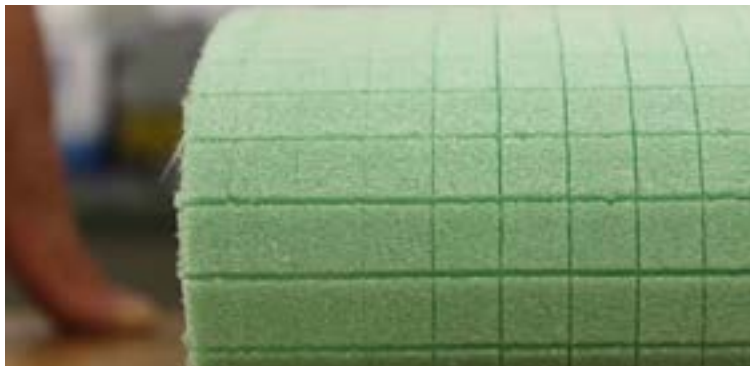


Imagen 24: Detalle de Dinivymat: espuma troquelada divinycell H60. Fibreglast, 2012.



Imagen 25: Plancha Easycell ranurado de distintos espesores. Easy Composites, 2014.

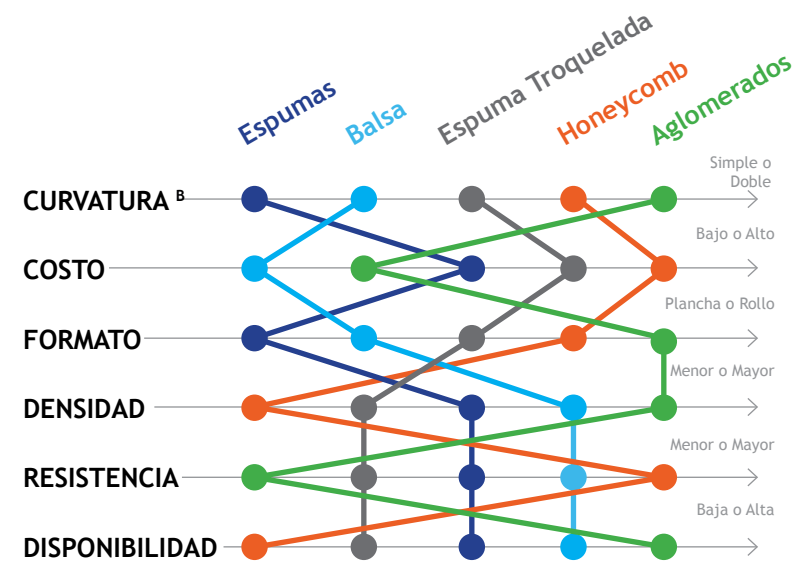


Tabla 2: Comparativa general de núcleos^A, Elaboración propia.

{1;0;0;4} Conclusión materiales compuestos

El material compuesto es un elemento importante en las historia de la tecnología de materiales modernos. Las posibilidades y propiedades que se pueden obtener de este tipo de materiales revolucionó las industrias, pues su aplicación es transversal y a variadas escalas de producción. Se aplican a diferentes escalas en la industria aeroespacial, automotriz, naviera, militar, ingeniería civil, deporte motor, etc.

En los materiales compuestos, los procesos específicamente para realizar polímeros reforzados con fibras, han sido diseñados y optimizados para su utilización con fibras sintéticas. Esto no solo es por las grandes propiedades presentes en este tipo de fibras, sino que también, al tener control de su producción, permite lograr una estandarización y un nivel de especificación que le saca el máximo provecho a estas fibras en cada proceso. Este refinamiento no es posible de lograr con las fibras naturales por la forma en que se presentan en la naturaleza que condiciona las posibilidades de optimización de estas fibras para aplicarse a estos proceso. También hay que tener en cuenta que estas fibras son considerablemente más económicas pero también tienen menores propiedades técnicas.

Para la realización de los experimentos se da prioridad a la variable de costos y la reducida opción de formatos disponibles deja un espacio para proponer. Una fibra de bajo costo permite realizar una mayor cantidad de pruebas con un presupuesto reducido y en el tiempo establecido del proyecto.

En el tema de las resinas se prioriza la reducida emisión de gases nocivos durante el proceso por sobre la alternativa más económica que además está acompañado con reducidos tiempos de uso, y en este sentido, al no tener claro cuáles serán los tiempos necesarios para lo que se realizará en el experimento, se da prioridad a un mayor tiempo de uso.

Los procesos de generación de materiales compuestos se pueden categorizar por la manera en que las fibras se trabajan en el molde. Se separa los procesos en los que se

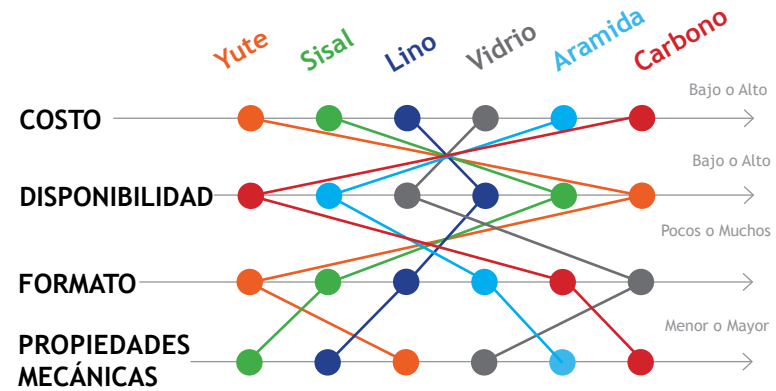


Tabla 3: Tabla comparativa de fibras, Elaboración propia.

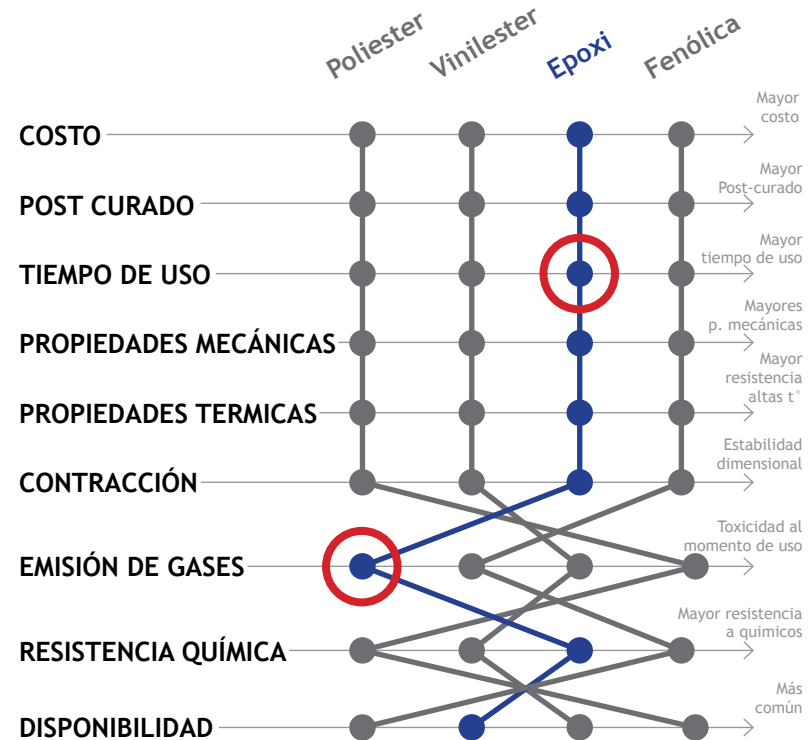


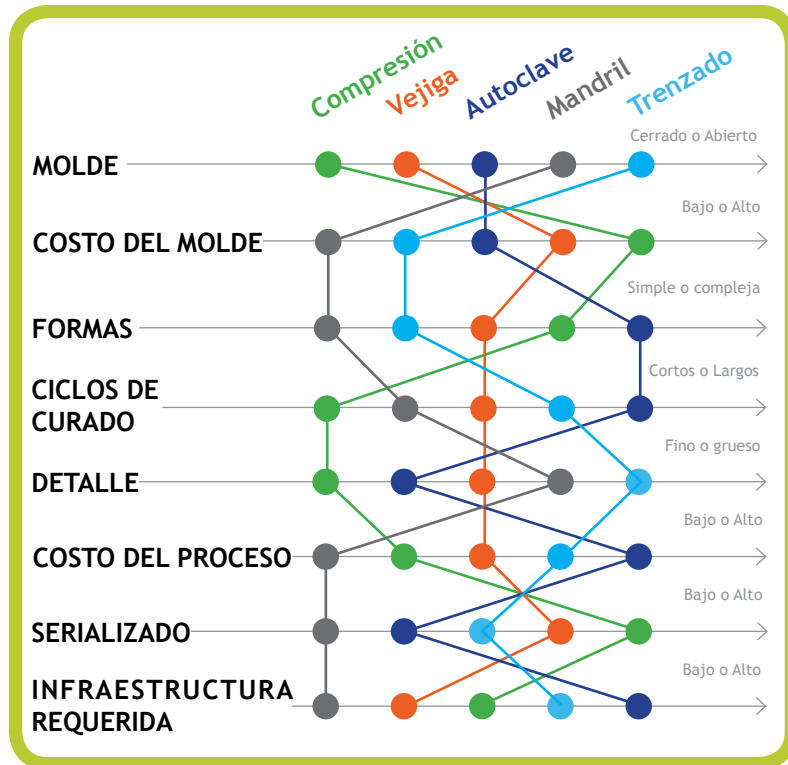
Tabla 4: Criterios de selección de resinas, Elaboración propia.

puede realizar pre-impregnado o seco y en los que es posible impregnar en molde, también llamado húmedo.

Los criterios de selección de las características del proceso que se pretende desarrollar en esta investigación se discriminan de la siguiente manera independiente si son procesos en seco o húmedos. El molde es preferible que sea abierto porque es más fácil realizar cualquier tipo de trabajo en su superficie, que en primera instancia se pretende desarrollar formas simples, y con

detalles grueso, debido a que permite desarrollar el proceso de manera continua sin detenerse en complejidades innecesarias. Por un tema de presupuesto, se espera que el proceso requiera la menor cantidad de recursos, tanto en el costo del molde, el proceso en sí mismo y sin requerir grandes espacios ni instalaciones con condiciones especiales, esto implica que los requerimientos para implementar el proceso sean mínimos.

Prepeg Molding



Wet Molding

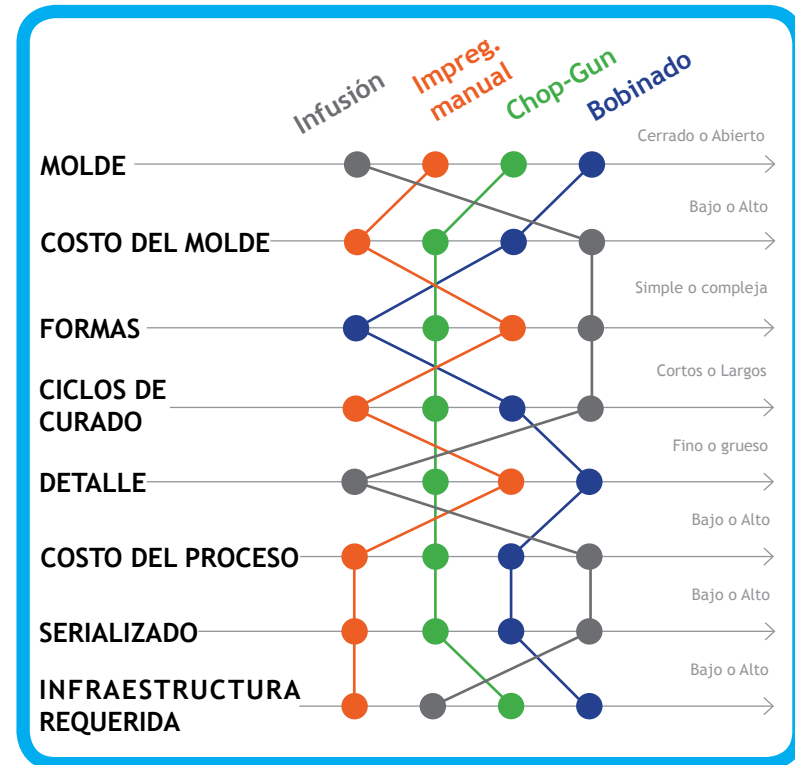


Tabla 5: Comparativa de Procesos^A (izq.) Prepeg Molding, (der.) Wet Molding, Elaboración propia.

A Basada en información de <http://web.archive.org/web/20080215010801/http://www.quatrocomposites.com/comp101proc.htm>

{1;0;1} Diseño asistido por computadora

El Computer-aided Design (CAD) es el uso de herramientas computacionales para asistir en la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño¹. Es utilizado en la ingeniería, arquitectura y diseño para incrementar la productividad, la calidad del diseño, el intercambio de documentación y la creación de una base de datos para la fabricación.

Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y de modelado en tres dimensiones (3D). En las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos, curvas y polígonos², las que se operan a través de una interfaz gráfica³. Pero no sólo involucra el dibujo de formas, también puede incluir información de materiales, costos, dimensionamiento y tolerancia, detalles de fabricación, todos los detalles y especificaciones que antes se realizaban a mano en un plano. En las herramientas de modelado 3D trabajan con curvas, superficies y sólidos.

El CAD es parte fundamental del Desarrollo de Productos Digitales (DPD)⁴ o Prototipado Digital en conjunto con los procesos de Gestión del ciclo de vida de los Productos⁵, para estos fines se utilizan en conjunto con otras herramientas:

- Ingeniería asistida por computadora (CAE) y el Análisis por Elementos Finitos (FEA).
- Fabricación asistida por computadora (CAM) incluyendo

1 Narayan, K. Lalit (2008). Computer Aided Design and Manufacturing. New Delhi: Prentice Hall of India. p. 3. ISBN 812033342X.

2 Graficas vectoriales es la utilización de geometría primitiva como puntos, líneas curvas y polígonos basados en expresiones matemáticas. Se construyen con puntos de control que tienen una posición, magnitud y dirección específico, como un vector.

3 Es el conjunto de imágenes y objetos que forman un entorno visual y se utiliza para representar información y las acciones disponibles en un programa de computador.

4 Digital Product Development (DPD)

5 Conocido en inglés como Product Lifecycle Management (PLM)

instrucciones para maquinarias manejadas por Control numérico computarizado (CNC).

- Renderizado⁶.

A continuación se profundiza en algunas de estas temáticas que son relevantes para el desarrollo del proyecto, y la manera en que influyen en la toma de decisiones.



Imagen 27: Entorno de edición 2D en Autodesk AutoCAD 2010. Propia, 2014

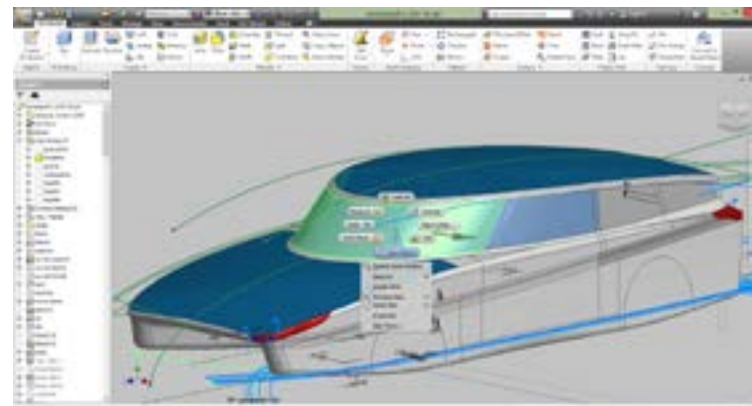


Imagen 28: Entorno de edición 3D en Autodesk Inventor 2013. Propia, 2014

6 Render en inglés, Referido al proceso de generar una imagen o video de un modelo 3D, o un conjunto de modelos en una escena. La simple representación del modelo 3D en la interfaz gráfica del programa también es un render, pero con parámetros básicos de calidad.

{1;0;1;0} Non-uniform rational B-spline (NURBS)

Dentro del proceso de diseño en un programa CAD es necesario manejar ciertos conceptos básicos de superficies, los elementos que los componen y definen, y la manera en que se pueden manipular para obtener los resultados deseados. Uno de estos conceptos son los Non-uniform rational B-spline (NURBS) o B-splines racionales no uniformes. Es un modelo matemático muy utilizado en las herramientas de diseño CAD para generar y representar curvas y superficies.

Para entender cómo funciona un NURBS hay que entender, primero, qué es un B-spline. Un B-spline o Basis spline, es una curva definida en porciones mediante funciones polinómicas¹ básicas. En pocas palabras se refiere a una curva, que se define por partes. En programas CAD, estas curvas se construyen y manipulan con una serie de puntos de control, a estas curvas B-spline con puntos de control manipulables se les llama curva NURBS, pudiendo ser de diferentes grados de curvatura que van afectando la apariencia y la manera en que los puntos la manipulan.

Las superficies NURBS se definen por la sucesión de curvas NURBS y sus respectivos puntos de control que se convierten en los puntos de control de la superficie NURBS. Las curvas NURBS se desarrollan en una sola dirección paramétrica, normalmente llamada s o u. En el caso de las superficies NURBS la estructura evoluciona en dos direcciones paramétricas llamadas s y t o u y v. Esta estructura es similar a una malla o tabla de dimensiones finitas, que está directamente relacionada a la cantidad de puntos de control de las curvas NURBS que definen a la superficie.

¹ Polinomio es una expresión matemática definida por un conjunto finito de variables (no determinados) y constantes (coeficientes) con las operaciones aritméticas de suma, resta y multiplicación, así como también exponentes enteros positivos. Pueden ser una o de varias variables.

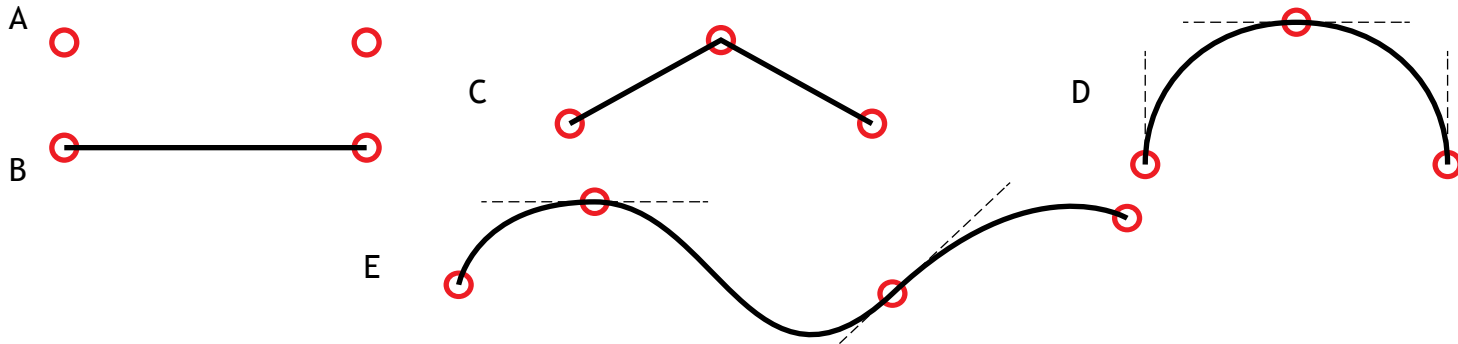
{1;0;1;1} Diseño Generativo

El diseño generativo es una metodología de diseño en la que el resultado, ya sean, imágenes, sonidos, modelos arquitectónicos o animaciones son generados a partir de una serie de reglas o un **algoritmo**. Un algoritmo se describe como un procedimiento paso a paso para hacer cálculos, procesamiento de datos o razonamiento automático. Es un método efectivo expresado como una lista de finitas instrucciones bien definidas para realizar el cálculo de alguna función. El sucesivo avance en la resolución de estas instrucciones, eventualmente, producirán un resultado final que terminará siendo la salida o término del algoritmo.

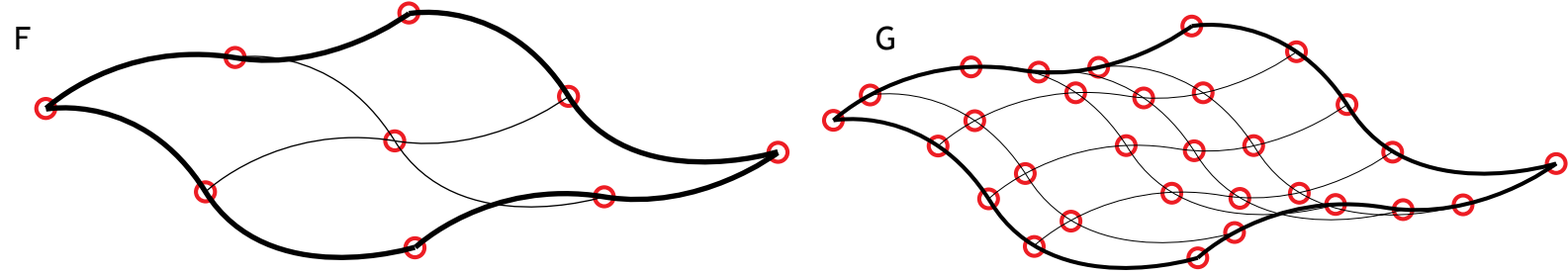
La mayor parte del diseño generativo está basado en el modelado paramétrico, que es una metodología veloz para explorar posibilidades, mediante la definición de parámetros iniciales que constituyen las propiedades del sólido o superficie, y que son definidas en el algoritmo. Es utilizado en varios campos del diseño como arte, arquitectura, diseño comunicacional y diseño de producto. El diseño generativo se compone generalmente de:

- o Esquema de diseño
- o Una manera de crear variaciones
- o Un criterio de selección de resultados deseables

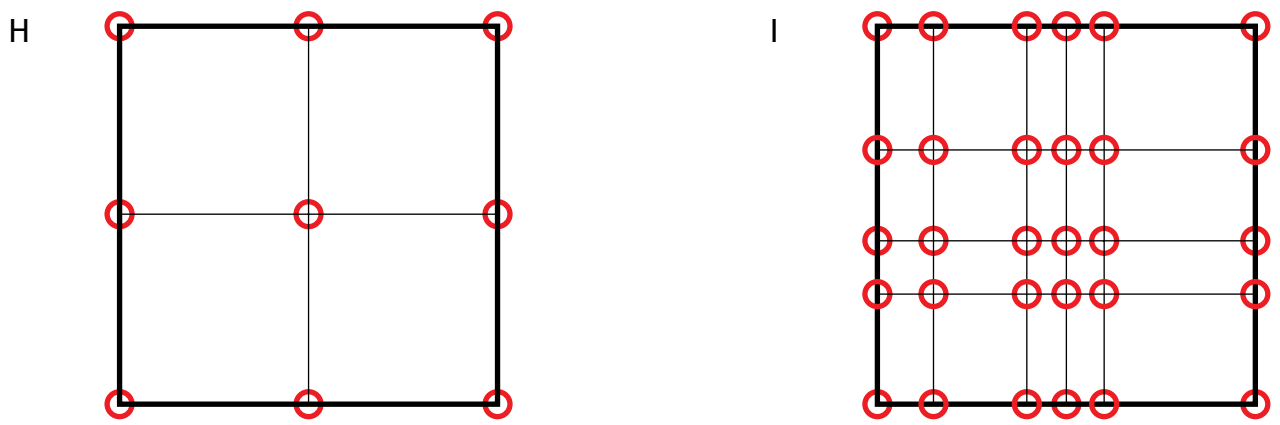
El diseño generativo se ha inspirado en los procesos de diseño de la naturaleza, donde los diseños son desarrollados como variaciones genéticas, a través de mutaciones y cruces. En el diseño generativo los parámetros utilizados se vuelven los parámetro o genes de la geometría que se está creando.



Esquema 20: Definición de una curva B-spline. (A) Puntos iniciales; (B) Línea; (C) Polilínea de grado 1; (D) Polilínea de grado 2; (E) B-spline con 4 puntos de control. Elaboración propia.



Esquema 21: Superficie NURBS, construida a partir de dos curvas NURBS, distribuido en dos direcciones U y V. (F) Distribución uniforme de los puntos de control; (G) Distribución no uniforme de los puntos de control. Elaboración propia.



Esquema 22: Distribución U y V en forma de matriz en una superficie. (H) U y V uniformes; (I) U y V no uniformes. Elaboración propia

- (0) INTRODUCCION
- (1) DESARROLLO
- (2) EXPERIMENTACION
- (3) APLICACION
- (4) CONCLUSIONES
- (4,2) ANEXOS



Esquema 23: Proceso de diseño generativo . Hartmun Bohnhacker 2010.

{1;0;1;2} Lenguaje de programación Visual

El lenguaje de programación visual, más conocido por su nombre en inglés como Visual programming language (VPL), consiste en un lenguaje de programación¹ que permite a los usuarios crear programas manipulando los elementos que van componiendo en un programa a través de una interfaz gráfica, en vez de la manera tradicional de comandos de textos accionados de forma secuencial. Muchos VPLs están basados en la idea de cajas que son conectadas entre sí por medio de flechas que representan una relación o un flujo de información. También se les conoce como lenguaje basado en iconos, en formas o lenguaje de diagramas.

{1;0;1;2;0} Grasshopper 3D

Grasshopper es un lenguaje de programación visual desarrollado por David Rutten en Robert McNeel & Associates². Es utilizado principalmente para construir algoritmos generativos³. Funciona como un complemento en conjunto con Rhinoceros 3D⁴. Este complemento consiste en ir colocando **componentes** en un entorno vacío o canvas. Estos componentes pueden generar geometría, cálculos o textos e interactuar entre sí a través de entradas (input) y salidas (output) de datos. La manera en que se conectan las **entradas** y **salidas** es a través de nodos (node-based editor) que se unen con cables, de esta manera se establece un flujo de datos que va de componente en componente constituyendo el algoritmo generativo de modelación.

1 Lenguaje formal cuyos símbolos primitivos y reglas para unir esos símbolos están formalmente especificados. Se compone de un vocabulario y una gramática formal o sintaxis.

2 Tedeschi, Arturo (January 2011). "Entrevista a David Rutten". MixExperience Tools1 (in Italian - English) (Naples, Italy: MixExperience). pp. 28-29. Retrieved February - 8 - 2011.

3 Loomis, Mark (Dec 23, 2010). "About Generative Design platforms by Mark Loomis" (Blog). Designplaygrounds.

4 Es un programa CAD específica para el modelado en 3D de superficies de forma libre; saca provecho de las propiedades de las curvas NURBS para construir superficies complejas.

{1;0;2} Método de elementos finitos (FEM)

El método de elementos finitos es un análisis numérico para encontrar soluciones aproximadas a problemas con condiciones de borde para ecuaciones diferenciales. Utiliza métodos de cálculo de variaciones para minimizar el error y producir una solución estable. Funciona similar a como la conexión de muchas rectas pequeñas se van aproximando a un círculo. FEM, abarca todos los métodos para conectar muchas ecuaciones simples sobre pequeños dominios, llamados elementos finitos, para aproximarse a una ecuación más compleja sobre un dominio más grande.

Esta herramienta se utiliza para optimizar de manera dinámica el diseño, encontrando puntos críticos, reduciendo material, optimizando la capacidad y resistencia del material antes de que esté construido. Esto termina resultando en un gran aporte al desarrollo de los proyectos, pues permite realizar análisis y ensayos de manera virtual, sin tener que caer en errores o recurrir a altos gastos de fabricación de prototipos iniciales.

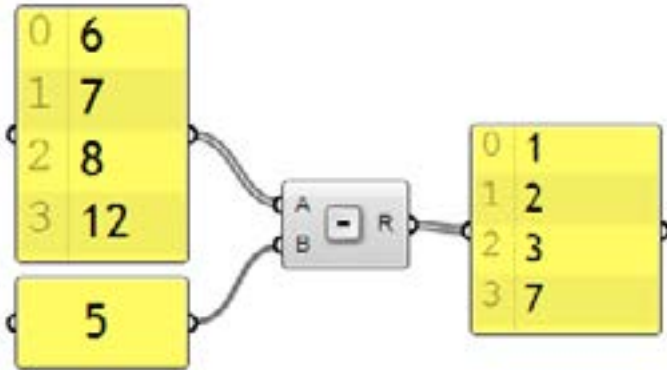
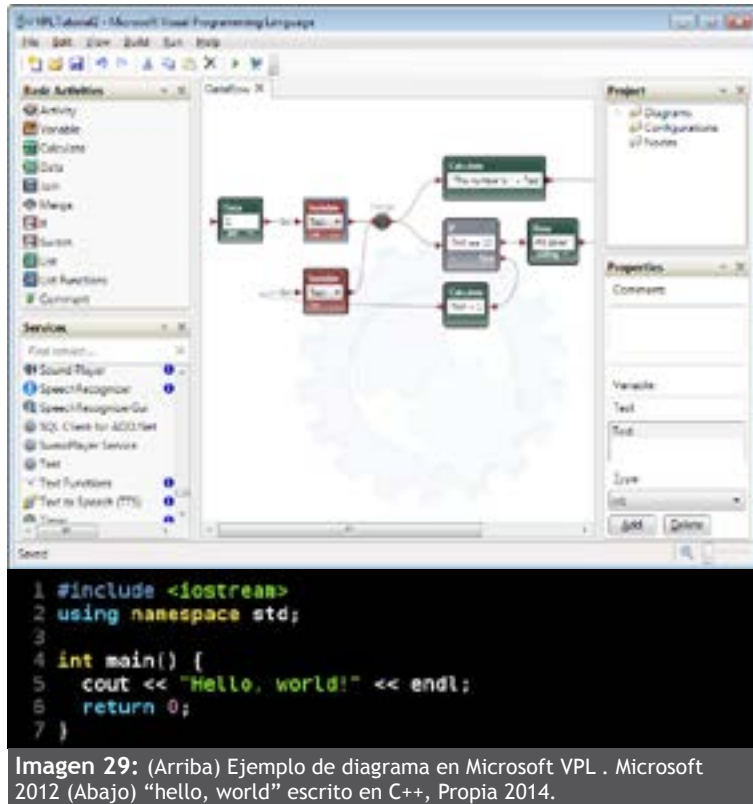


Imagen 30: Operación básica de resta creada con componentes en Grasshopper. David Rutten, 2010.

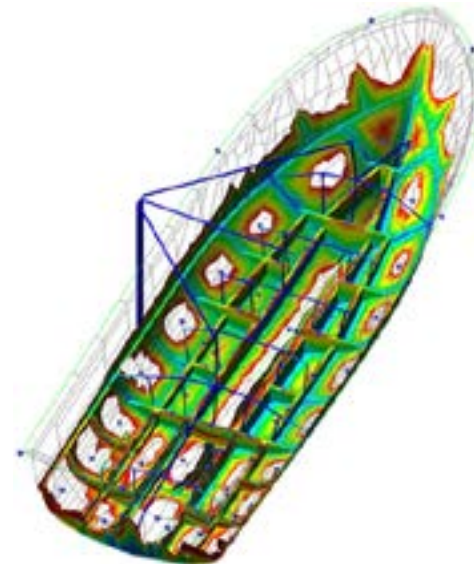


Imagen 31: Proceso de simulación de Infusión con bolsa de vacío en el casco de una embarcación con el software RTM-Worx. MathFem, 2013.

{1;0;3} Fabricación asistida por computadora (CAM)

Computer-aided manufacturing (CAM) es el programa puente de enlace entre CAD y el lenguaje de programación y control de las máquinas-herramientas¹ que se utilizan para la fabricación de partes y piezas. El objetivo principal del CAM es crear un proceso productivo más rápido además de, componentes y herramientas con dimensiones más precisas y mejor consistencia, que en ciertos casos se utiliza solo la cantidad necesaria de materia prima, reduciendo al mínimo los desechos y al mismo tiempo reduciendo la cantidad de recursos energéticos consumidos.

Tradicionalmente, CAM ha sido considerado como una herramienta de programación de control numérico (NC). Mediante el control numérico es posible automatizar las máquinas-herramientas, por una secuencia de comandos programables que están almacenados en un archivo digital, pudiendo realizar operaciones precisas con una intervención humana mínima. La mayoría del control numérico es computarizado (CNC) donde el computador cumple un rol fundamental en la comunicación del lenguaje de control numérico a la máquina-herramienta.

Las máquinas-herramientas CNC son capaces de leer e interpretar las operaciones descritas en estos archivos, que han sido generados a partir de un programa CAD/CAM que define los pasos u operaciones que debe realizar la máquina-herramienta de manera virtual, pudiendo estimar el tiempo necesario para realizar cada operación. Esta información se convierte en un archivo de control numérico que es interpretado por la máquina CNC, pudiendo realizar las operaciones de manera automática siendo asistido por un operador o supervisor del proceso de fabricación.

¹ Las máquinas-herramientas son máquinas estacionarias que se utilizan para dar forma a piezas sólidas mediante la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, estampado, corte o electroerosión.

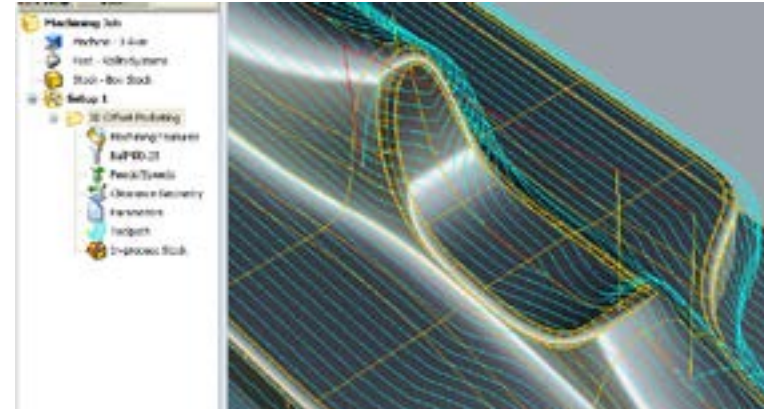


Imagen 32: Imagen de configuración de operaciones para el proceso de mecanizado en el programa RhinoCAM . Dobrzynski, 2013

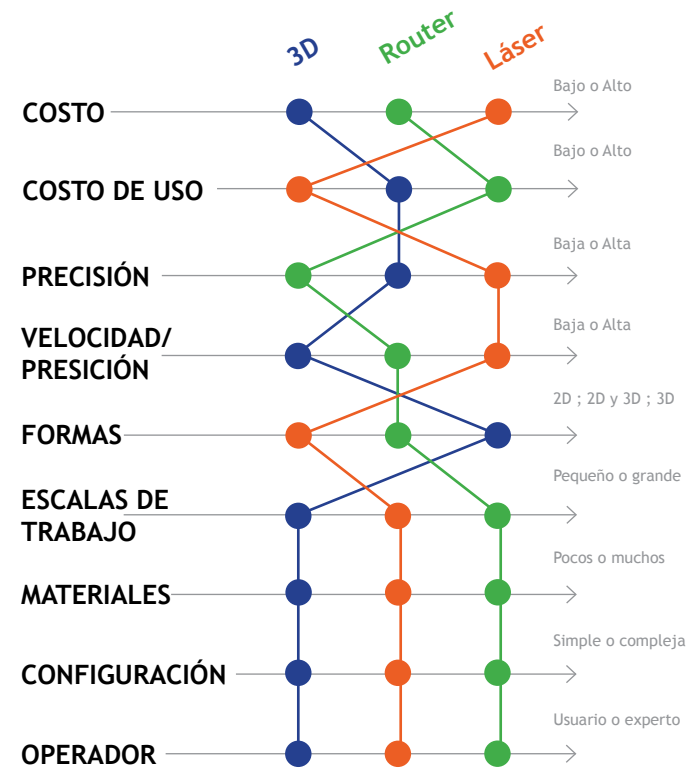


Tabla 6: Comparativa entre máquina-herramientas, Elaboración propia.

{1;0;4} Fabricación Digital

El modelado y fabricación digital es un proceso que une el diseño con la construcción y fabricación mediante el uso de programas CAD/CAM y procesos de adición o sustracción de material. Estas herramientas permiten producir materialidad digital, donde no solo representa visualmente el producto, sino que también lo evalúa, pone a prueba el funcionamiento del mismo y el proceso de fabricación, mediante el uso de programas especializados CAD/FEM/CAM. Permitiendo crear digitalmente el producto en su totalidad.

En el proceso de fabricación digital se utilizan maquinarias CNC específicas las cuales condicionan y limitan las capacidades y virtudes de los diseños, estableciendo parámetros específicos para el diseño, creando desafíos de diseños al tener que acomodar un diseño a las capacidades que tiene un proceso o maquinaria CNC específica. Esta capacidad de adaptación y de versatilidad del diseño es la característica de la fabricación digital.

{1;0;4;0} Máquinas-herramienta CNC

A continuación se describen las máquinas-herramientas CNC más comunes en los laboratorios y talleres presentes en Universidades, servicios y pequeñas empresas. Son elegidos, principalmente, por las instalaciones que necesitan, los costos asociados, los procesos que desarrollan, los materiales que son trabajables y la escala del resultado. Estos datos se resumen en la tabla n°6.

{1;0;4;0;0} Fresadora CNC (CNC Router)

Existen diversos tipos de fresadoras CNC, estas se identifican por la cantidad de ejes de desplazamiento que tiene la herramienta rotativa de desbaste, en este caso la fresa. Este desplazamiento puede ser en 2, 3, 4 o 5 ejes dentro de los más comunes¹, que la van dando mayor libertad a la fabricación de piezas, pero también complejiza los pasos para la programación de las operaciones de desbaste y la cantidad de cambios de herramientas necesarios para lograrlo. La fresadora CNC o router, puede trabajar con varios tipos de material; como metales, maderas, plásticos y espumas, ya sean planchas o bloques, siendo muy amplias las posibilidades de trabajos a realizar limitándose más que nada a las capacidades de trabajo de la máquina², como también a la complejidad de la forma que se está trabajando, que al igual que en otras máquinas CNC, es asistida por un programa CAD/CAM que transcribe las geometrías, sólidos, superficies, a un código que la maquinaria interpreta como movimientos que definen cada operación a realizar.



Imagen 33: Imagen de proceso de fresado en poliestireno expandido. MESA-studio 2010

1 Existen robots en procesos industrializados de hasta 9 ejes.

2 La cantidad de ejes para lo cual fue diseñada la máquina y el volumen de trabajo que puede manejar.

{1;0;4;0;1} Cortadora Láser

La cortadora láser es una máquina que utiliza un láser para cortar o grabar en materiales, en formato plancha, tales como madera, papel, cartón, acrílico, fieltro, como también metales. El cortador láser se utiliza en conjunto con un programa que interpreta los dibujos vectoriales realizados en cualquier programa de dibujo CAD y permite configurar que tipo de proceso se realizara para cada tipo de línea del dibujo digital. Donde es posible configurar la velocidad, la potencia y la resolución del láser, que harán la diferencia entre un corte o un grabado en la superficie del material.

Es utilizado en universidades y pequeñas empresas para realizar cortes, perforaciones y grabados muy precisos de gráficas, dibujos, planos, piezas y mecanismos, tanto simples como complejos, para prototipos de estudio. Tiene ventajas sobre una fresadora principalmente porque el láser no se desgasta como una herramienta de desbaste, el láser tiene un acabado más fino, puede realizar figuras y detalles muy pequeños, la configuración necesaria para cortar láser es más simple y deja menos residuos al no generar viruta.

{1;0;4;0;2} Impresora 3D

La impresión en 3D corresponde a cualquier tecnología en la que se construyan objetos a partir de un modelo 3D a través de procesos de adición de material, conocidas también como **fabricación por adición de material (AM)**¹. El proceso consiste en la superposición de capas finas de material formando escalones. Se utiliza principalmente para visualizar modelos a escala de diseños y prototipos CAD.

Existen numerosos métodos distintos en la Impresión 3D que se separan por la técnica con que se realiza el proceso que puede ser por: Extrusión, Hilado, Granulado, Laminado o Foto polimerización. Pudiendo trabajar tanto con termoplásticos como también con metales y sus aleaciones, polvos metálicos

y cerámicos, yeso, papeles y fotopolímeros. El material más común es termoplástico, PLA o ABS, que son preparados especialmente para utilizarse en impresión en 3D.



Imagen 34: Cortadora Láser cortando y grabando MDF de 3mm .
Elaboración. Propia 2013.



Imagen 35: (izq.) Impresora 3D MakerBot Replicator 2, MakerBot 2014 ;
(der.) Miniatura impresa en 3D. Caters News Agency, 2013.

¹ Excell, Jon. "The rise of additive manufacturing". The engineer. Retrieved 2013-10-30.

{1;0;4;1} Prototipado Rápido

El Prototipado rápido es un grupo de técnicas utilizadas para fabricar de manera veloz; modelos a escala, partes, componentes de ensambles utilizando programas y herramientas CAD/CAM.

En el principio el Prototipado rápido solo era referido a la tecnología de la impresión en 3d que en sus inicios se utilizaba como la única manera de producir solidos de forma libre¹. Luego con la evolución de la tecnología la impresión en 3d se convierte en otro proceso productivo más dentro de las opciones existentes en el mercado, volviendo cada día en una herramienta más común. La terminología de Prototipado rápido ha evolucionado con el paso del tiempo a algo mucho mayor y universal, más que referirse a una herramienta en particular entendiéndose hoy día como un concepto, una manera de desarrollar las ideas y los estudios y evaluación de prototipos, generando un estándar de pruebas, flujos de trabajo e información, en donde la retroalimentación de las pruebas cumple un rol fundamental en la evolución del proyecto, ya que va definiendo las modificaciones que son necesarias a los prototipos durante el proceso de diseño².

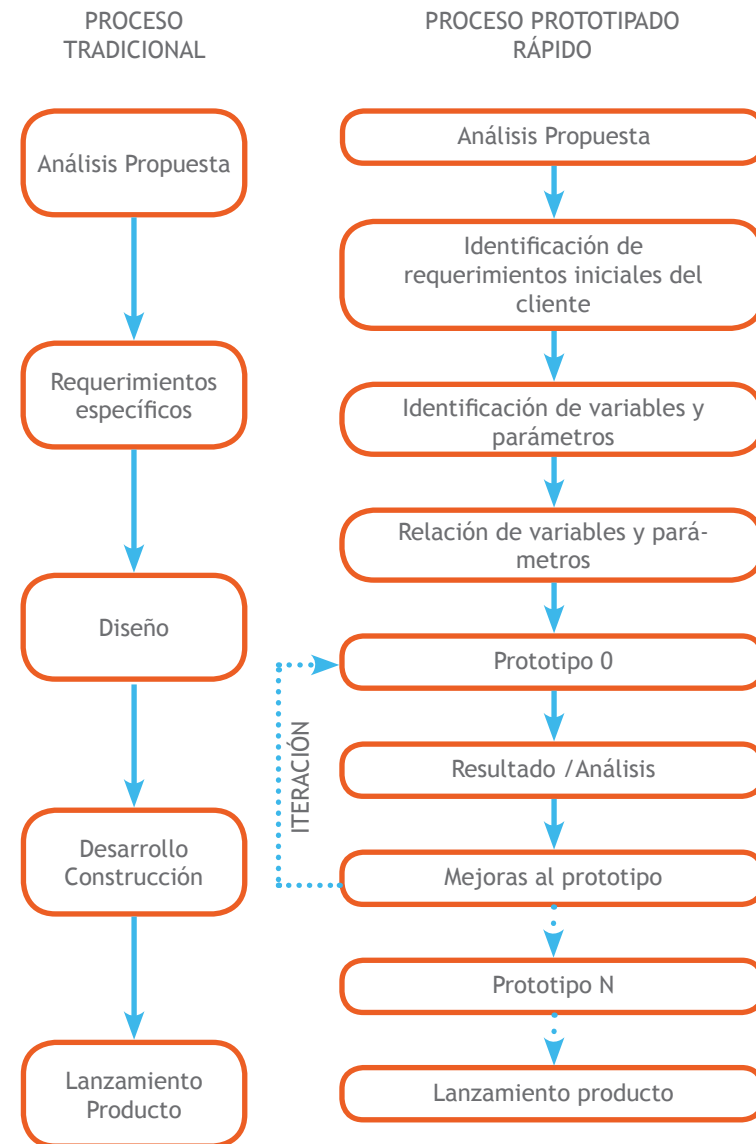
{1;0;4;1;0} Fabrication Laboratory (Fab Lab)

Un Laboratorio de Fabricación (Fab Lab) es un taller de baja escala productiva que ofrece servicio de fabricación digital³. Un Fab Lab usualmente está equipado con una serie de flexibles herramientas, de diferentes escalas productivas y materiales a trabajar, controladas por computadora, con la meta de poder hacer casi cualquier cosa. Esto incluye objetos y productos tecnológicos que generalmente son percibidas como solo pertenecen a la producción en masa de productos.

1 NSF JTEC/WTEC Panel Report-RPA http://www.wtec.org/pdf/rp_vi.pdf

2 Najjar, L. J. (1990). Rapid prototyping (TR 52.0020). Atlanta, GA: IBM Corporation.

3 Menichinelli, Massimo. "Business Models for Fab Labs".



Esquema 24: Proceso de Prototipado rápido, adaptado Lawrence J. Najjar, 1990.

El Fab Lab compite, en cierto modo, con la producción en masa que está asociadas a las economías de escala de productos ampliamente distribuidos en el mundo, a través del empoderamiento de las personas para el diseño y fabricación de dispositivos inteligentes que es posible desarrollar en estos laboratorios. Estos dispositivos creados en los Fab Lab tienen la capacidad de adaptarse a las necesidades locales y personales que no son prácticas de abordar económicamente mediante la producción en masa. Haciendo hincapié en la personalización en desmedro de la estandarización global de los productos y dispositivos que no siempre se logran adaptar a sus necesidades.

{1;0;4;1;1} Makerspace

Los MakerSpace⁴ son espacios-talleres operados en comunidades abiertas donde las personas con intereses comunes, generalmente en computación, tecnología, máquinas-herramientas, ciencias, arte, entre otros, se encuentran, socializan, comparten y colaboran conocimientos⁵. Incorporan elementos de talleres mecánicos, maestranzas y estudios donde los hackers y personas comparten sus conocimientos para fabricar y diseñar cosas.

Los Hackerspace al igual que el Fab Lab y otras iniciativas, comparten muchas herramientas con la Fabricación Digital y el Prototipado Rápido, convirtiendo a estos lugares en focos concentrados de iniciativas como DIY⁶ y el DIT⁷ que inspiran y permiten a diseñadores e innovadores a resolver los problemas juntos. Estos movimientos en busca de innovación abierta y el diseño de código abierto van a seguir creciendo, ya que ofrece la ventaja irresistible de tener muchas mentes trabajando en un solo problema a la vez⁸.

4 También conocidos como Hackerspace, hacklab o hackspace.

5 <http://www.lifehacker.com.au/2012/05/how-to-find-and-get-involved-with-a-hackerspace-in-your-community/>

6 Design it Yourself o Diseñalo tu mismo.

7 Design it Together diseñemos juntos.

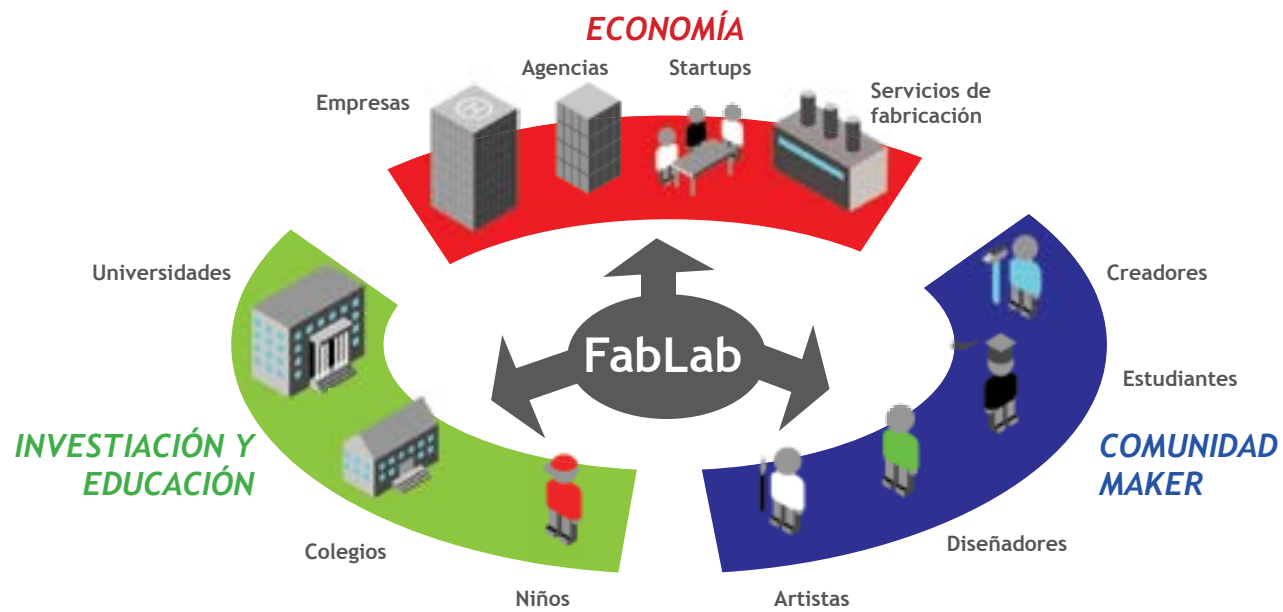
8 Autodesk. (2011). Imagine Design Create. New York: Melcher Media.

Existe un caso particular, llamado OpenDesk, que conjuga esta alianza entre diseñadores y estos espacios de fabricación, representada en una red global donde se da énfasis en un modelo de fabricación abierta y motivando la fabricación local. Donde los usuarios compran un diseño por internet y eligen el lugar donde desean que su producto se fabrique.

Además estos movimientos están acompañados de tendencias que hacen cambiar la visión de las personas de los productos, de lo que necesitan, y comienzan a valorar más las cosas producidas de manera local, y que se inclinan por productos que adquieren un grado mayor de exclusividad al ser su producción muy baja y donde generalmente se confeccionan a mano, y es este punto el que está asociado al movimiento de comercio justo (fair trade), que es promovido por organización no gubernamentales y es especialmente popular en el reino unido.



Imagen 36: Fab Lab Tulsa, Oklahoma . Becca 2013



Esquema 25: Ecosistema FabLab, adaptado Klein, 2013.



Imagen 37: Área común en Santiago Makerspace . StgoMakerSpace 2014

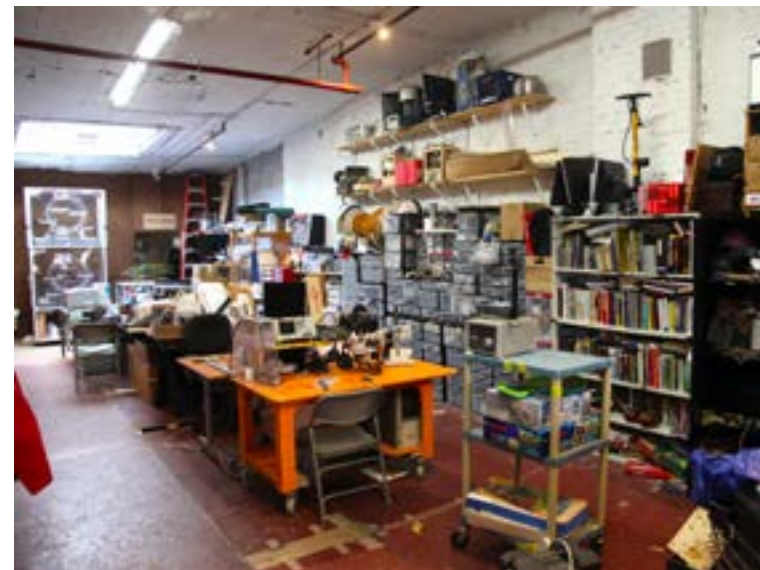


Imagen 38: Hackerspace NYC Resistors . Brewster 2014

{1;0;5} Conclusión

El Fab Lab y los Hackerspace tienen varios elementos en común, los cuales responden a los requerimientos y planteamientos metodológicos del Prototipado Rápido y la Fabricación Digital. La Fabricación digital determina las Maquinas herramientas básicas para el Prototipado, tanto digital como físico. El Prototipado rápido es la manera, proceso y metodología de diseño de los prototipos. Estos prototipos están limitados por la capacidad de trabajo, escala y costos asociados a estas máquinas herramienta. Constituyendo un límite finito de posibilidades, que obliga a diseñar de cierta forma. Estas limitaciones no reducen la cantidad de posibilidades que se puedan diseñar. Las máquinas herramientas trabajan con materias primas¹ laminares, que son cortadas y utilizadas sin mayores acabados superficiales.

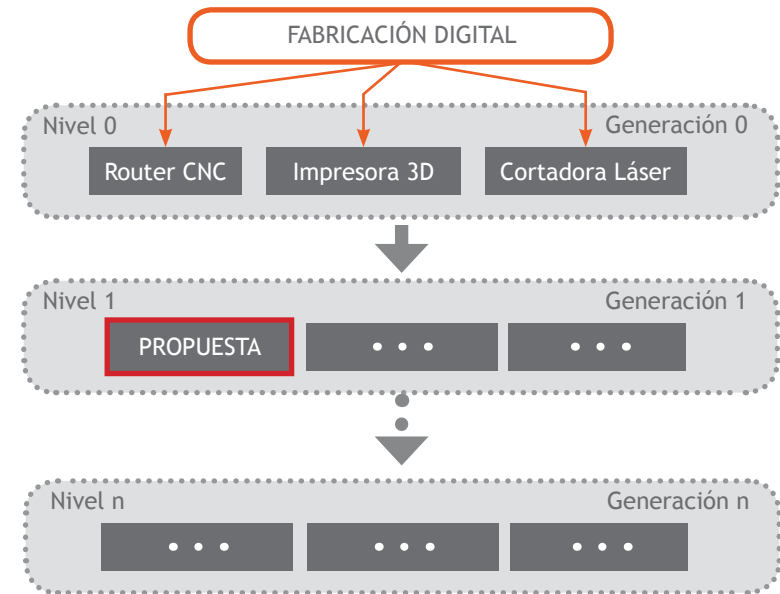
Las Maquinas herramienta presentes en estos talleres de creación y fabricación, ya son parte de las bases de fabricación actual, entonces, se podrían considerar como un primer nivel tecnológico de fabricación doméstica². La idea es proponer un proceso tecnológico basándose en los procesos existentes y combinándolo con otras tecnologías que están asociadas pero no necesariamente presentes, estableciendo los parámetros para la definición de los procesos del siguiente nivel.

Estos procesos tecnológicos del siguiente nivel, o mejor dicho, de siguiente generación que estarán presentes en este tipo de espacios y talleres, serán abstractas, maquinarias virtuales con complejos algoritmos que desarrollaran digitalmente y utilizando los procesos existentes como medios de representación material de los resultados.

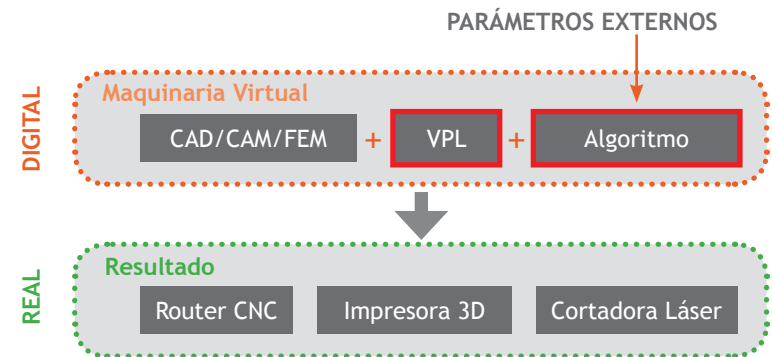
Los Makerspaces e iniciativas como OpenDesk establecen una nueva categoría de productos, donde no se busca imitar el acabado ni apariencia de los productos masivos,

¹ Entendiendo en este caso como materia prima al material en formatos simples y estándar, como un tablero o plancha.

² Entendiendo, en este caso, doméstico como un proceso de fabricación en el que no se requiera de instalaciones, maquinaria industrial ni cantidades mínimas para realizarse.



Esquema 26: Estructura de niveles propuesto, Elaboración propia.



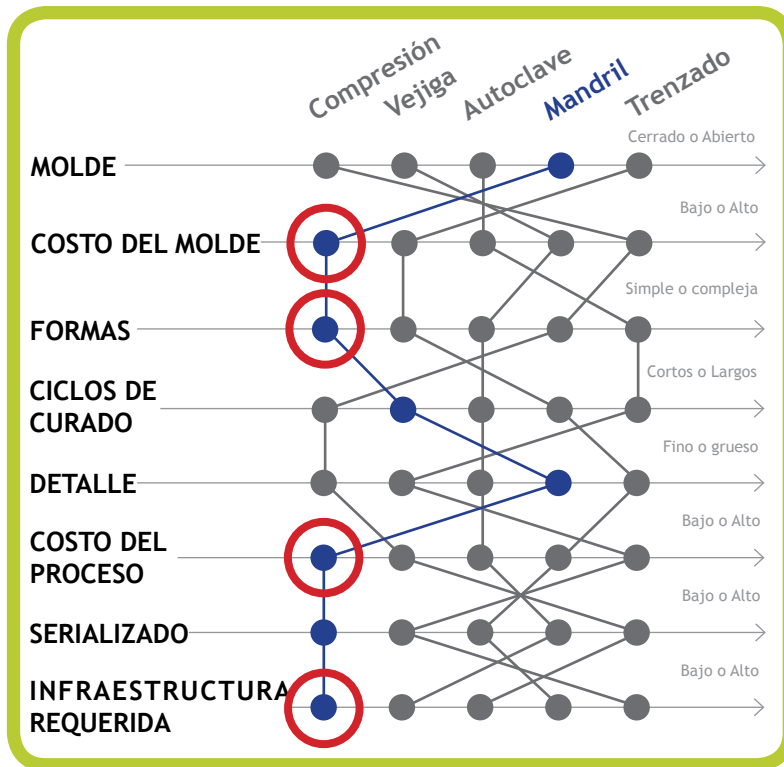
Esquema 27: Procesos tecnológicos de siguiente generación, Elaboración propia.

sino que es establecer una nueva línea de productos y en donde la utilización de estos procesos les da un valor agregado que el producto masivo no puede adquirir. Este valor, que arrastra este tipo de productos y prototipos desarrollados en estos espacios, conlleva y representa la esencia del proceso y de los espacios en que se genera, resultan ser estandartes de estas comunidades que buscan fomentar la personalización, la fabricación local, el comercio justo y el uso eficiente de los recursos. Movimientos sociales que nacen en respuesta a todo lo que las economías a gran escala representan. Y la idea de desarrollar un proceso tecnológico de la siguiente generación, debería considerar y

representar los mismos principios, tener una identidad propia, no imitar los procesos aplicados en productos masivos.

Las maquinas herramientas presentes en los espacios de fabricación digital serán la clave para el desarrollo del proceso de conformado. Teniendo en cuenta que cualquiera de los tres procesos estándar disponibles son apropiados, se dará prioridad al costo de uso, la velocidad de trabajo de la maquina en un formato de trabajo intermedio a una precisión alta, donde la configuración sea sencilla.

Prepeg Molding



Wet Molding

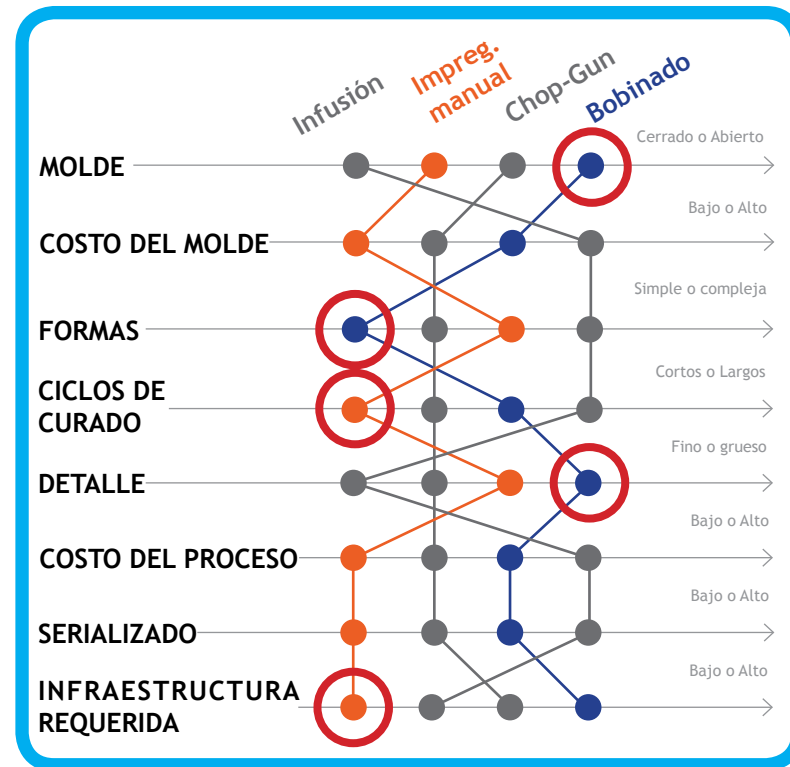


Tabla 7: Comparativa de procesos de conformado en seco y húmedos, caracterización del proceso, Elaboración propia.

A lo largo del capítulo se han descrito los elementos que van a configurar y determinar los elementos característicos del proceso tecnológico a desarrollar, mediante la creación de criterios de evaluación comparativo entre sus propiedades. Cada tema se discrimina con distintos criterios que van convirtiéndose en la caracterización del proyecto. Es necesario hacer un énfasis especial en la determinación de las características del proceso tecnológico a diseñar, en base a los procesos de conformado de los polímeros reforzados con fibra (FRP). Como se puede ver en el esquema siguiente, existen dos procesos que encajan dentro de las funciones y requerimientos deseables, generando el espacio que establece la oportunidad para lograr combinar ambas tecnologías mediante el uso de herramientas digitales y la programación visual.

Dentro de los lenguajes de programación visual se describe el uso de Grasshopper 3D porque es el único que permite trabajar directamente sobre geometría en 2D y 3D conocido y dominado, donde es posible desarrollar scripts³, al trabajar en conjunto con un programa de modelado NURBS, como es Rhinoceros 3D.

Teniendo la caracterización del proceso tecnológico, es posible generar el ADN del proyecto, constituido por cada uno de los genes que van aportando con una parte de la información necesaria para generar el proyecto, pudiéndose reemplazar, pero no omitir alguno de estos elementos, como se observa a continuación.

³ Pequeños segmentos de código que establecen un algoritmo; secuencias de operaciones para automatizar.

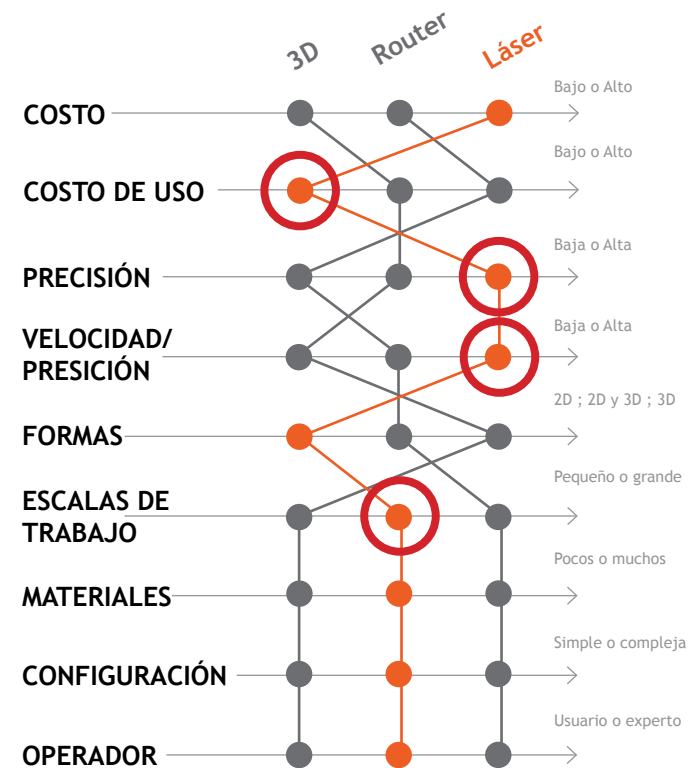
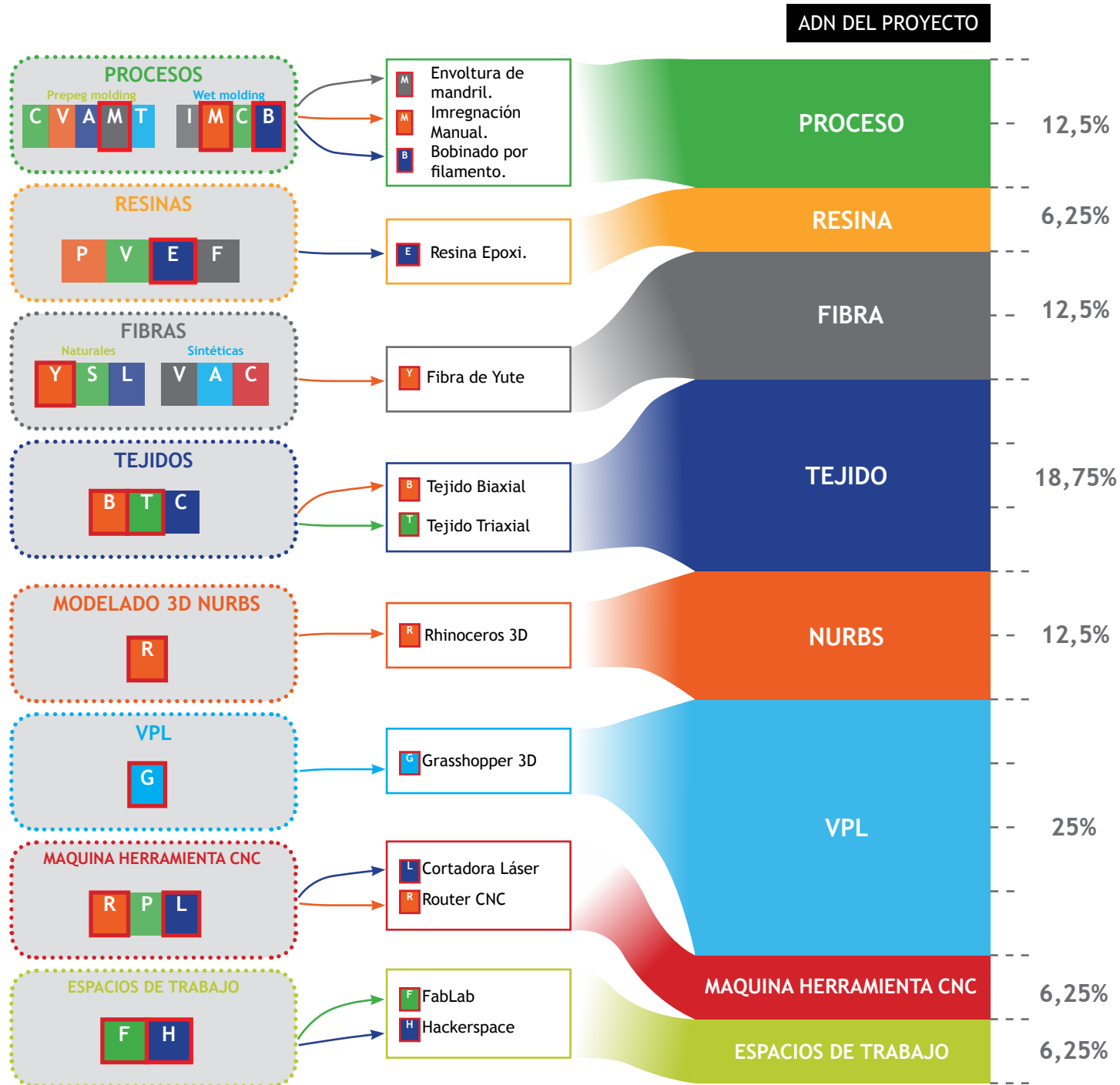


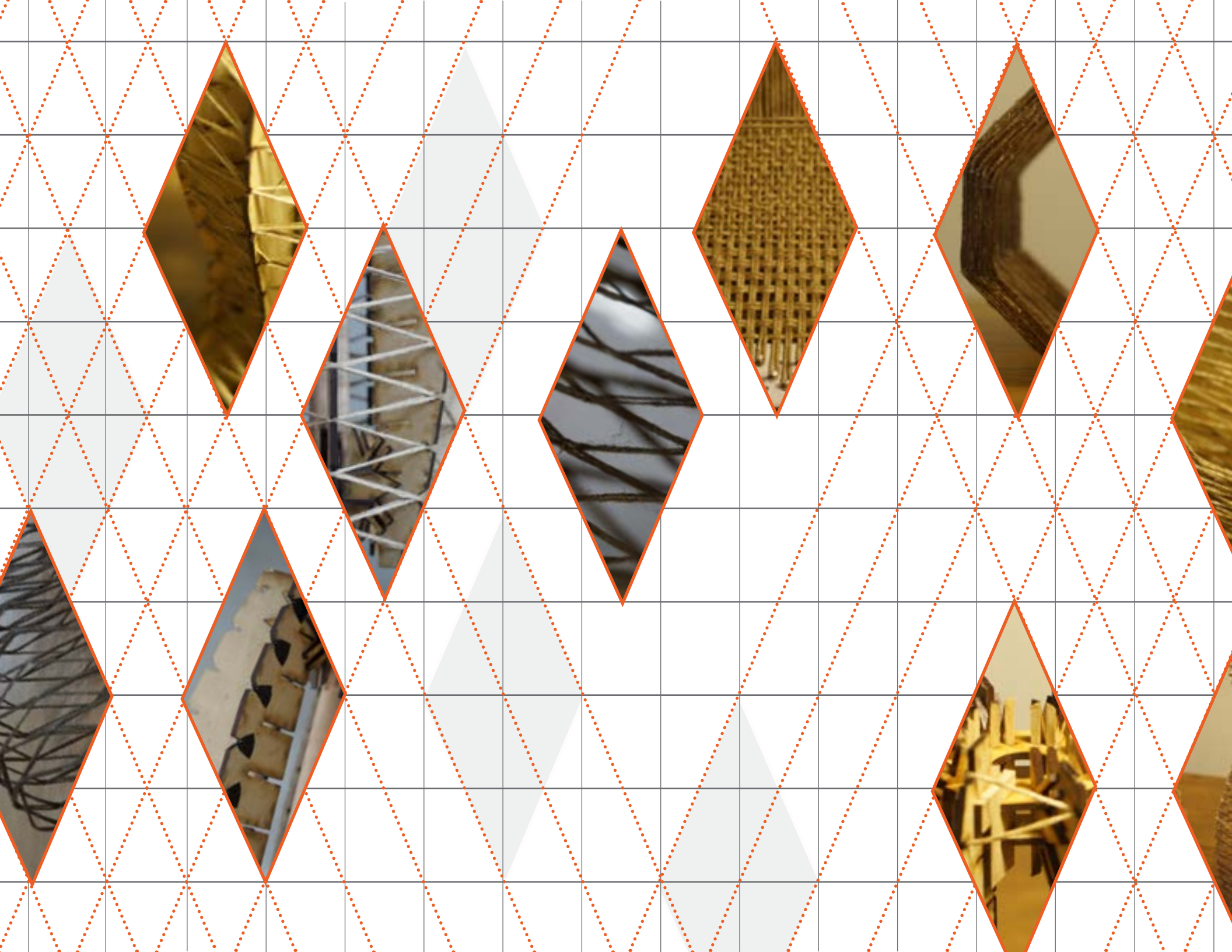
Tabla 8: Criterio de selección de proceso de fabricación digital a utilizar, Elaboración propia.

Esquema 28: (der.) Ponderación ADN del Proyecto, Elaboración propia.

POLÍMEROS REFORZADO CON FIBRA



- (0) INTRODUCCION
- (1) DESARROLLO
- (2) EXPERIMENTACION
- (3) APLICACION
- (4) CONCLUSIONES
- (4,2) ANEXOS





(2,0) EXPERIMENTACION

Identificados los parámetros que definen el proyecto es posible establecer los objetivos y variables de los prototipos de estudio. Estos prototipos nos permitirán establecer los alcances y posibilidades que se pueden lograr con esta tecnología.

El desarrollo de los prototipos se realiza en etapas de exploración analítica, en entornos virtuales, que permite evaluar y realizar cambios de manera rápida y precisa. Estos prototipos analíticos luego son validados mediante la construcción de prototipos físicos que evalúan la veracidad y posibles errores que son difíciles de detectar en el entorno virtual.

Durante la experimentación se mantiene el control de las variables, que se irán evaluando de manera específica con prototipos físicos y que irán definiendo los parámetros específicos del proceso que se está desarrollando. Esto permitirá tener el control en el peso, el costo, el patrón y la resistencia.

{2;0;0} Desarrollo del Proceso de Envoltura por filamento.

{2;0;0;0} Concepto

Establecido el ADN del proyecto es posible determinar la manera en que se desarrollaran los experimentos y la forma en que se ira adaptando a las mutaciones que generaran las evaluaciones de los prototipos.

Del estudio de los procesos de conformado, de manera conceptual, se define el proceso que se pretende desarrollar. Logrando establecer con claridad su eventual posición entre los demás procesos húmedos¹ (Wet molding) de conformado de polímeros reforzados con fibras existentes siendo posible determinar un nombre tentativo al proceso que se pretende desarrollar, que desde ahora lo llamaremos **Envoltura por filamento**, y en ingles **Filament Wrapping**.

El proceso en primera instancia se caracterizara por:

- Molde o soporte abierto, por ser más fáciles de trabajar, de formas simples y que no generen espacios intrincados que puedan generar problemas de atrapamiento o lugares difíciles de alcanzar que terminen desviando la atención en el desarrollo del proceso.
- Utilizando un proceso y materiales de bajo costo como la cortadora láser y MDF². Teniendo por consecuencia un molde o soporte o mandril de bajo costo.
- El nivel de reutilización del soporte o molde, en principio

¹ Esto es debido a que los procesos Pre-preg, utilizan fibras pre-impregnadas con una resina epoxi especial, que solo necesita de un proceso de curado específico para endurecer. El dominio del proceso de pre impregnado de fibras con este tipo de resinas podría tomar otra investigación.

² También conocido como Trupan, es un material a base de madera de mediana densidad, de bajo costo, que se venden en formato de tableros de variados espesores, fácil de trabajar herramientas.

Wet Molding

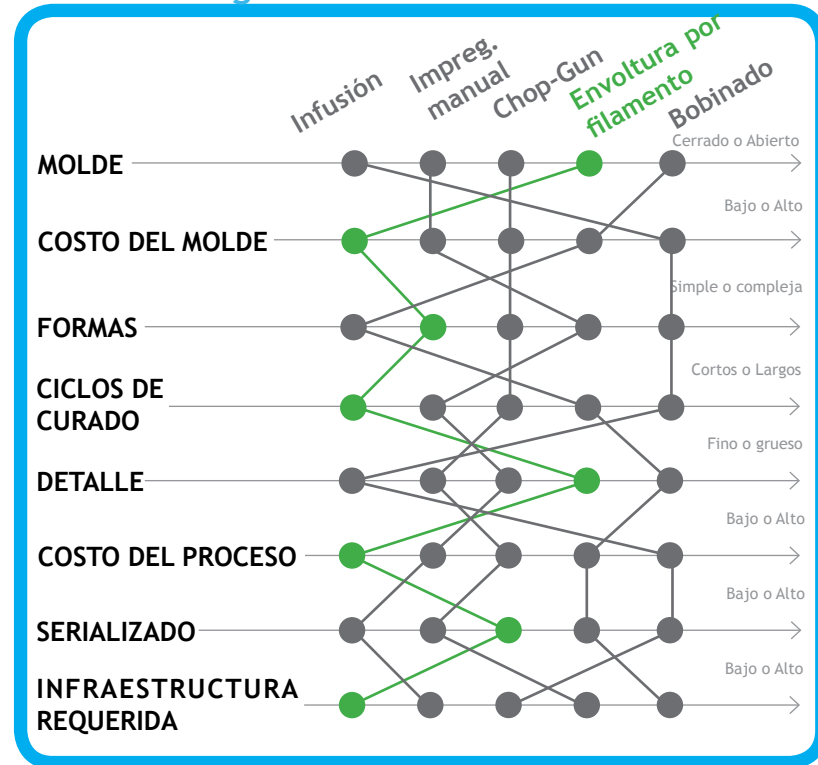
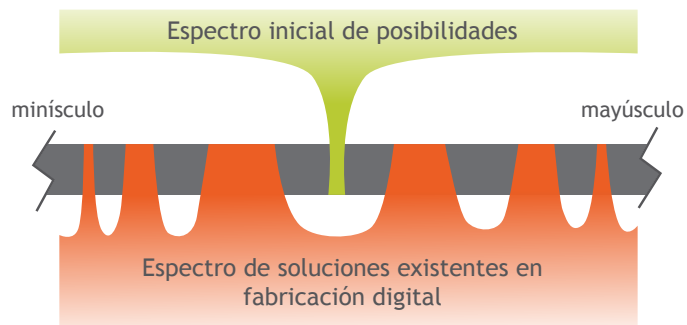


Tabla 9: Ubicación del proceso propuesto, Elaboración propia.

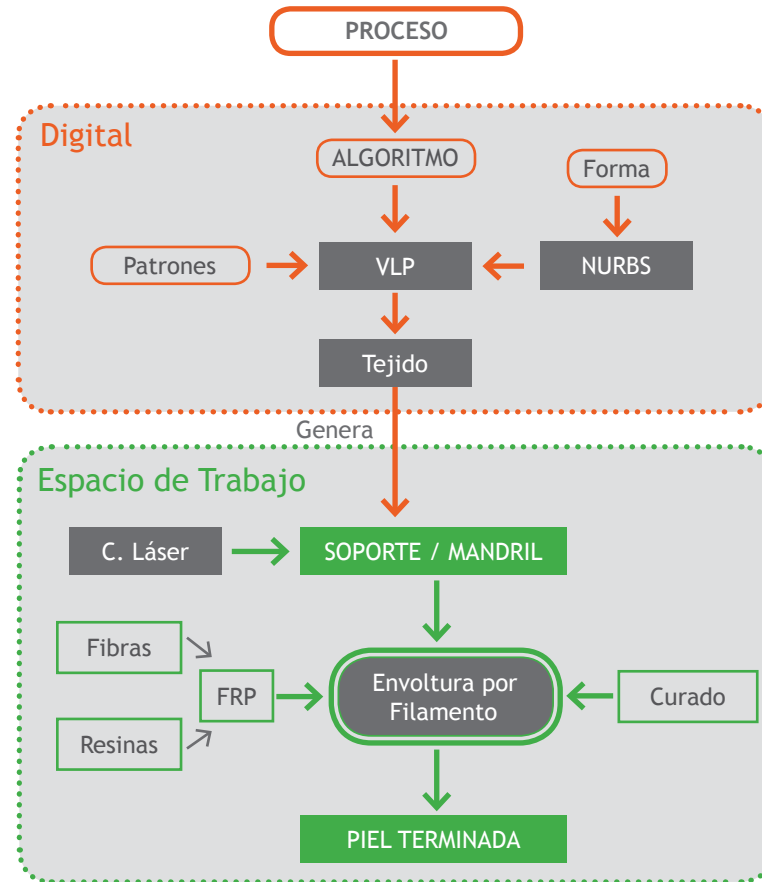
no es determinante para el funcionamiento del proceso, pero se espera que en el mejor de los casos, la cantidad de veces que pueda ser reutilizado solo dependa de la propiedad del material utilizado y que no se degrade producto del proceso en sí.

Al estar pensando la utilización de este nuevo proceso en Universidades, Hackerspace o Fal lab, y al estar basado en las herramientas CNC propias de la fabricación digital, la capacidad de serializar³ de esta nueva tecnología no se espera que supere a la de las herramientas y procesos ya existentes en estos espacios. Este ámbito se corresponde con la tendencia que estos espacios generan y proponen, y por lo mismo que han ido en crecimiento y mayor reconocimiento en la sociedad.



Esquema 29: Conceptual, Espectro inicial de posibilidades, Elaboración propia.

³ La capacidad del proceso o herramienta de generar una producción en serie, que genere repeticiones del objeto que se esté fabricando en ciclos cortos de tiempo es cantidades.



Esquema 30: General del Proceso de envoltura por filamento, Elaboración propia.

{2;0;0;1} Objetivos

OBJTIVO PRINCIPAL:

Desarrollar el proceso de conformado de Envoltura por filamento (filament wrapping).
Que consiste en dos objetivos generales:

Objetivo General:

Determinar los recursos y herramientas del proceso de envoltura por filamento:

Objetivos Específicos:

1. Determinar cuál es el proceso de conformado de FRP que será la base de esta nueva tecnología.

Actividad: Análisis de los procesos de conformación en plásticos reforzados con fibra existentes.

Resultado: Tabla comparativa de procesos de conformado y ubicación del proceso en la tabla.

2. Relación del proceso con las herramientas de fabricación digital presentes en los FabLab y Hackerspace.

Actividad: Análisis de las herramientas presentes en estos espacios.

Resultado: Tabla comparativa de procesos de fabricación digital.

3. Determinar las herramientas y recursos digitales necesarios

Actividad: Análisis de las herramientas digitales CAD, modelado 3D y algoritmos de generación.

Resultado: Criterio de selección y descripción de las herramientas.

4. Determinar los filamentos que son posibles de utilizar en el proceso de envoltura por filamento.

Actividad: Estudio de hilos, cordeles y cuerdas disponibles en el mercado. Ensayos mecánicos a alguno de los filamentos.

Resultado: Tabla comparativa de características, propiedades mecánicas y costos.

Resultado General:

Esquema comparativo de los recursos del proceso de envoltura por filamento.

Objetivo General:

Construcción del mandril para el proceso de Envoltura por filamento.

Objetivos Específicos:

1. Definición del algoritmo de generación de las guías del filamento.

Actividad: Determinación de las variables y los parámetros de guías de filamento.

Resultado: Prototipos digitales basados en algoritmo de definición de tejido del filamento y forma de mandril.

2. Fabricación digital del mandril colapsable.

Actividad: Determinación de parámetros y variables de fabricación del mandril.

Resultado: Definición paramétrica del mandril y archivos para corte láser.

3. Determinar los tipos de tejidos posibles y la manera en que serán ingresados al proceso.

Actividad: Estudio de tipos de tejidos existentes.

Resultado: Documentación.

Actividad: Determinación de un soporte para crear tejidos.

Resultado: Soporte digital para el dibujo de patrones que forman los tejidos.

Resultado General:

Mandril colapsable y su modo de uso.

{2;0;1} Descripción del proceso experimental

El proceso experimental consiste en el proceso de evolución de los prototipos¹ que conforman el proceso de Evoltura por filamento. Estos prototipos se diferencian por la manera en que se generan y lo que se pretende evaluar. Estos prototipos se ordenan por dos tipologías²:

- **Por tangibilidad:** Analítico o Físico
- **Por Especificidad:** Enfocado o Integral

Los prototipos analíticos, que generalmente son digitales, son más flexibles que los físicos puesto que permiten realizar cambios sin mayores problemas. Pero los prototipos físicos son los únicos que permiten descubrir comportamientos no deseados ocultos.

Los prototipos, además de cumplir su propósito principal de validar el diseño, pueden tener una serie de finalidades alternativas, complementarias y paralelas. Entre estas funciones adicionales se describen las principales a continuación.

¹ Entendiendo prototipo como una aproximación a una o más dimensiones del producto final.

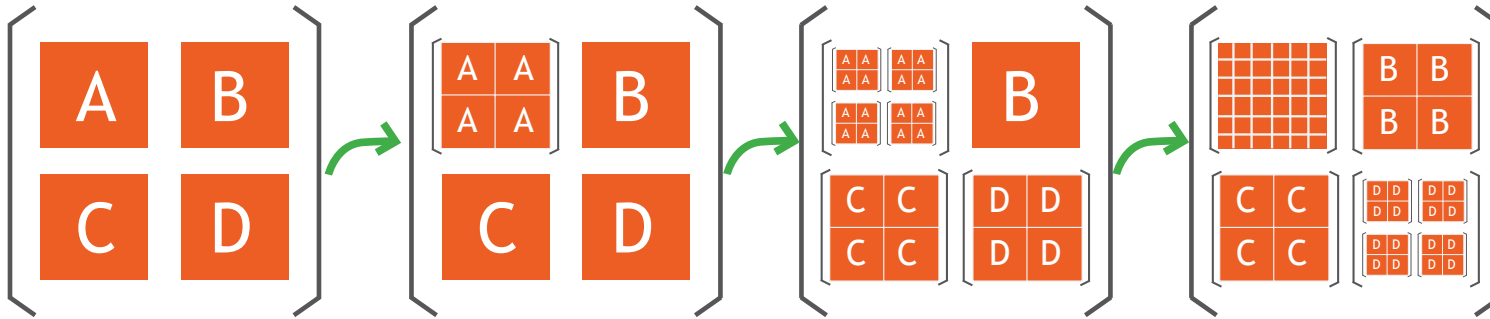
² Enfoque de (Ulrich & Eppinger, 1995)

APRENDIZAJE	Generalmente son prototipos enfocados ya que prueban funciones específicas sobre las que se necesita mayor conocimiento y control.
COMUNICACIÓN	Permite un mejor entendimiento entre diseñadores y los otros equipos de desarrollo. Generalmente son prototipos físicos que ayuden a ver y sentir el producto.
INTEGRACIÓN	Buscan probar el funcionamiento conjunto de los componentes de un producto.
VERIFICACIÓN	Buscan comprobar si el producto ha alcanzado en nivel deseado de funcionalidad.

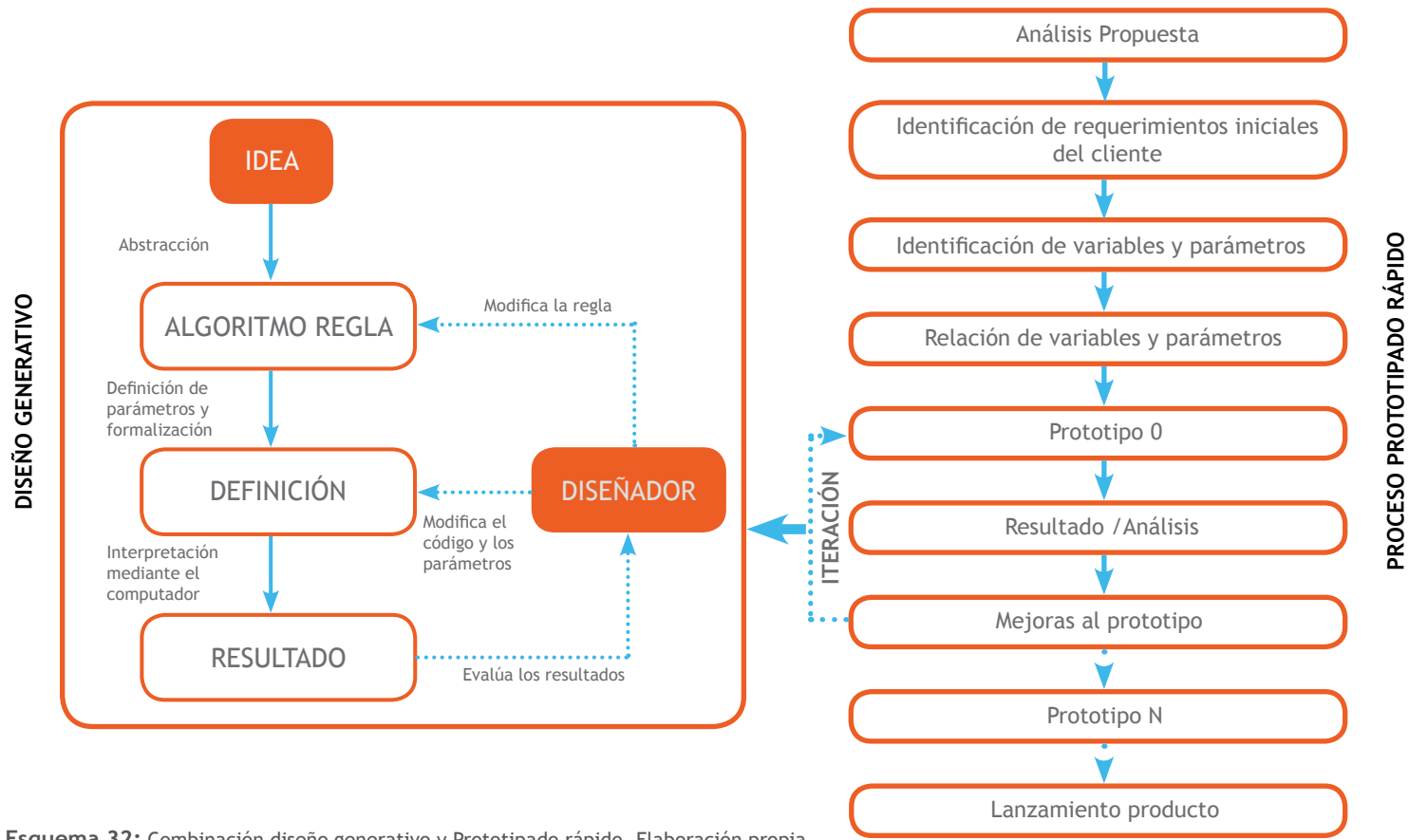
En el desarrollo del proceso experimental también está la construcción de los algoritmos, mediante el lenguaje de programación visual, que utiliza un método específico de generación que responde a las variables de entorno y capacidades del entorno digital. Esta manera de trabajar se puede expresar como la profundización de una matriz básica, con elementos finitos, que a medida que el trabajo avanza, se va complejizando y cada parte que se va refinando por la evaluación del Prototipado. Cada uno de estos elementos que antes eran simple, ahora cada uno representa una matriz con mayor cantidad de variables y parámetros que los definen.

	Aprendizaje	Comunicación	Integración	Verificación
Analítico enfocado	●	○	○	○
Físico enfocado	●	●	○	○
Físico integral	●	●	●	●

Tabla 10: Los propósitos del proceso de Prototipado, Elaboración propia.



Esquema 31: Matriz dentro de matriz, Elaboración propia.



Esquema 32: Combinación diseño generativo y Prototipado rápido, Elaboración propia.

{2;0;1;0} Referentes

Se realiza un estudio de referentes para tener una base de lo que se ha hecho y se está haciendo hoy en día en ámbito de los polímeros reforzados con fibra, principalmente relacionado con el filament winding y el mandrel wrapping, que son conceptualmente la base del proceso a desarrollar.

De qué manera estos referentes pueden influir en la toma de decisiones en el proceso de Prototipado, y hasta definir el proceso de conformado en sí.

{2;0;1;0;0} Envoltura de mandril (mandrel wrapping)

Se reconocen ejemplos no industrializados de este proceso.



Imagen 39: Proceso de mandrel wrapping + infusión para la fabricación de altavoces exclusivos. (Smoothy Ltd, 2011)



Imagen 41: Research pavilion, Trabajo en conjunto de Institute for Computational Design (ICD) y el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). (ICD & ITKE, 2013)

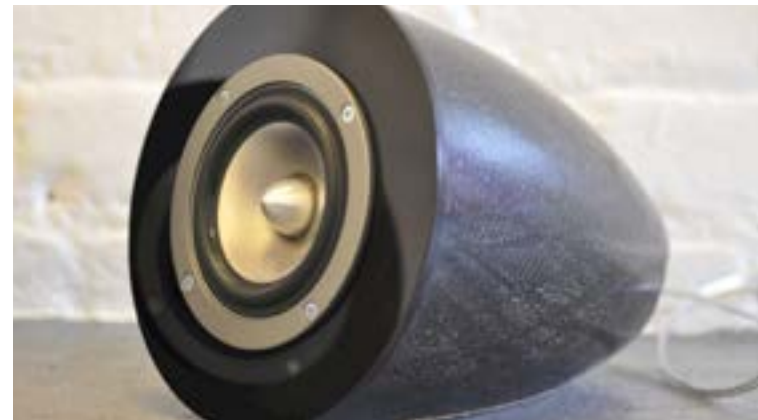


Imagen 40: Altavoces de diseño exclusivo. (Smoothy Ltd, 2011)

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

{2;0;1;0;1} Bobinado por filamento (filament winding)



Imagen 42: Taburetes con diferentes patrones de bobinados en fibra de carbono. (Moorhead & Moorhead, 2011).



Imagen 43: Taburete en fibra de carbono. (Moorhead & Moorhead, 2011).

{2;0;1;0;2} Estructuras reticuladas (open-lattice structures)

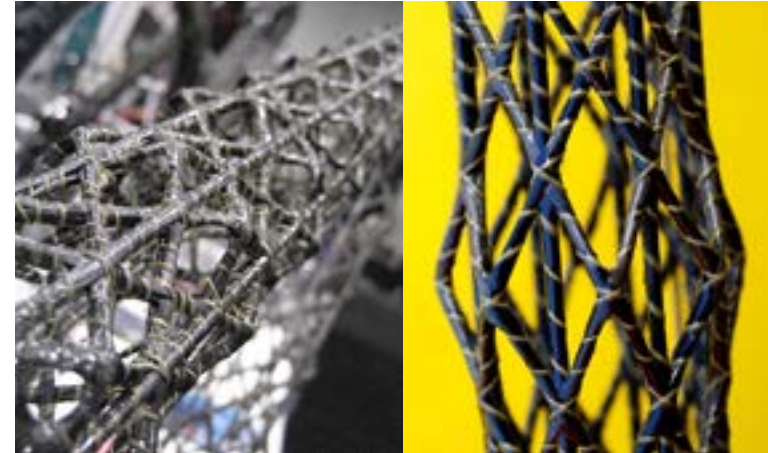


Imagen 44: La tecnología IsoTruss da soluciones estructurales que son superiores en peso, resistencia y son más eficiente que los compuestos tradicionales de plásticos reforzados con fibra, metales, o madera. (IsoTruss 2013)



Imagen 45: Componente aeroespacial ultraligero con estructura reticulada, Fraunhofer ILT, 2011

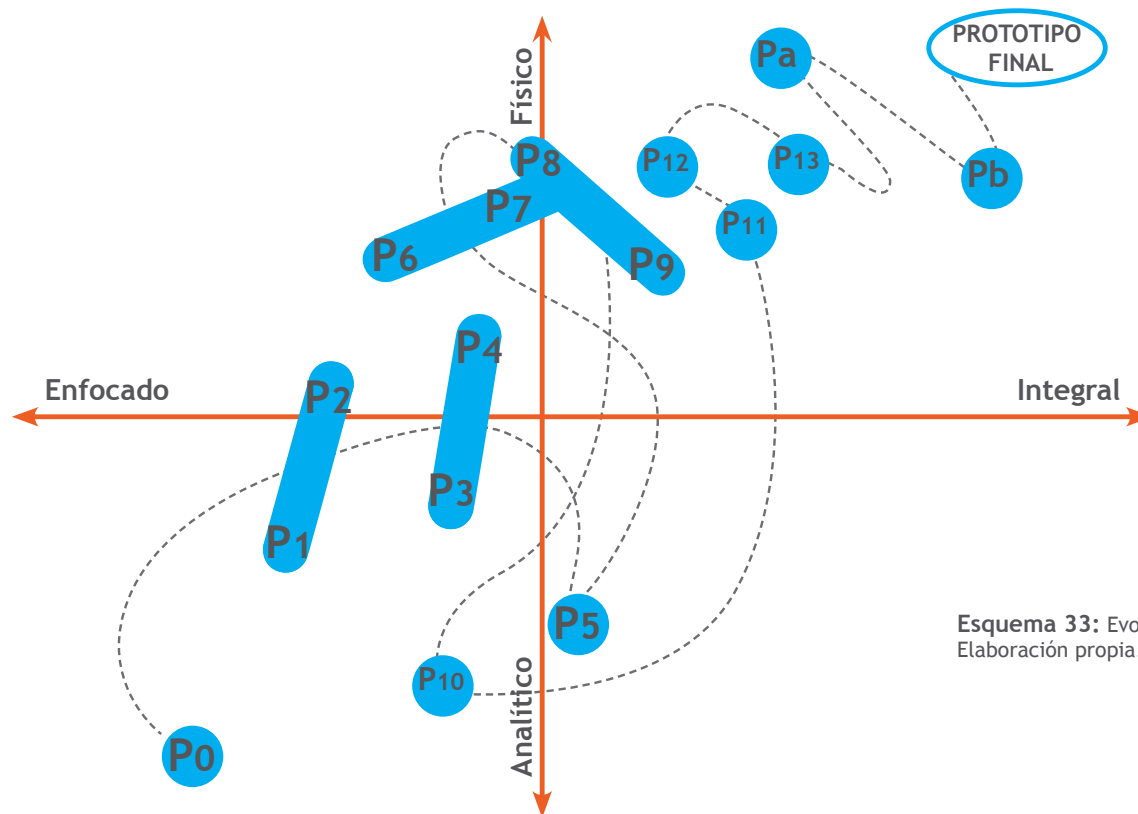
{2;0;2} Prototipado

El tiempo para el desarrollo de la etapa de Prototipado es reducido, por lo que es necesario hacer ciclos cortos de parametrización y pruebas, para poder obtener la mayor cantidad de información y resultados concluyentes de cada evaluación.

Teniendo en cuenta todas las variables involucradas en el proceso, se entiende que por más eficiente que se realice la experimentación, no podrá desarrollarse el proceso final durante el tiempo correspondiente a esta investigación, pero se espera llegar a un prototipo con un grado importante de integración, dejando las bases para la profundización posterior en el desarrollo final del proceso.

Durante la experimentación se realizaron nueve prototipos, considerando también las aplicaciones finales de diseño como partes del proceso de Prototipado puesto que cada una de estas aplicaciones corresponde a un desafío nuevo e inexplorado en el desarrollo del proceso, tratando de establecer y de recopilar la mayor cantidad de información de los prototipos.

Es necesario declarar que hay ciertas variables que se van dejando fijas en la medida que van funcionando para simplificar el problema global e ir enfocándose en problemas más específicos y relevantes al funcionamiento y el desempeño del proceso. Estas variables serán nombradas en la medida que se van resolviendo.



Esquema 33: Evolución de Prototipado, Elaboración propia.

PROTOTIPO 00

TIPO

A	F
E	I

PROPÓSITO

A	C
I	V

MANDRIL DENTADO

62

DESCRIPCIÓN

Primera aproximación rápida al concepto desarrollado en la primera parte del documento. Se basa en el desarrollo de un mandril cilíndrico, al cual se le hacen ranuras o dientes que servirán de soporte para el filamento. Esto es para evitar que el filamento se deslice y adopte un camino irregular. La regularidad nos asegurará que las propiedades de la figura construida sean uniformes y que el proceso, como prototipo de estudio, sea repetible.

A EVALUAR

La factibilidad de utilizar ranuras o muescas dentadas para guiar el filamento.

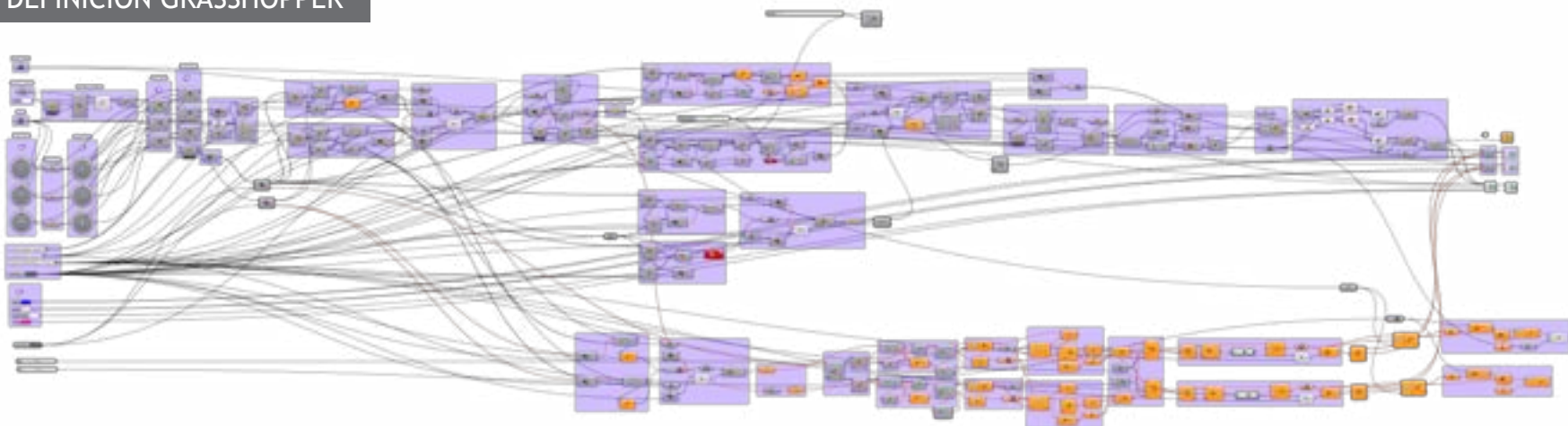
VARIABLES

- Rotación del volumen (cilindro).
- Rotación del bounding box (líneas negras).
- Espesor del material (línea azul).
- Espesor del filamento (línea verde).
- Dimensión del eje (gris).

CONSTANTES

- Volumen original (cilindro).

DEFINICIÓN GRASSHOPPER



FUNCIONAMIENTO

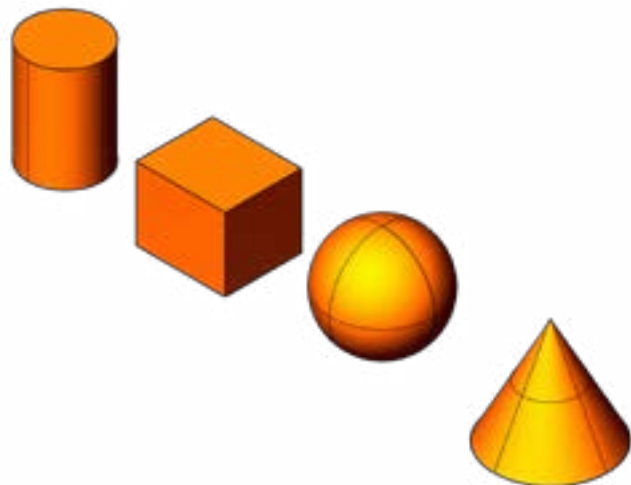


Imagen 46: Se parte de volúmenes geométricos básicos para el primer estudio, A. Vidal, 2014

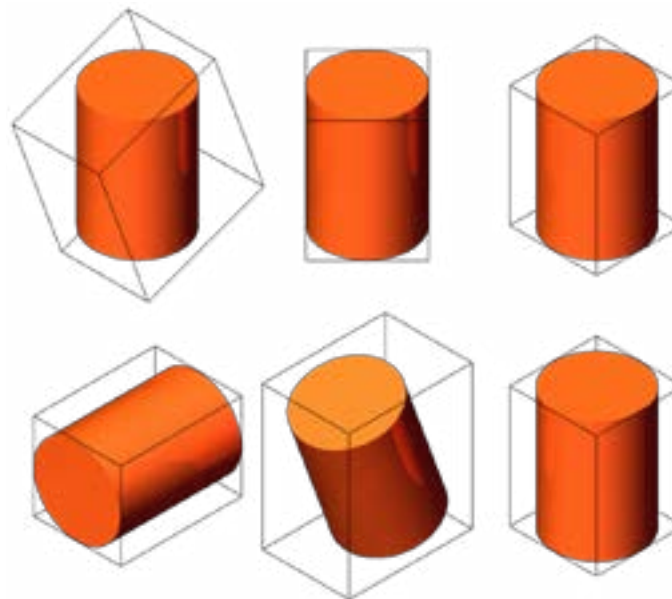


Imagen 47: Se puede manipular tanto la caja que orienta las ranuras como el volumen geométrico, A. Vidal, 2014

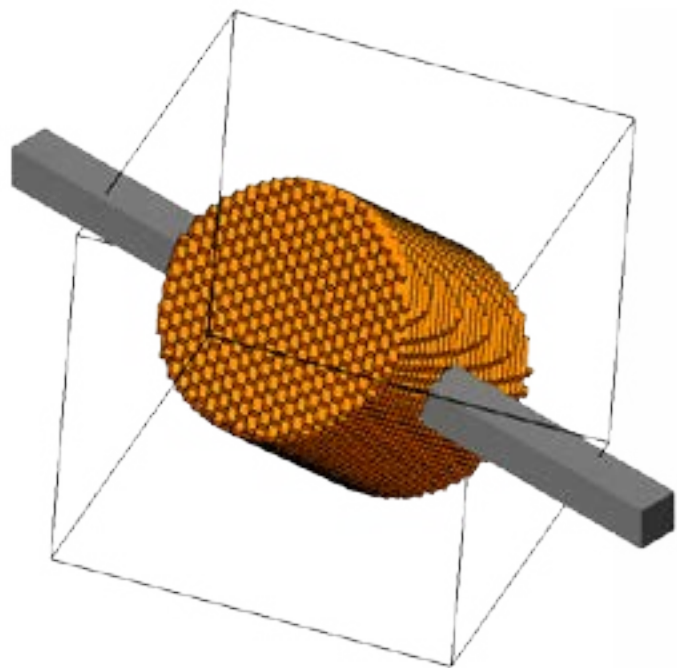


Imagen 48b: Mandril dentado con un eje cuadrado, A. Vidal, 2014

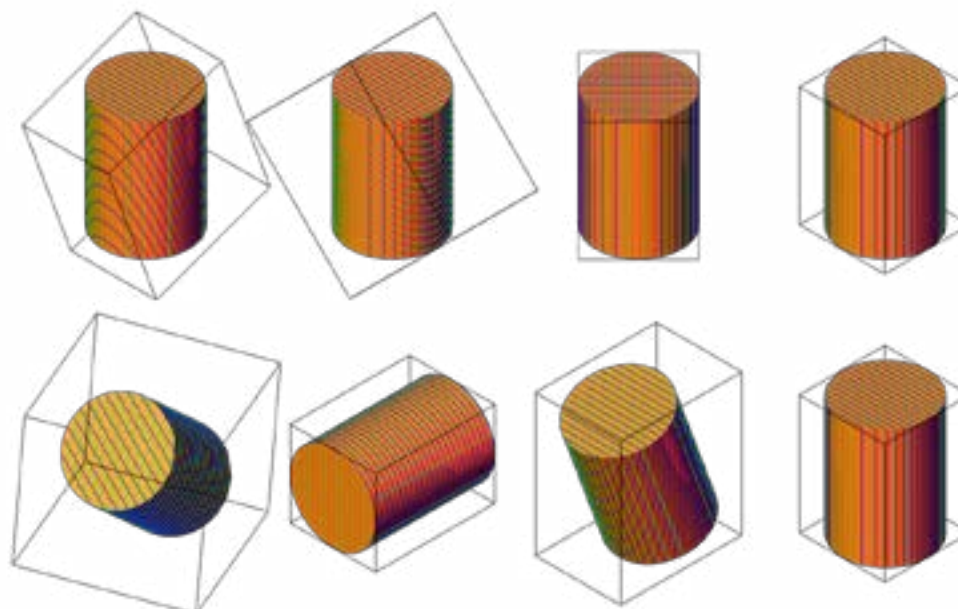


Imagen 49: Líneas de proyección de los cortes que generarán las ranuras en el volumen, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4.2} ANEXOS

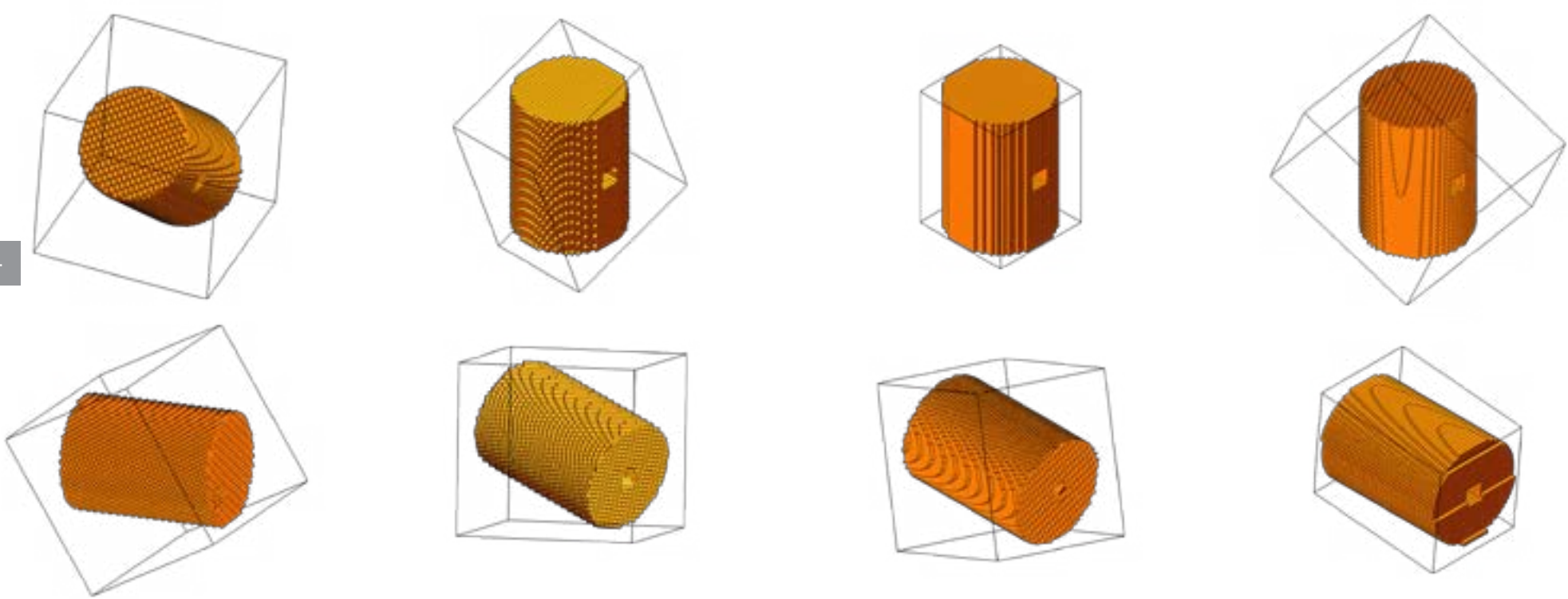


Imagen 50: Figuras que construyen el mandril dentado, A. Vidal, 2014

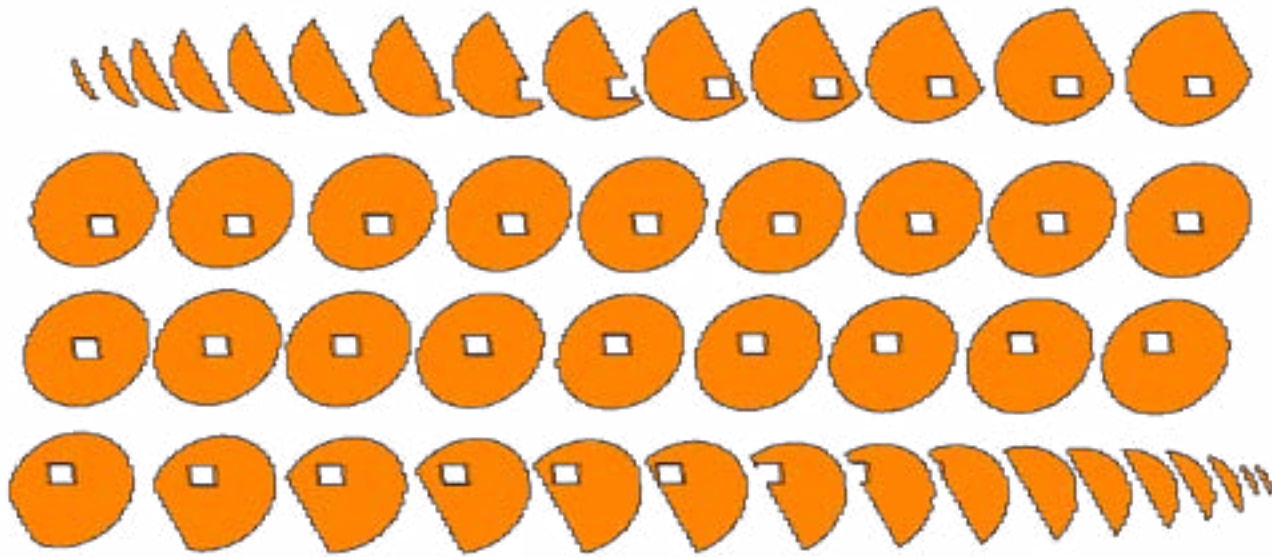


Imagen 51: Figuras que construyen el mandril dentado, A. Vidal, 2014

Mediante la observación se logra determinar que

- El mandril dentado es capaz de soportar y guiar el filamento, pero no puede generar una guía de avance regular para envolver el mandril de manera ordenada.
- El mandril quedaría atrapado al terminar de envolver con el filamento, y por la misma propiedad que permite fijar los filamentos al mandril, estos no permite que la figura pueda deslizar, en caso de quedar abierto por un extremo.
- Las ranuras son del tamaño del filamento, eventualmente si se deseara pasar dos veces por el mismo lugar ya no habría soporte guía para el filamento.
- Al aumentar el espesor del filamento empeora el nivel de aproximación del mandril al volumen original.

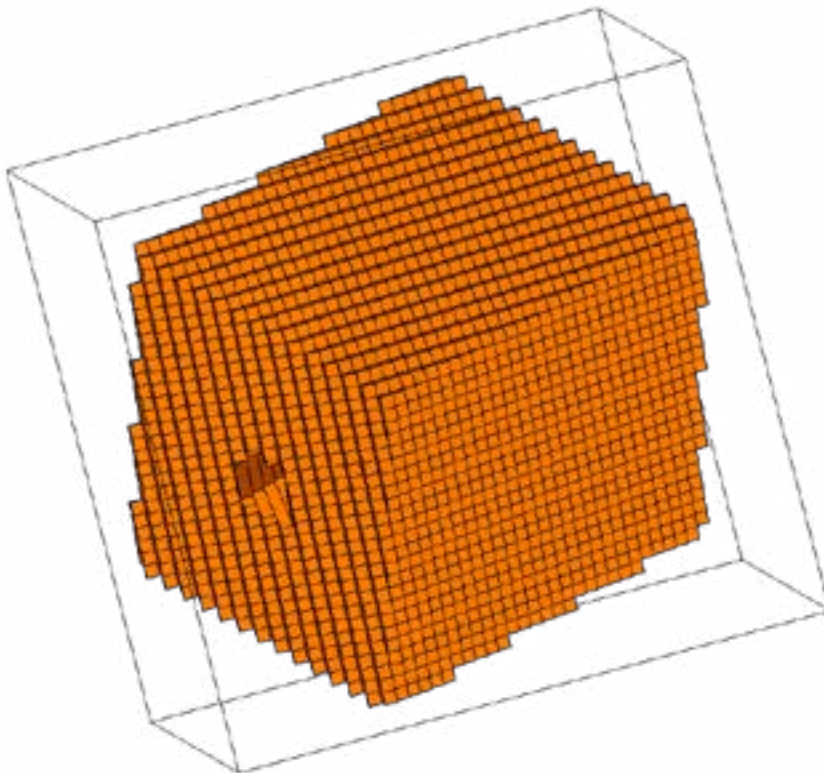


Imagen 52: Aproximación a una caja, A. Vidal, 2014

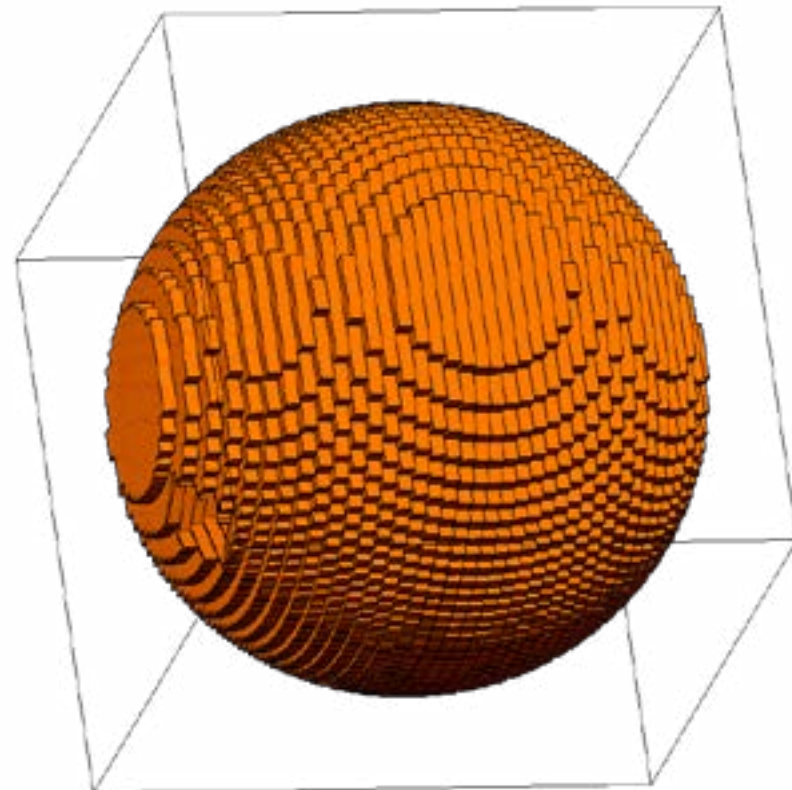


Imagen 53: Aproximación a una esfera, A. Vidal, 2014

PROTOTIPO 01

TIPO

A	F
E	I

"FLOREDO"
EJE RECTO DE
REVOLUCION

PROPÓSITO

A	C
I	V

66

DESCRIPCIÓN

- La primera aproximación a un mandril colapsable que consiste en una superficie de revolución, generada por una curva B-spline, en torno a un eje recto.
- En base al análisis del prototipo anterior se implementa una definición que considera el avance que tiene que realizar el filamento al copiar la superficie.

VARIABLES

- Grado (patrón)
- Calidad (patrón)
- Factor (patrón)
- Espesor de costilla
- Espesor de filamento

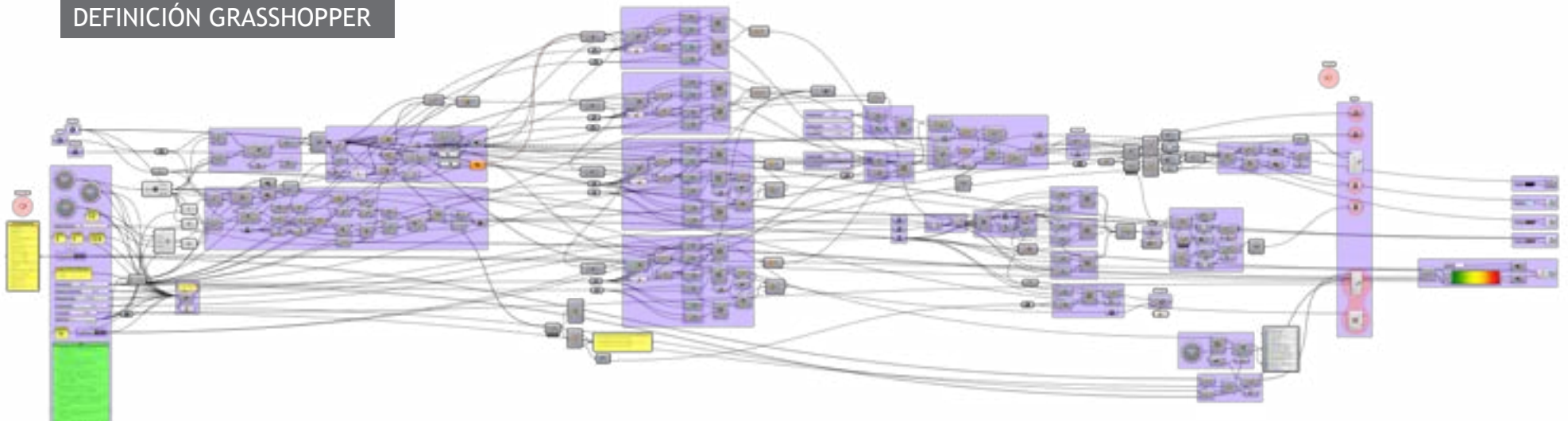
A EVALUAR

- La continuidad del filamento,
- Generación de un patrón uniforme.
- La aproximación a la superficie inicial.
- Las ranuras guías de filamento.
- El método de ensamblado.

CONSTANTES

- Superficie de revolución
- El patrón, pues solo es controlable su calidad pero no los caminos que pueda tomar.

DEFINICIÓN GRASSHOPPER



FUNCIONAMIENTO



Imagen 54: Volumen "florero" a copiar, A. Vidal, 2014



Imagen 55: Distribución uniforme de las isocurvas en la superficie, A. Vidal, 2014

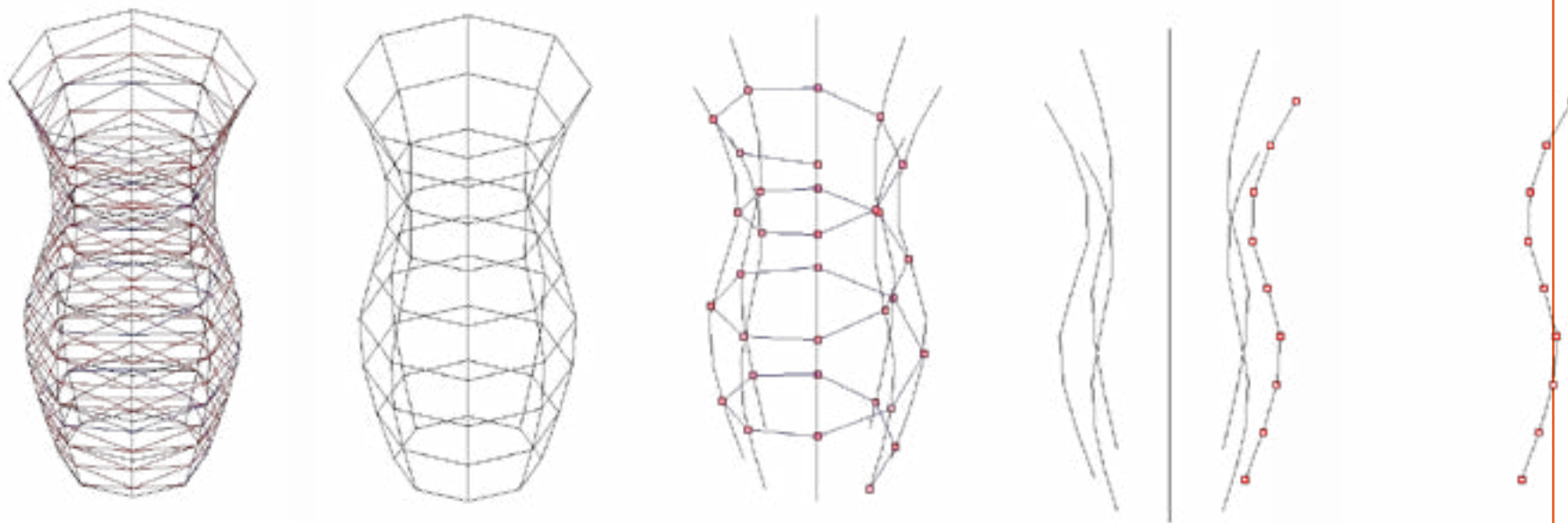


Imagen 56: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

Imagen 57: Archivos para corte laser, A. Vidal, 2014

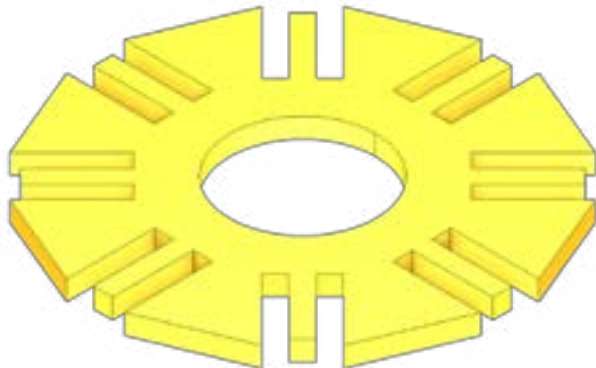
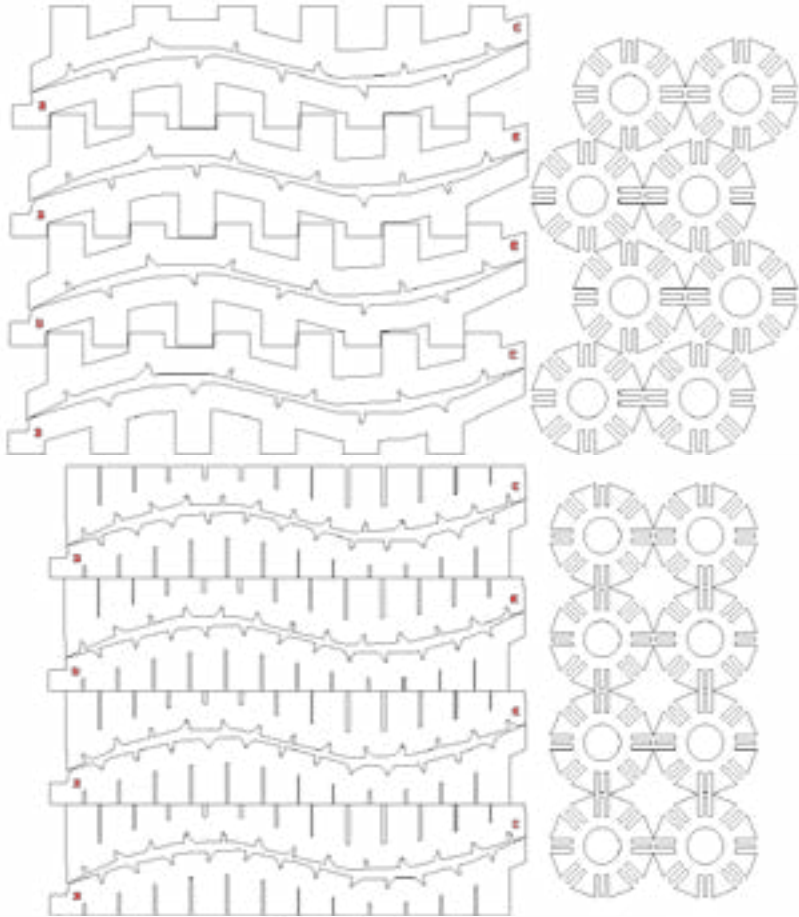


Imagen 58: Elemento principal de la “galleta”, A. Vidal, 2014

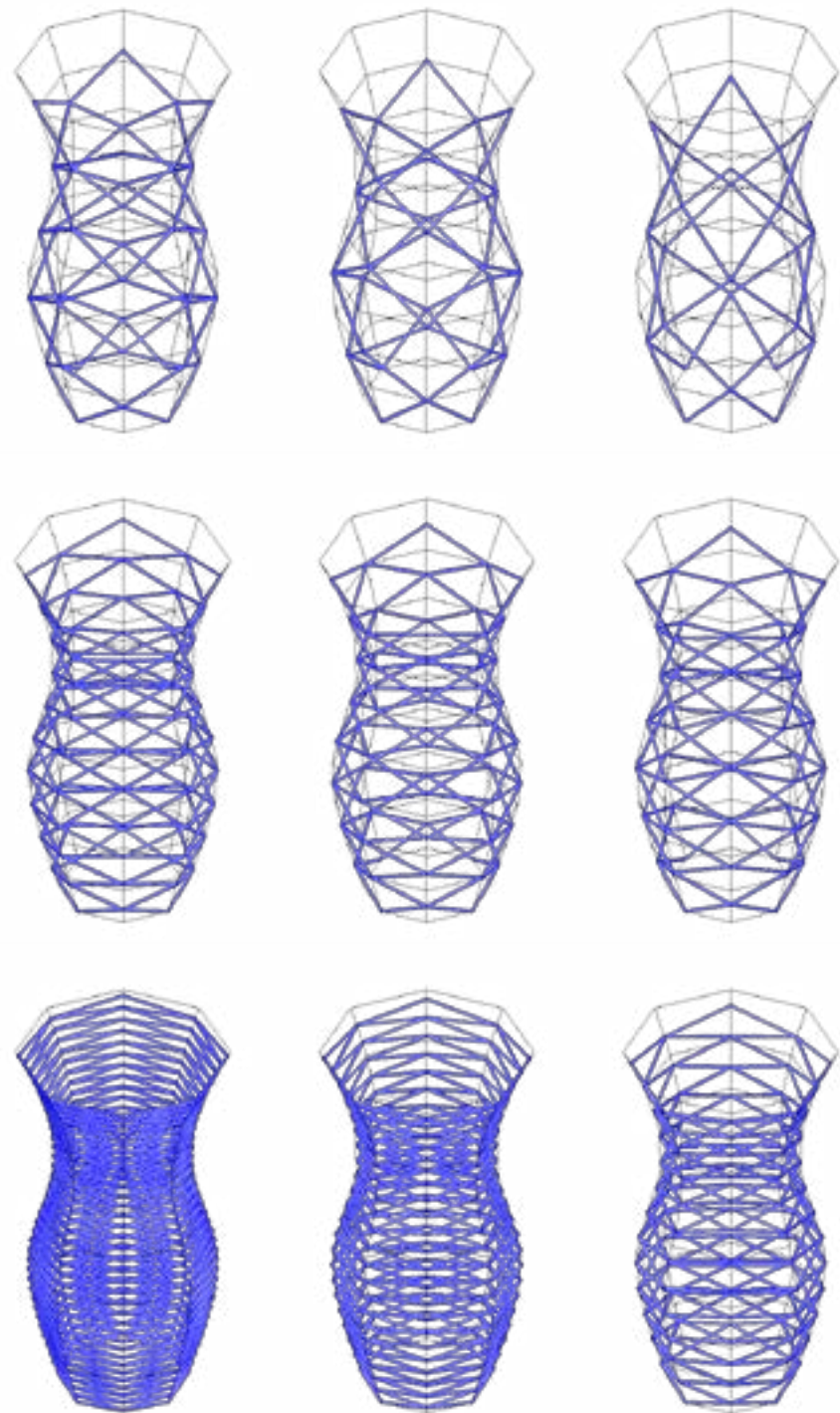


Imagen 59: Diferentes parámetros van generando diferentes tejidos , A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la observación se logra determinar que:

- Es posible determinar el número de vueltas del filamento, además de su largo final.
- El diámetro del filamento no influye mayormente en la aproximación de la superficie.
- La construcción del avance del filamento de manera matemática es una manera simple y rápida pero limitada en las posibilidades y en espacial limita la cantidad de costillas
- La utilización de un elemento central colpasable podría ser la clave para desarmar el mandril una vez curada la resina.
- Se determina que el prototipo esta en condiciones de realizar una prueba física para verificar.

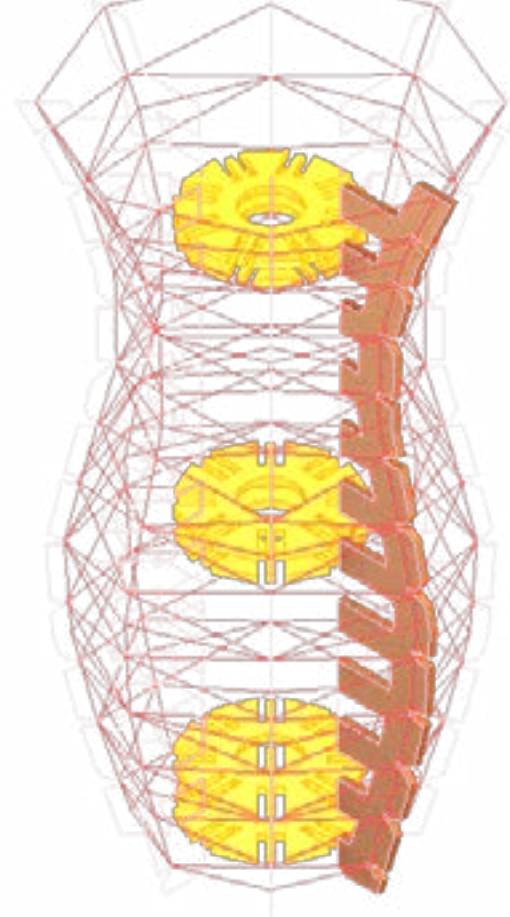
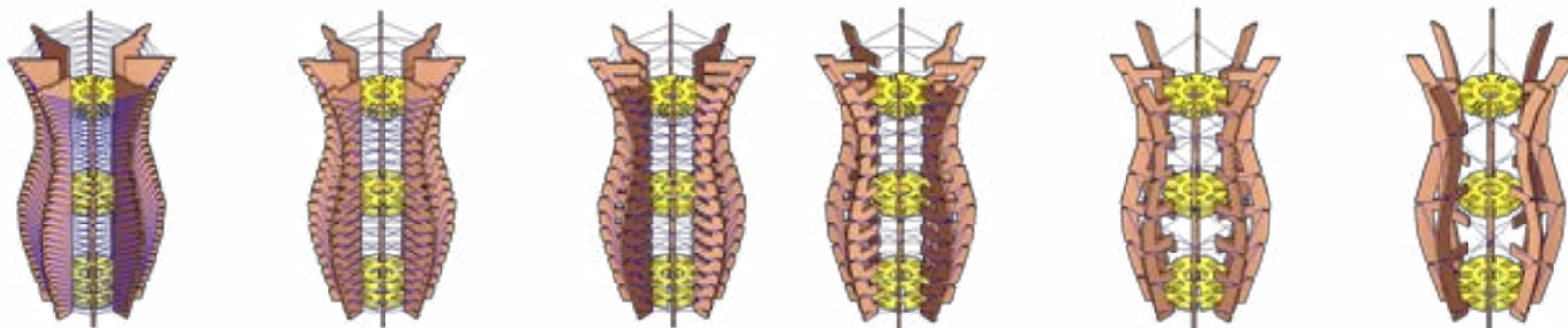
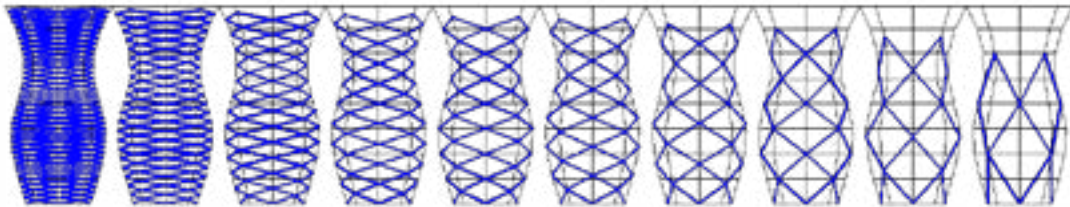


Imagen 60: Detalle de vínculo entre galletas y costillas, A. Vidal, 2014

Imagen 61: Variación del tejido genera variaciones en las costillas, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

PROTOTIPO 02

TIPO

A	F
E	I

"FLOREO"
EJE RECTO DE
REVOLUCION

PROPÓSITO

A	C
I	V

70

DESCRIPCIÓN

- La primera aproximación a un mandril colapsable que consiste en una superficie de revolución, generada por una curva B-spline, en torno a un eje recto.
- En base al análisis del prototipo anterior se implementa una definición que considera el avance que tiene que realizar el filamento al copiar la superficie.

VARIABLES

- Grado (patrón)
- Calidad (patrón)
- Factor (patrón)
- Espesor de costilla
- Diámetro de filamento

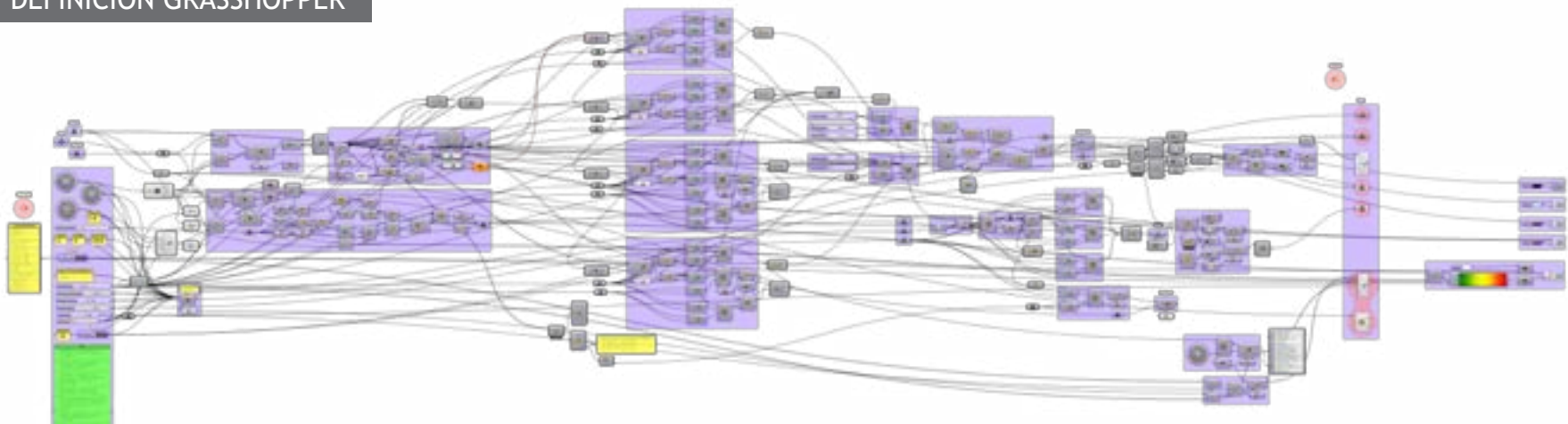
A EVALUAR

- Verificar el Prototipo 01.
- La aproximación a la superficie inicial y su estabilidad.
- La lectura de las ranuras guías de filamento.
- La efectividad del método de ensamblado.

CONSTANTES

- Superficie de revolución
- El patrón, pues solo es controlable su calidad pero no los caminos que pueda tomar.

DEFINICIÓN GRASSHOPPER



FUNCIONAMIENTO

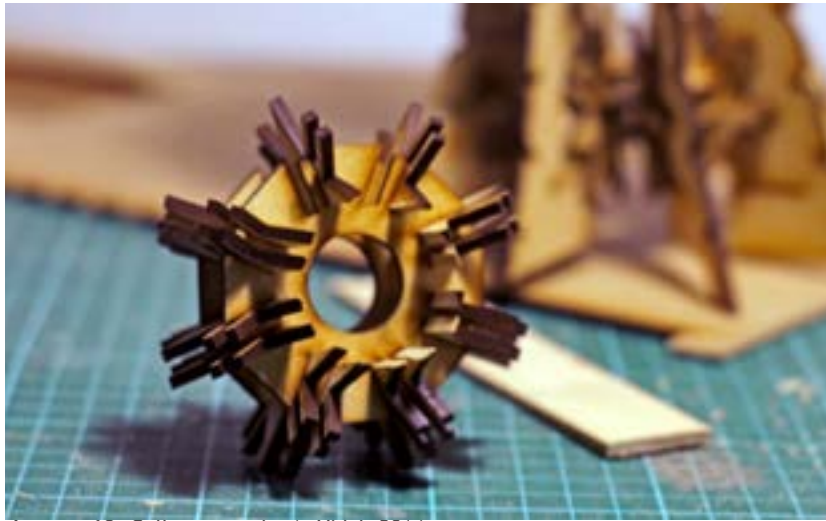


Imagen 62: Galleta armada, A. Vidal, 2014



Imagen 63: Se debe tener cuidado en alinear bien las costillas para que no se deforme la figura, A. Vidal, 2014

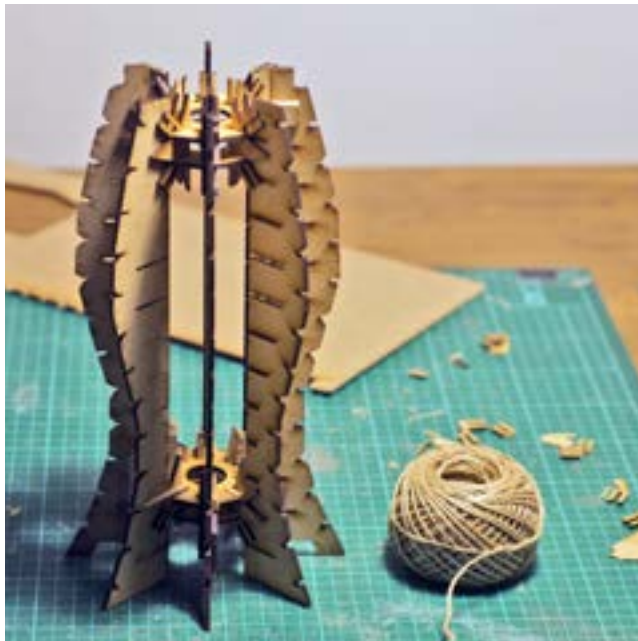


Imagen 64: Mandril armado junto un ovillo de yute, A. Vidal, 2014



Imagen 65: Prueba en seco, detalle de amarre inicial, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

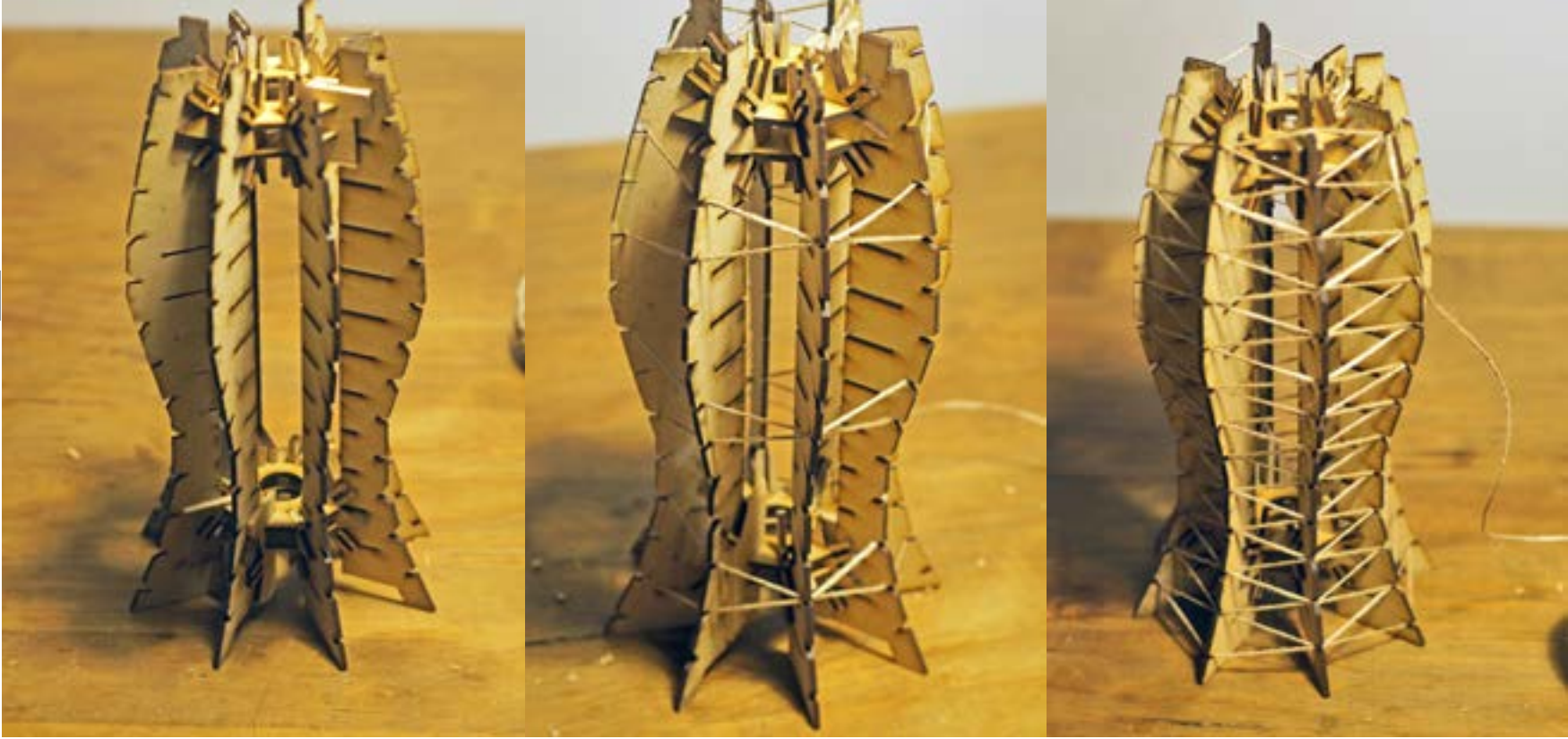


Imagen 66: Prueba de concepto, evolución del bobinado en seco, A. Vidal, 2014



Imagen 67: Insumos básicos necesarios, A. Vidal, 2014



Imagen 68: Hilo de yute recién impregnado con resina epoxi, A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la experimentación se logra determinar que

- Se verifica el prototipo digital 01 en todos los aspectos, excepto en la pérdida de tensión del filamento al realizar la segunda pasada por los mismo puntos. Esto se debe al material de las costillas.
- Las costillas de MDF cortadas en láser soportan la tensión pero tienen una pequeña flexión que resulta en pérdidas de tensión a medida que el filamento avanza por la figura.
- La lectura de las ranuras funciona, pero podría ser mejor.
- La galleta funciona, pero podría ocupar menos espacio y menor cantidad de piezas.



Imagen 69: Fibra curada con la forma final, A. Vidal, 2014



Imagen 70: Variante de Tejido, A. Vidal, 2014

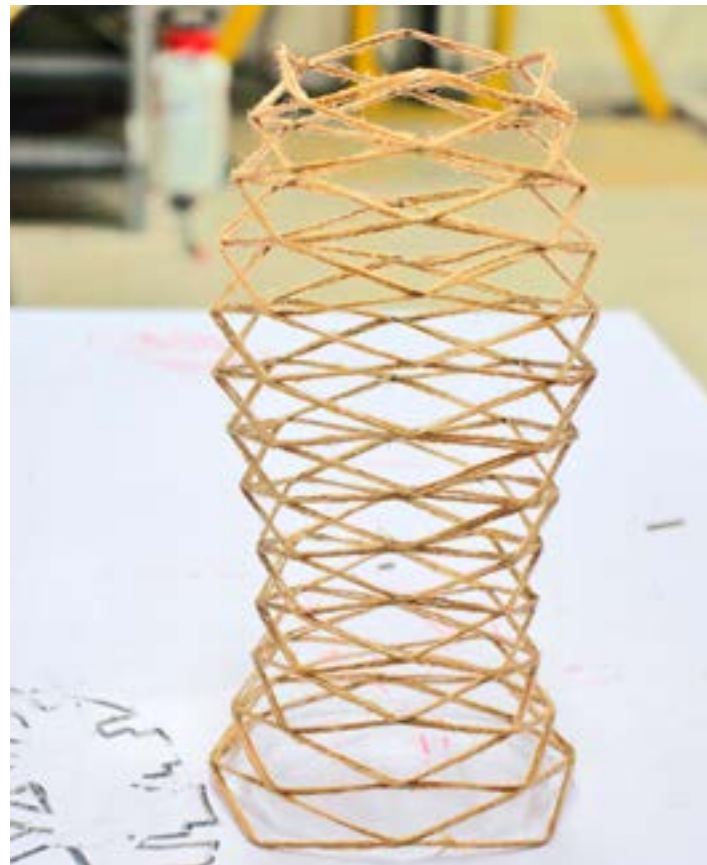


Imagen 71: Primer prototipo físico terminado, A. Vidal, 2014

(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS

PROTOTIPO 03

TIPO

A	F
E	I

PROPÓSITO

A	C
I	V

EJE RECTO Y SECCION VARIABLE

74

DESCRIPCIÓN

El prototipo 02 es una buena base para perfeccionar el proceso. El método utilizado en la definición anterior no funciona en superficies de revolución de sección variable. Se incluye la personalización del patrón que arma el tejido a través de un archivo Excel.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Espesor material
- Diámetro filamento

A EVALUAR

- Efectividad de dibujo de los patrones en Excel.
- Aproximación a la superficie real mediante el control de la posición de costillas

CONSTANTES

- Las ranuras funcionan, se mantendrán constantes.
- Superficie.

DEFINICIÓN GRASSHOPPER



FUNCIONAMIENTO



Imagen 72: Volumen de revolución de sección variable, A. Vidal, 2014



Imagen 73: Distribución uniforme de las isocurvas en la superficie, A. Vidal, 2014

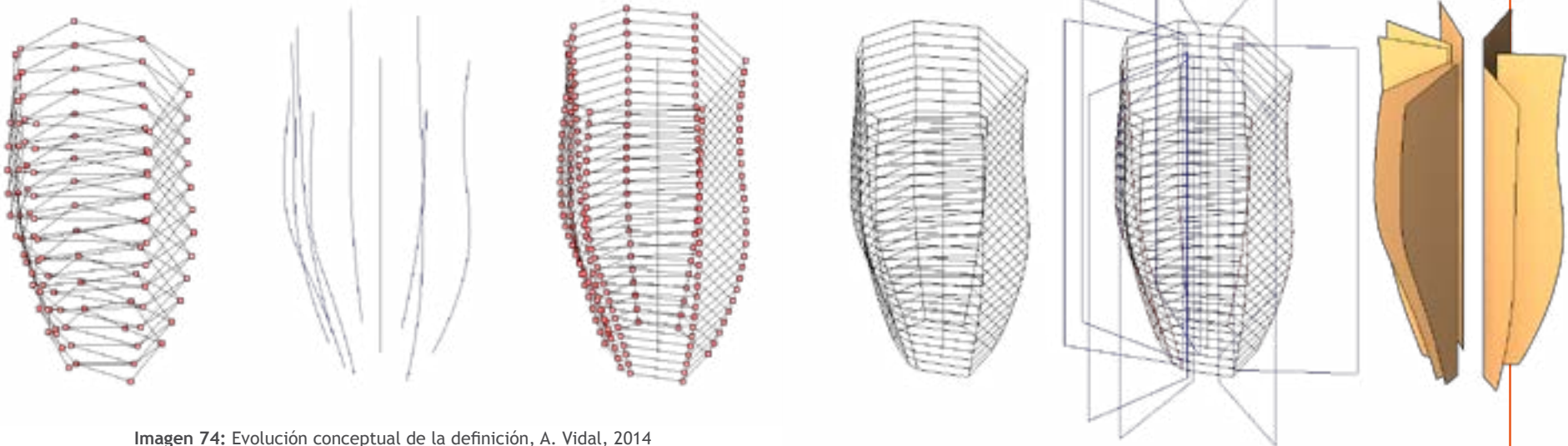


Imagen 74: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

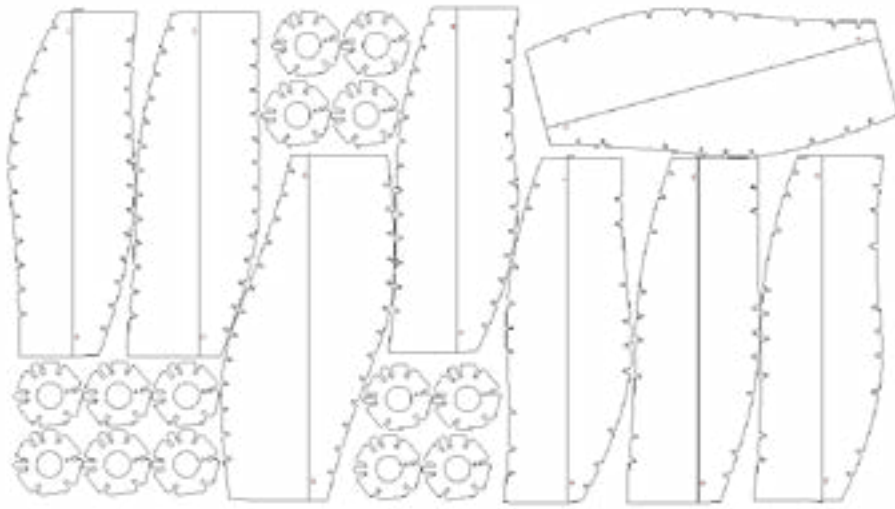


Imagen 75: Archivos para corte laser, A. Vidal, 2014

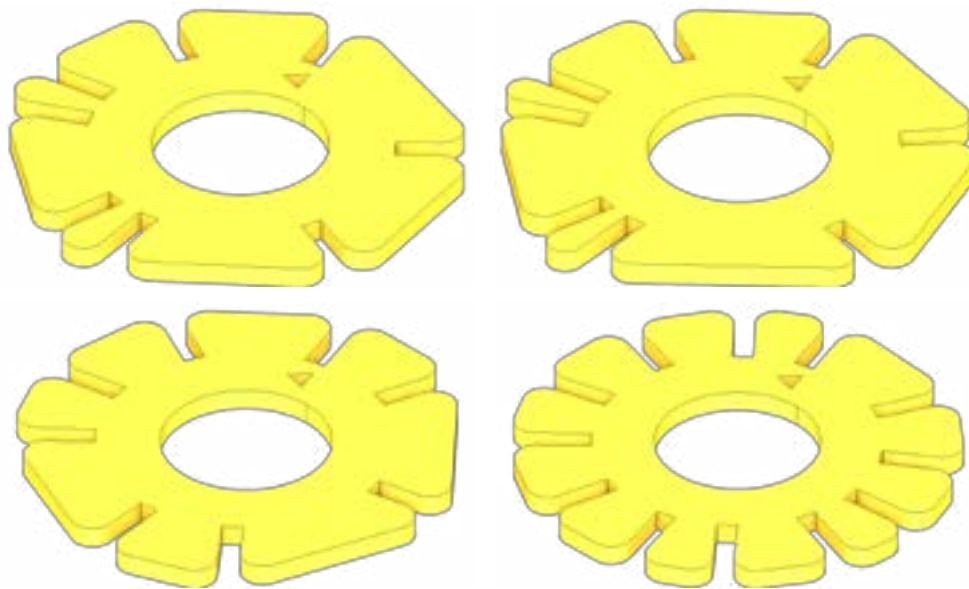


Imagen 76: Variantes de la nueva "galleta", A. Vidal, 2014

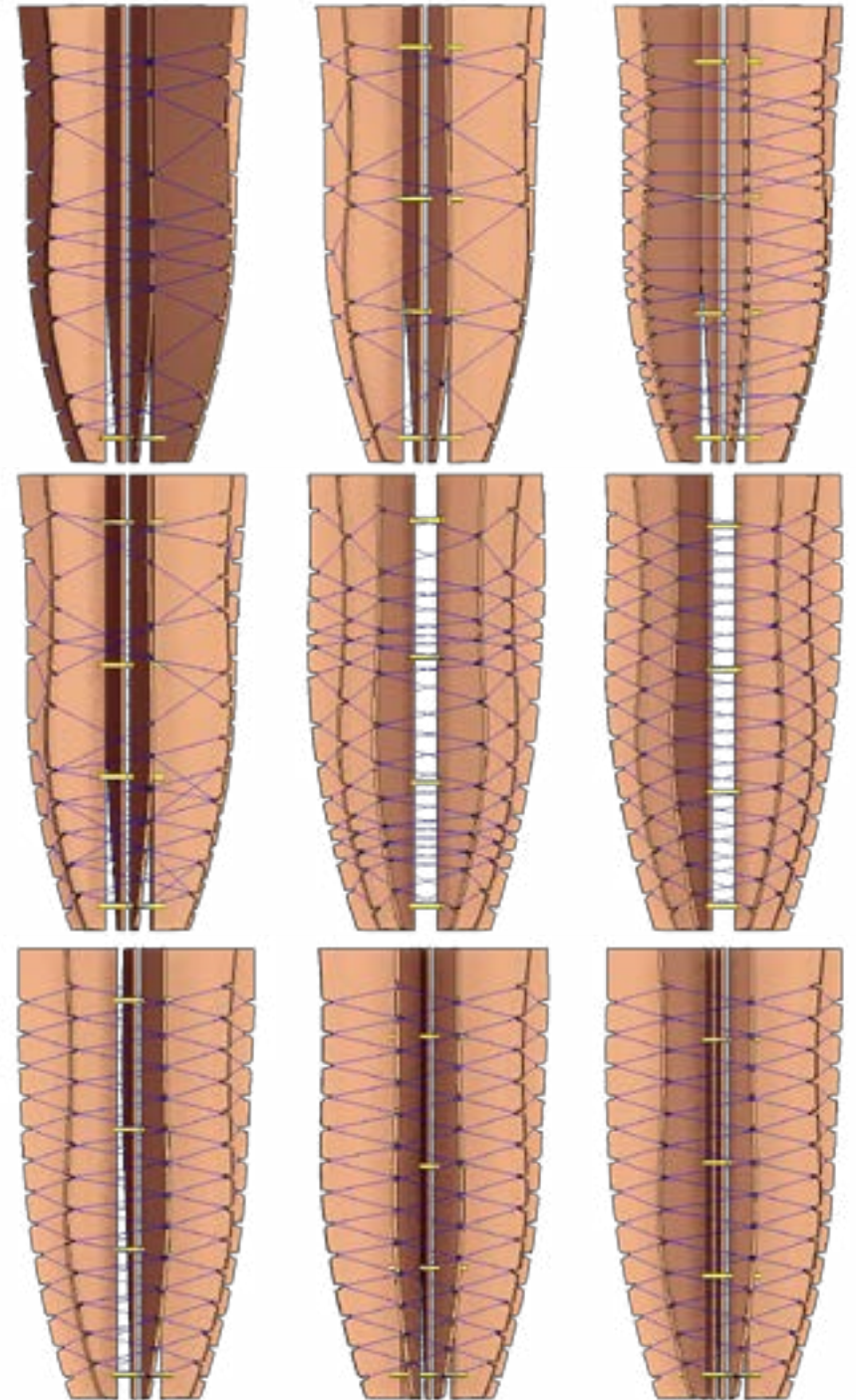


Imagen 77: Diferentes parámetros van generando diferentes tejidos , A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la observación se logra determinar que:

- Es posible determinar el número de vueltas del filamento, además de su largo final.
- El diámetro del filamento no influye mayormente en la aproximación de la superficie.
- La construcción del avance del filamento de manera matemática es una manera simple y rápida pero limitada en las posibilidades y en espacial limita la cantidad de costillas
- La utilización de un elemento central colpasable podría ser la clave para desarmar el mandril una vez curada la resina.
- Se determina que el prototipo esta en condiciones de realizar una prueba física para verificar.

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	9
4		filas	16
5		vueltas	10
6		nodos	91

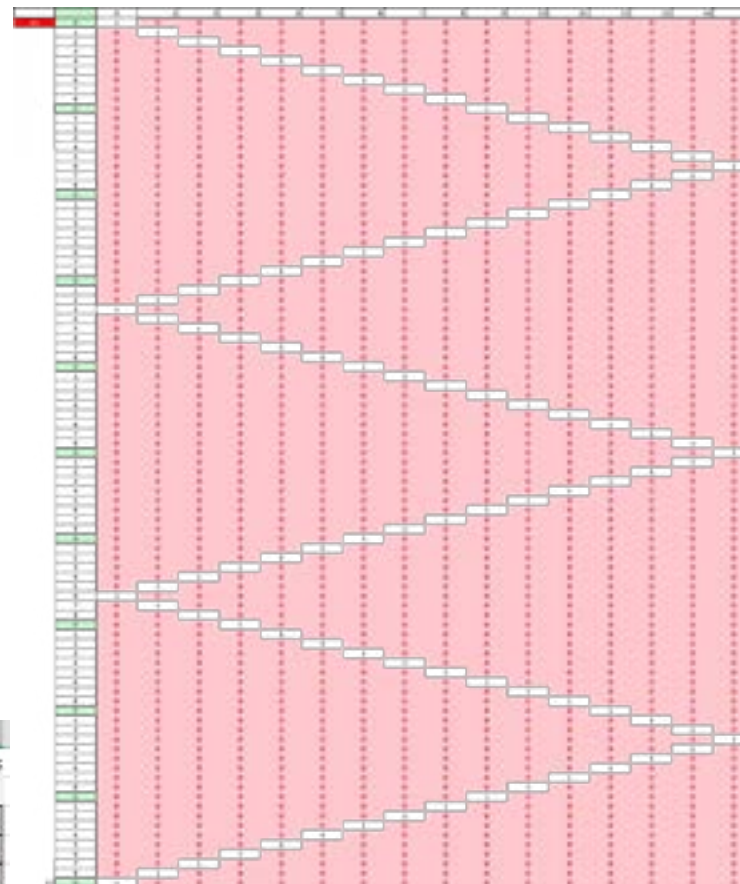


Imagen 78: Archivo Excel para la generación libre del patrón, A. Vidal, 2014

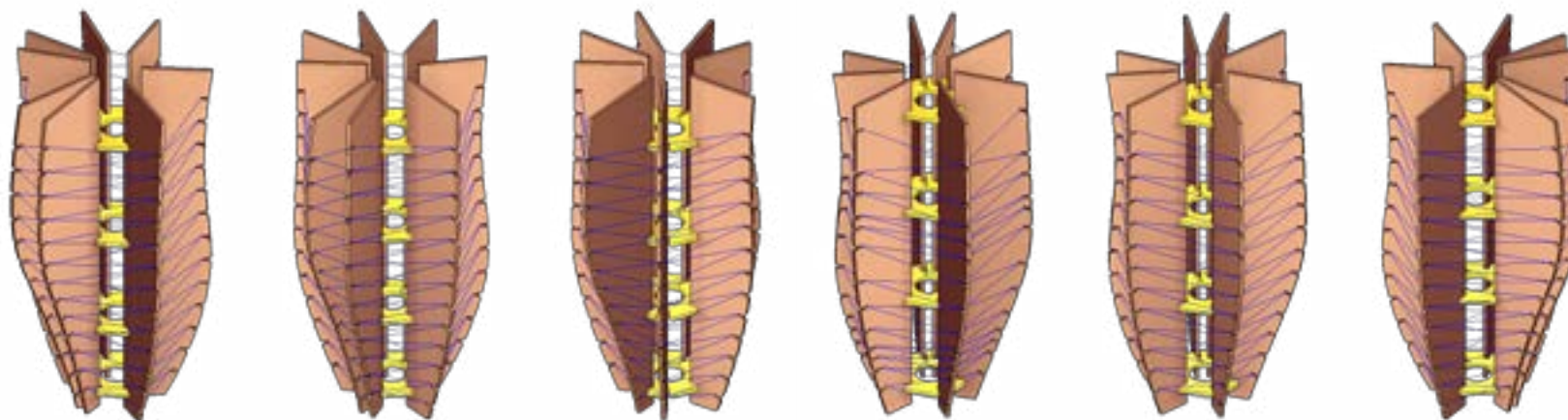


Imagen 79: Variacion del tejido genera variaciones en las costillas, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

PROTOTIPO 04

TIPO

A	F
E	I

PROPÓSITO

A	C
I	V

EJE RECTO Y SECCION VARIABLE

78

DESCRIPCIÓN

La principal implementación del prototipo 03 es la creación de patrones mediante un archivo Excel, la galleta mas pequeña y una adaptación a las costillas para la nueva galleta.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Espesor material
- Diámetro filamento

A EVALUAR

- Verificar físicamente el prototipo 03 y la integración de sus partes.
- La nueva galleta.

CONSTANTES

- Ranuras.
- La superficie.

ANÁLISIS

- Mediante la experimentación se logra determinar que
- Se verifica el prototipo 03. La adaptación del tejido a la figura es exitosa.
 - la galleta funciona, pero por un tema de ajustes debido al corte láser quedó atrapada. No es mejor que la galleta anterior, solo ocupa menos espacio.
 - Se decide estudiar otra forma de galleta que haga las costillas mas pequeñas o la galleta del prototipo 01 de menos partes.

FUNCIONAMIENTO

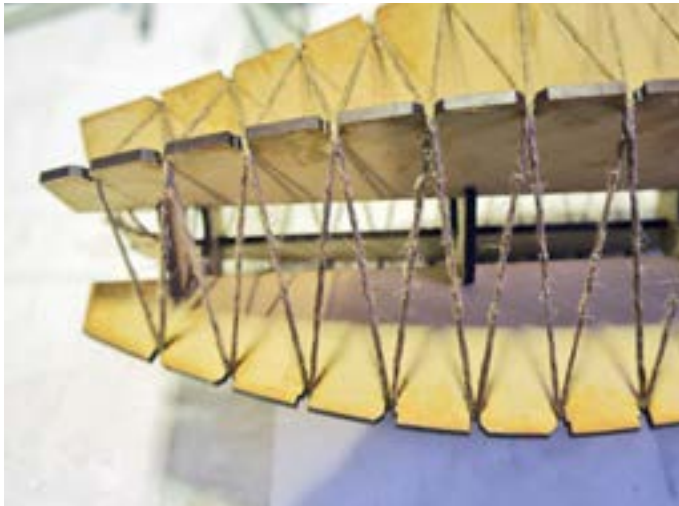


Imagen 80: Detalle aramado de costilla con galleta, A. Vidal, 2014



Imagen 81: Mediante el desarmado la galleta se debió romper, A. Vidal, 2014



Imagen 82: Prototipo terminado sin el mandril, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

PROTOTIPO 05

TIPO

A	F
E	I

COSTILLA DENTADA Y GALLETA-ANILLO

PROPÓSITO

A	C
I	V

80

DESCRIPCIÓN

El prototipo 04 limita las costillas a un plano, que serian un problema para ajustarse a figuras con un eje de revolución curvo. Además las costillas planas, tienen un contorno muy grande para generar el eje recto para la galleta, y no aprovechan de manera optima el área para el corte láser.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Espesor material
- Diámetro filamento
- Ancho diente
- Offset galleta-anillo

A EVALUAR

- Nuevo sistema galleta-costillas.
- Optimización del área de corte.

CONSTANTES

- Ranuras.
- Superficie.

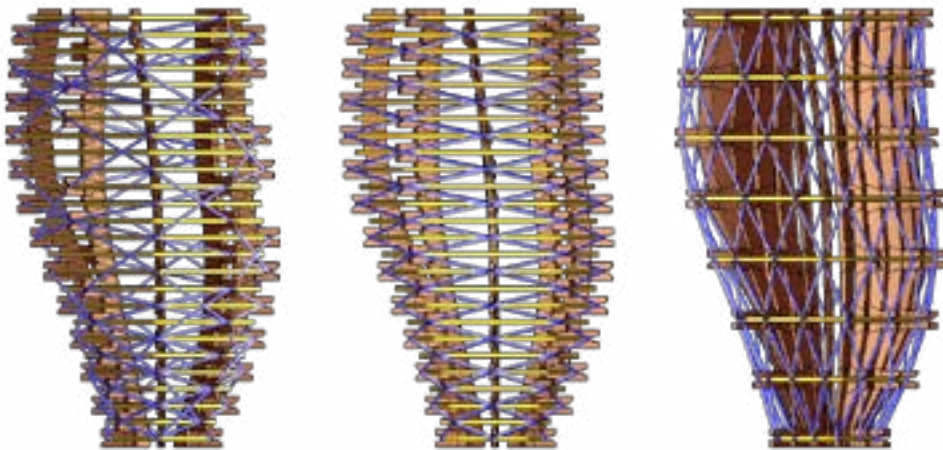


Imagen 83: Variantes de patrones sobre la misma figura, A. Vidal, 2014

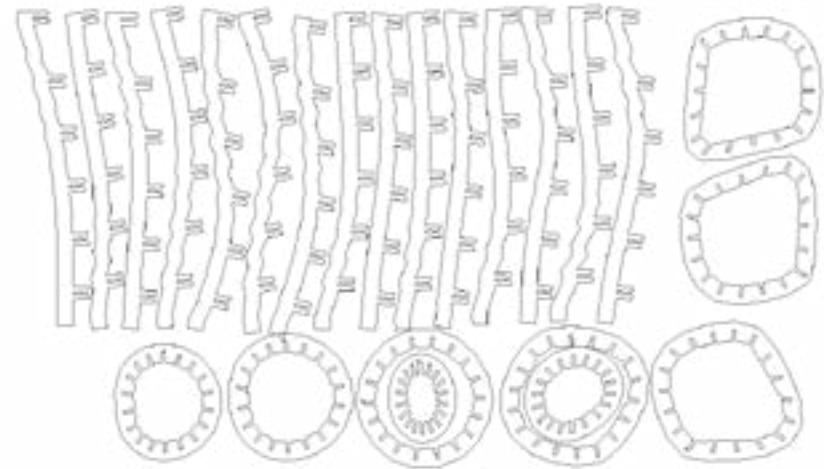


Imagen 84: Los anillos-galleta y los dientes de cada costilla hacen perder espacio útil del material para el corte láser, A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la observación se logró determinar que:

- Aparentemente el método funciona, permite la adaptación de variados patrones, es mas sencillo pero las galletas-anillo ocupan mucho mas espacio en el material para corte láser que las dos versiones anteriores.
- Las costillas, producto de un problema desconocido del programa no se generaban de manera correcta .
- Por estos motivos se descarta como opción viable este prototipo.

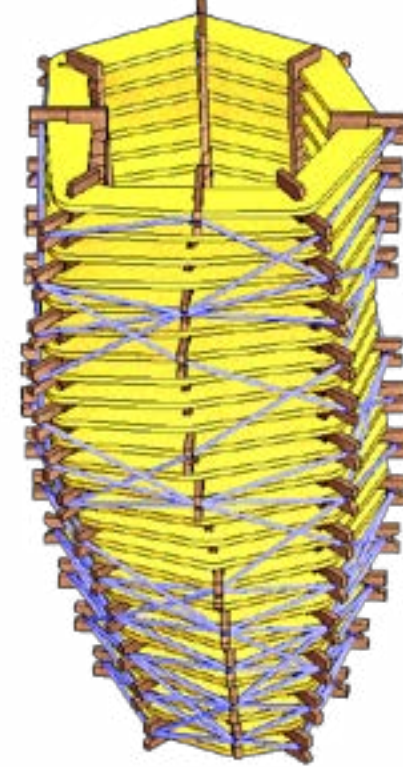


Imagen 85: Se requiere una galleta por cada línea de ranuras en las costillas, siendo poco práctico, A. Vidal, 2014

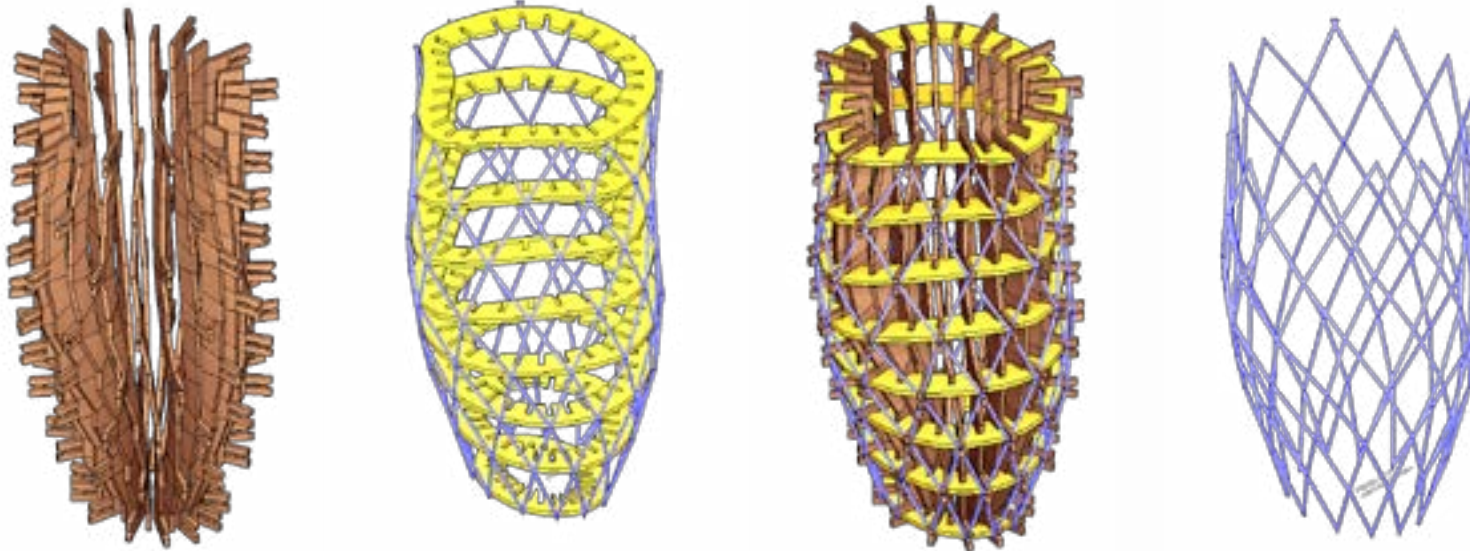


Imagen 86: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

PROTOTIPO 06

TIPO

A	F
E	I

EJE CURVO Y SECCION VARIABLE

PROPÓSITO

A	C
I	V

82

DESCRIPCIÓN

La falla en el diseño de una galleta que permita anclar las costillas para superficies con eje curvo obliga a darle mayor complejidad al diseño de la galleta. Producto de este cambio es posible probar tejidos con mas columnas.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Diámetro filamento
- Espesor costillas
- Espesor galletas

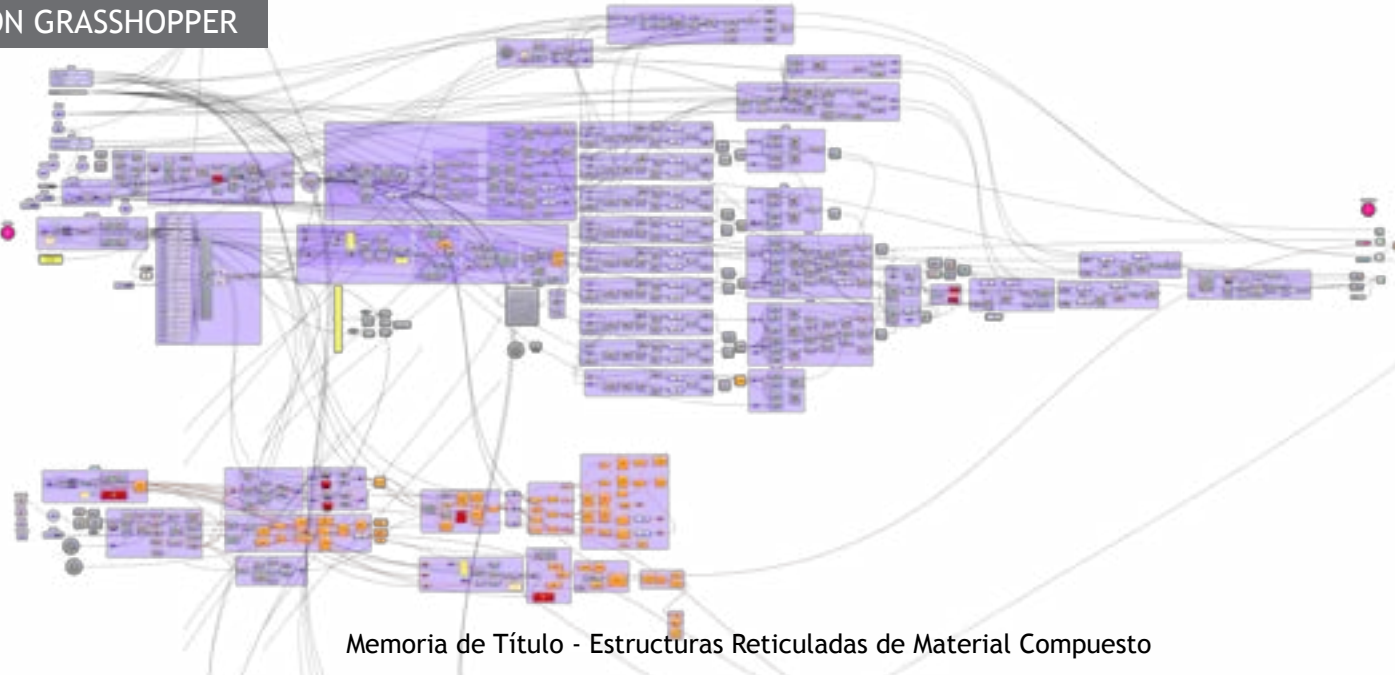
A EVALUAR

- Galleta 02
- Nueva costilla

CONSTANTES

- Ranuras
- Superficie

DEFINICIÓN GRASSHOPPER



ANÁLISIS

Mediante la observación se determina que:

- Las nuevas costillas aprovechan mejor el espacio en el material para el corte láser.
- Las costillas tienen un grado de curvatura que se va adaptando a la figura.
- La galleta 02, para su desarme colapsa para desarmarla y volver a utilizarla.
- Esta galleta, además, permite probar otro tipo de tejidos.

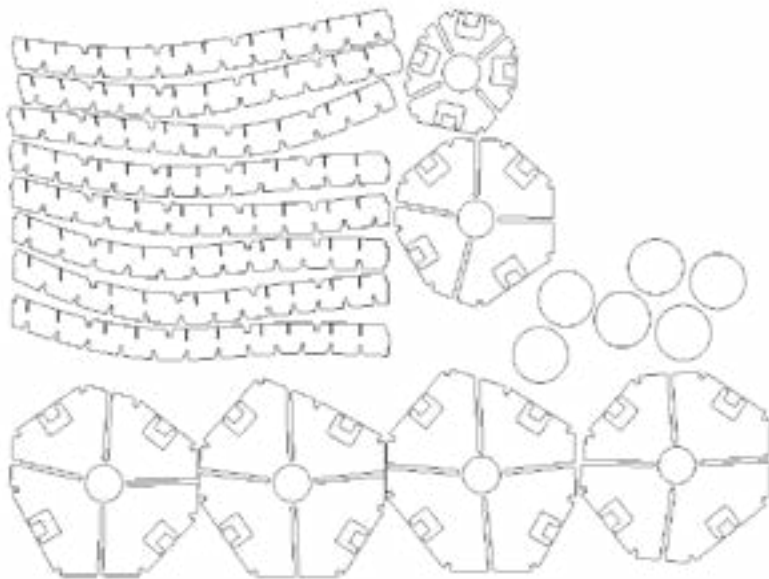


Imagen 88: Menor espacio ocupado que prototipo anterior, A. Vidal, 2014

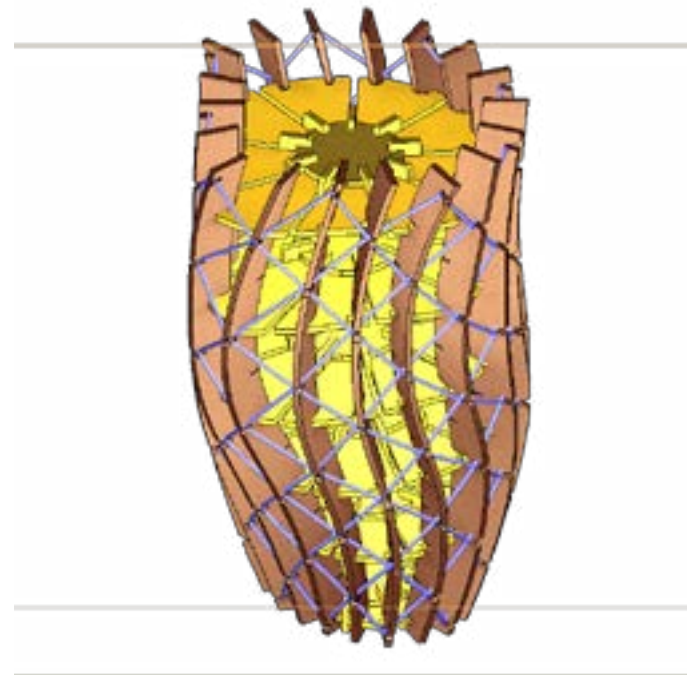


Imagen 87: Modelo digital con todas sus partes, A. Vidal, 2014

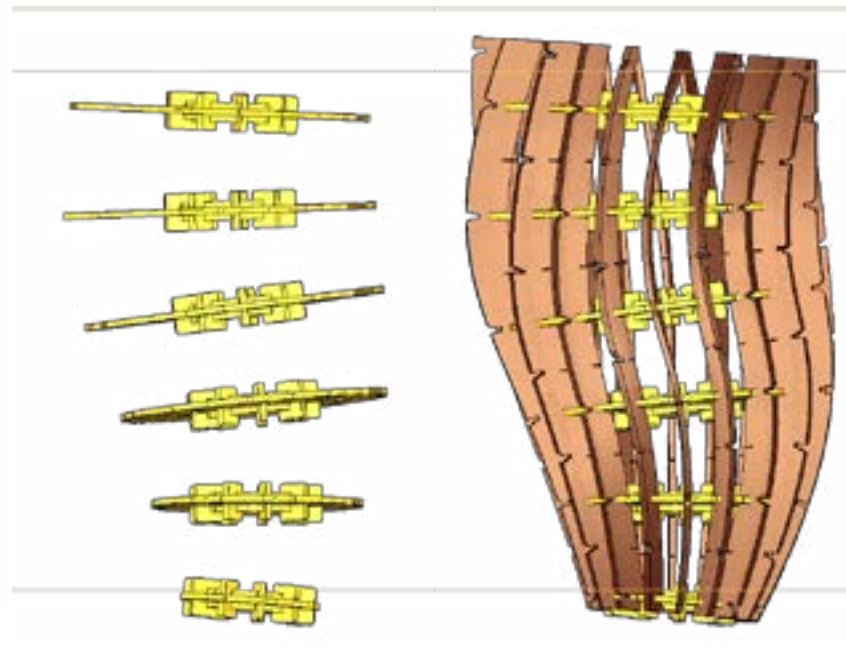


Imagen 89: Orientación de galletas en distintos planos, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

PROTOTIPO 07

TIPO

A	F
E	I

EJE CURVO Y SECCION VARIABLE

PROPÓSITO

A	C
I	V

84

DESCRIPCIÓN

- El prototipo 06 propone un nuevo sistema constructivo que ya esta en condiciones de ser evaluado físicamente.
- Las costillas son mas finas y poseen ranuras para la cuerda y las galletas.
- Las galletas se armar con una serie de ganchos y discos.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Espesor costilla
- Espesor galleta
- Diámetro filamento

A EVALUAR

- Nuevo tipo de galleta
- Nueva costilla

CONSTANTES

- Ranuras
- Superficie



Imagen 90: Aplicación de cera desmoldante, A. Vidal, 2014



Imagen 91: Galleta desarmada ya utilizada, A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la observación se determina que:

- Primera evaluación de la galleta 02 es positiva, se logra desarmar sin grandes complicaciones, aunque hay que mencionar que a medida que la figura sea de mayor extensión será mas difícil la extracción de las galletas.
- Las costillas están al limite de la flexibilidad que permite el MDF, se van ajustando y apretando con la flexión que le obligan las galletas.
- El fallo al despegar las costilla se asocia a un exceso de cera desmoldante que se atrapó en los nudos impidiendo que las cuerdas se junten entre sí.



Imagen 92: Proceso avanzado de desarme de galletas, A. Vidal, 2014



Imagen 93: Inicio de proceso de desarme de galletas, A. Vidal, 2014



Imagen 94: Fallo producto de exceso de cera desmoldante, A. Vidal, 2014

(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS

PROTOTIPO 08

TIPO

A	F
E	I

EJE ESPIRAL,
SECCION VARIABLE
GALLETA 02

PROPÓSITO

A	C
I	V

DESCRIPCIÓN

86

El prototipo 04 limita las costillas a un plano, que serian un problema para ajustarse a figuras con un eje de revolución curvo. Además las costillas planas, tienen un contorno muy grande para generar el eje recto para la galleta, y no aprovechan de manera optima el área para el corte láser.

VARIABLES

- Cantidad de columnas
- Cantidad de filas
- Espesor material
- Diámetro filamento
- Ancho diente
- Offset galleta-anillo

A EVALUAR

- Nuevo sistema galleta-costillas.
- Optimización del área de corte.

CONSTANTES

- Ranuras.
- Superficie.

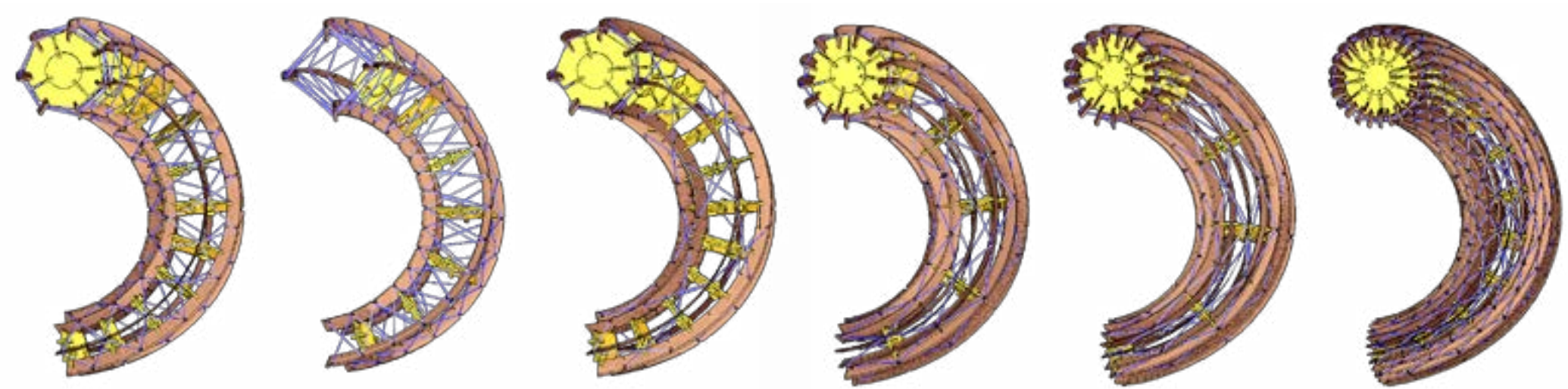


Imagen 95: Variantes de patrones sobre la misma figura, A. Vidal, 2014

ANÁLISIS

Mediante la observación se logró determinar que:

- Aparentemente la nueva galleta 02 permite la adaptación de variados patrones y costillas con ángulos curvos.
- Las costillas con curvatura simple son factibles de fabricar, pero obligan a un material plástico.

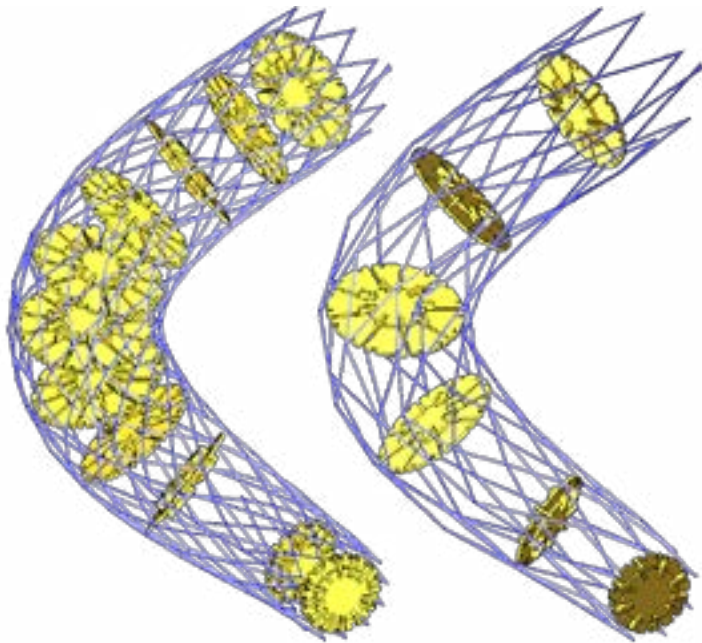


Imagen 97: Variantes de tejido y ubicación de galletas, A. Vidal, 2014



Imagen 96: Superficie espiral con eje curvo y sección variable, A. Vidal, 2014

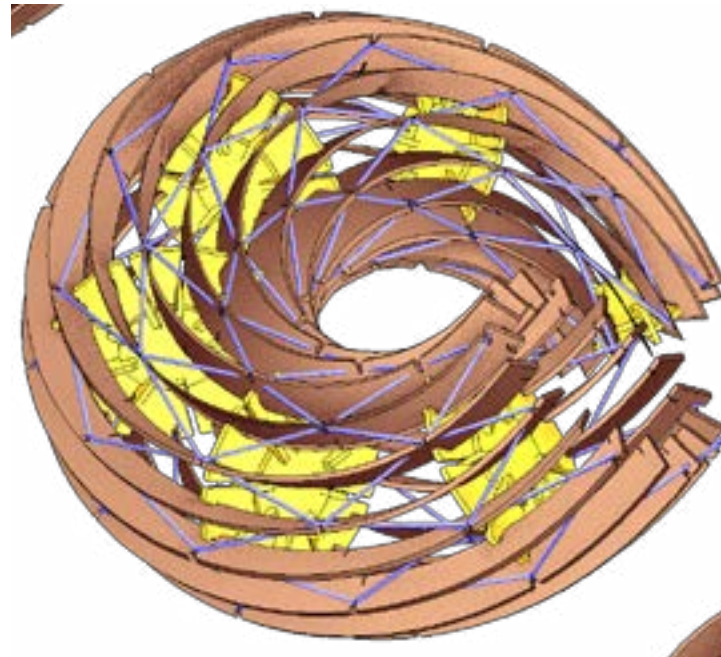


Imagen 98: Detalle de la curvatura simple de las costillas y la unión con las galletas, A. Vidal, 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

{2;0;2;7} Probetas y Ensayos mecánicos

Al no existir un parámetro de comparación de esta nueva aplicación del material compuesto de cuerda con resina, es necesario tabular toda la información pertinente para la documentación y posterior evaluación, para poder tener un control preciso de los parámetros y variables del proceso, especialmente de la cantidad de resina que se necesita en cada caso y el porcentaje de impregnación o absorbencia de cada uno de las cuerdas evaluadas.

Los ensayos mecánicos son un punto importante al momento de considerar el diseño de estructuras con este nuevo proceso. El ensayo mecánico que se realiza es el ensayo

de tracción¹, pues es el que se acomoda mejor a todas las probetas².

La información recopilada del ensayo de tracción se pretende utilizar para realizar análisis de estrés virtual, mediante el método de elementos finitos (FEM) para poder evaluar en una fase temprana el desempeño de la estructura, que depende no solo del material compuesto sino que también de la densidad del tejido y del tipo de tejido que presenta en las zonas críticas.

¹ Las pruebas se realizaron en el Laboratorio PROTEN de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM)

² Debido a la disponibilidad de laboratorio y al tiempo que requiere realizar estas pruebas, solo fue posible realizar los ensayos a algunas de las probetas.



Imagen 99: Probetas para ensayos de tracción de direntes materiales y diámetros, A.Vidal, 2014.

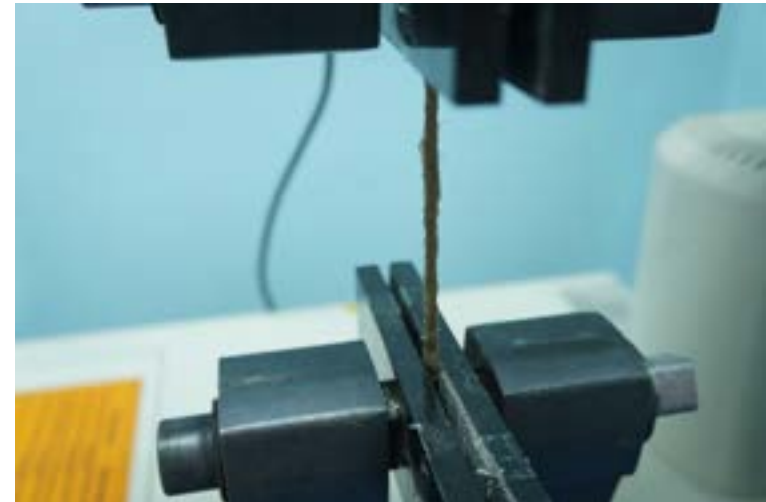


Imagen 100: Probeta de yute en proceso de ensayo de tracción, A.Vidal, 2014.

CUERDA	CARACTERÍSTICA	DIAMETRO												
		1,2	1,3	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
YUTE	Costo + resina x mt (\$)	14	16	24		50		101		680				1.325
	Impregnación (%)	58,33	90,91	53,33		87,50		94,29		56,04				89,59
	Peso x metro + resina (g)	1,58	1,75	3,83		6,25		11,33		34,25				89,58
	Densidad + resina (Mg/m³)	1,4	1,318	1,220		0,884		0,902		1,211				1,141
	Resistencia cuerda (kgf)	3,5	3,68	8	14	20	27,5	35	55	80	110	140	180	220
	Resistencia compuesto (kgf)		33,6					145		401				
POLYSTEEL	Costo + resina x mt (\$)									689		1.188		734
	Impregnación (%)									32,38		47,45		19,95
	Peso x metro + resina (g)									26,92		40,92		73,67
	Densidad + resina (Mg/m³)									0,952		0,814		0,938
	Resistencia cuerda (kgf)									120	160	200	250	300
	Resistencia compuesto (kgf)													
POLYPROPILENO MONOFILAMENTO	Costo + resina x mt (\$)			102				336						
	Impregnación (%)			93,57				31,09						
	Peso x metro + resina (g)			4,92				13,00						
	Densidad + resina (Mg/m³)			1,565				1,035						
	Resistencia cuerda (kgf)		18	25	50	90	95	100	160	230	320	420	535	650
	Resistencia compuesto (kgf)													
POLYPROPILENO MULTIFILAMENTO	Costo + resina x mt (\$)							538	640	781	1.014	860		1.537
	Impregnación (%)							47,50	26,67	33,18	42,13	118,18		41,43
	Peso x metro + resina (g)							9,83	15,83	24,42	27,83	58,00		65,29
	Densidad + resina (Mg/m³)							0,783	0,806	0,864	0,723	1,154		0,831
	Resistencia cuerda (kgf)			25	67	90	95	100	160	230	320	420	535	650
	Resistencia compuesto (kgf)									136				

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

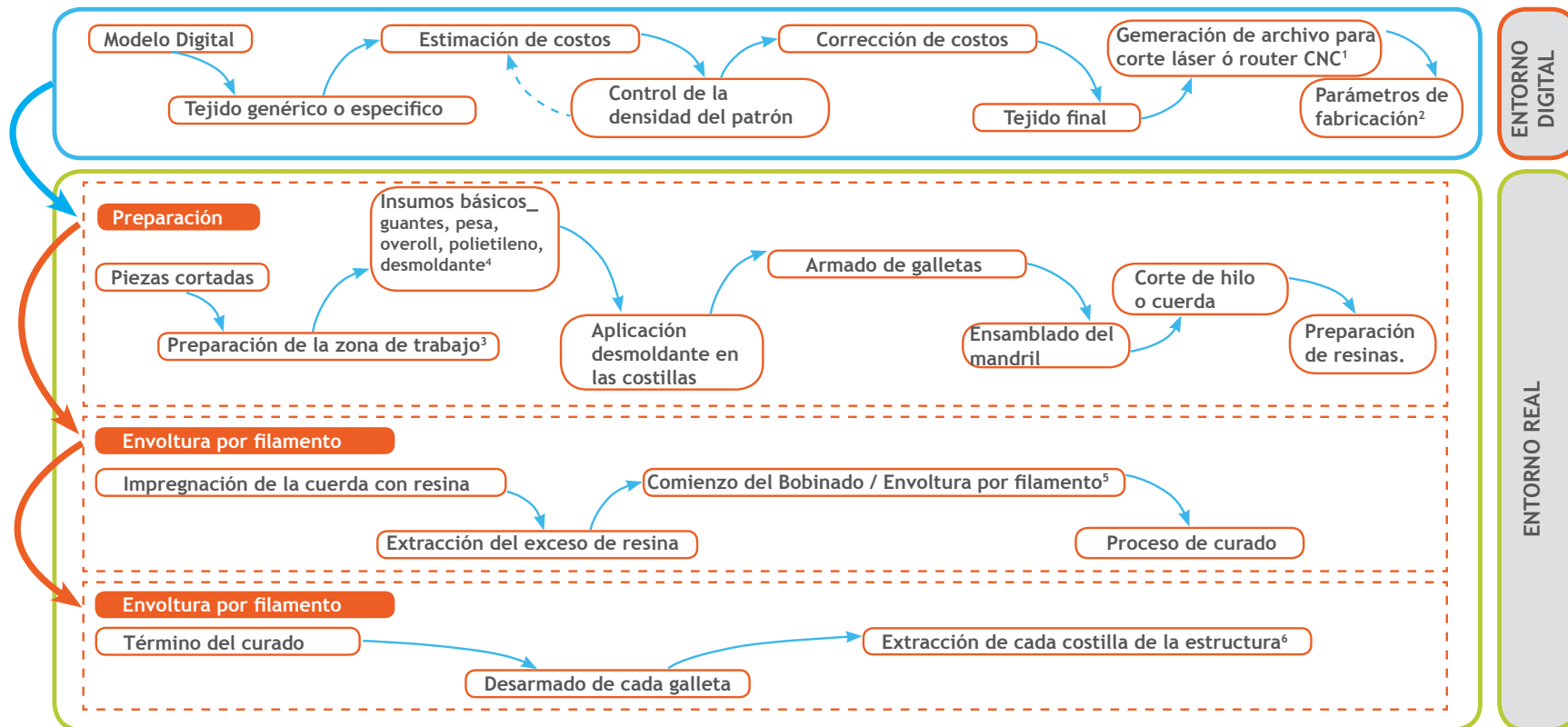
{4.2} ANEXOS

CUERDA	CARACTERÍSTICA	DIAMETRO												
		1,2	1,3	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
POLIESTER TRENZADO	Costo + resina x mt (\$)									995		1.824		2.743
	Impregnación (%)									26,09		22,20		13,31
	Peso x metro + resina (g)									33,83		60,08		97,92
	Densidad + resina (Mg/m ³)									1,197		1,195		1,247
	Resistencia cuerda (kgf)			25	42,5	60	80	100	160	240	320	430	540	670
	Resistencia compuesto (kgf)									320				
NYLON	Costo + resina x mt (\$)					413						1.691		2.196
	Impregnación (%)					66,19						22,20		13,31
	Peso x metro + resina (g)					16,42						45,50		91,50
	Densidad + resina (Mg/m ³)					2,322						0,905		1,165
	Resistencia cuerda (kgf)			40	65	90	130	170	260	380	520	680	860	1.050
	Resistencia compuesto (kgf)					241								
ALGODON	Costo + resina x mt (\$)					378			840	449		1.488		1.910
	Impregnación (%)					74,19			146,48	49,38		108,56		71,19
	Peso x metro + resina (g)					9,00			29,17	24,00		65,00		67,33
	Densidad + resina (Mg/m ³)					1,273			1,485	0,849		1,293		0,857
	Resistencia cuerda (kgf)			6	9	12	16	20	30	50	70	90	110	140
	Resistencia compuesto (kgf)					57,3				96				

Tabla 11: Características de los materiales compuestos ensayados, Elaboración propia.

{2;0;3} Conclusión del Proceso Experimental de Envoltura por Filamento.

Mediante el desarrollo de los prototipos se logró determinar varios parámetros y limitantes que van definiendo el proceso que se está desarrollando. Además de definir con precisión el modo de uso y funcionamiento de este nuevo proceso de conformado de polímeros reforzados con fibra.



Esquema 34: Conclusión del proceso experimental de envoltura por filamento, Elaboración propia.

- 1 Dependiendo de la escala del modelo.
- 2 Diámetro del filamento, cantidad aproximada de metros lineales de filamento y resina necesaria para el proceso.
- 3 Meson de trabajo
- 4 Cera, desmoldante líquido o ambos.
- 5 Mediante la lectura ordenada de las ranuras guías del mandril colapsable, hasta volver al inicio.
- 6 A pesar de utilizar desmoldante, generalmente las ranuras quedan atrapadas por los filamentos y que con movimientos sutiles se logran desprender, evitando daños.

{0} INTRODUCCION

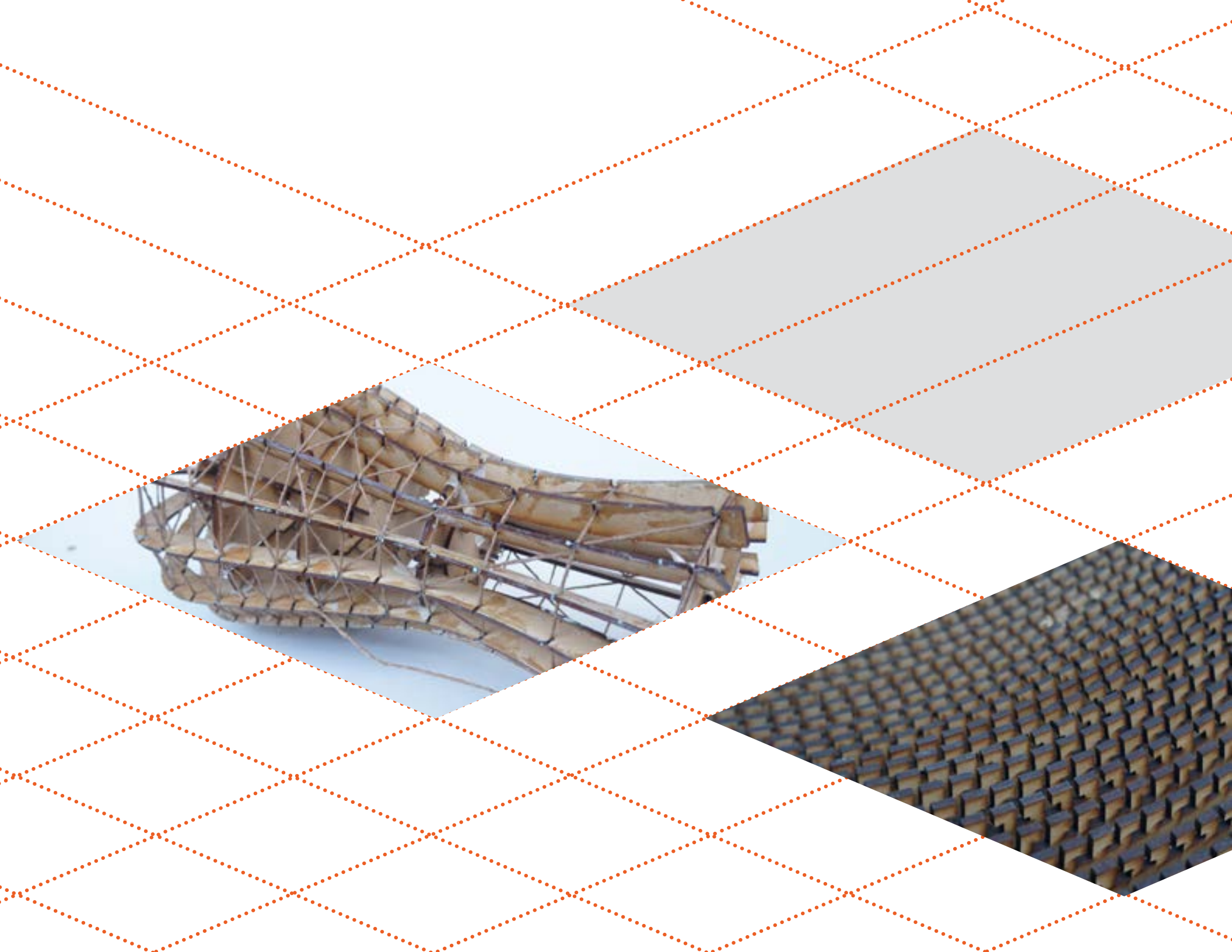
{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS





{3;0} APLICACION AL DISEÑO

Las posibilidades de aplicación que se ve a simple de vista de este proceso son muy amplias, se decide establecer un orden para la evaluación y posterior aplicación de esta tecnología a objetos, como primera aproximación la aplicación en objetos cotidianos simples y sin complejidades funcionales que compliquen y dificulten esta aplicación. Se dará prioridad a denotar las propiedades del material y la tecnología por sobre otros materiales, tratando de sacar el mayor potencial al material, al tejido y al proceso en sí de fabricación.

{3;0} Aplicación al Diseño

En el proceso de búsqueda de aplicaciones posibles de esta tecnología se pretende avanzar de a poco en las aplicaciones, la idea es partir por objetos cotidianos simples, sin mayor complejidad funcional y constructiva.

Debido a la capacidad de la tecnología para adaptarse a las superficies con una mediana precisión, y también por un tema práctico que se considera el área de trabajo de la cortadora láser¹ y el tiempo disponible², se decide trabajar con objetos que quepan dentro de un cubo de aproximadamente 250 x 250 x 500mm.



Imagen 101: Figuras en proceso de curado, A.Vidal, 2014.

1 Área de trabajo de máximo 800x450mm en las máquinas disponibles en la Facultad.

2 Bloque de 45 minutos que alcanza para cortar un tablero de MDF de 3mm con una alta densidad de líneas.



Imagen 102: Máquina cortadora Laser, A.Vidal, 2014.



Imagen 103: Proceso de bolsa de vacío del respaldo del asiento Eolian 4, A.Vidal, 2014.

{3;0;0} Caso 0: Cántaros

En base a los avances en los prototipos, se decide trabajar con geometrías simples, como cantaros, jarras, macetas. Se elige este tipo de figuras por la simpleza que tienen y la cantidad de variaciones que se realizan tanto en la forma como en el tejido. Además en estos elementos prima solo la función estética, siendo sencillo de fabricar.

Estas figuras dan la posibilidad de realizar pruebas de tipos de tejidos, patrones y evaluar su aspecto y propiedades, impacto en los costos y uso del material, complejidad o simplicidad del proceso (evolución de los prototipos para poder realizar estas figuras). Da el espacio para generar ciclos cortos de evolución de los prototipos físicos con cambios físicos evidentes dependiendo de la configuración de la definición.



Imagen 104: Estudio de variantes de cántaros, A. Vidal, 2014



Imagen 105: Armado de galleta, A. Vidal, 2014

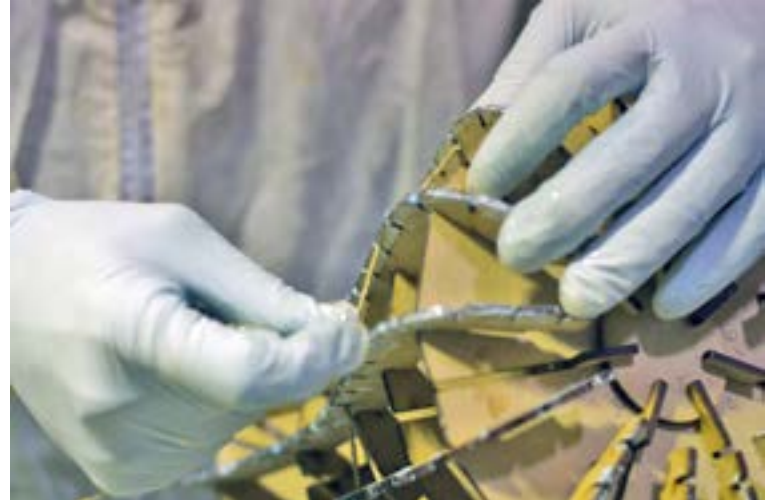
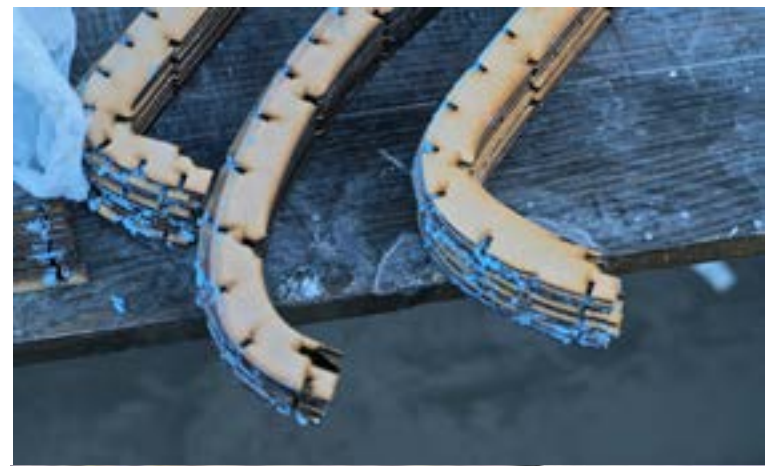


Imagen 106: Proceso de bobinado de un cántaro, A. Vidal, 2014

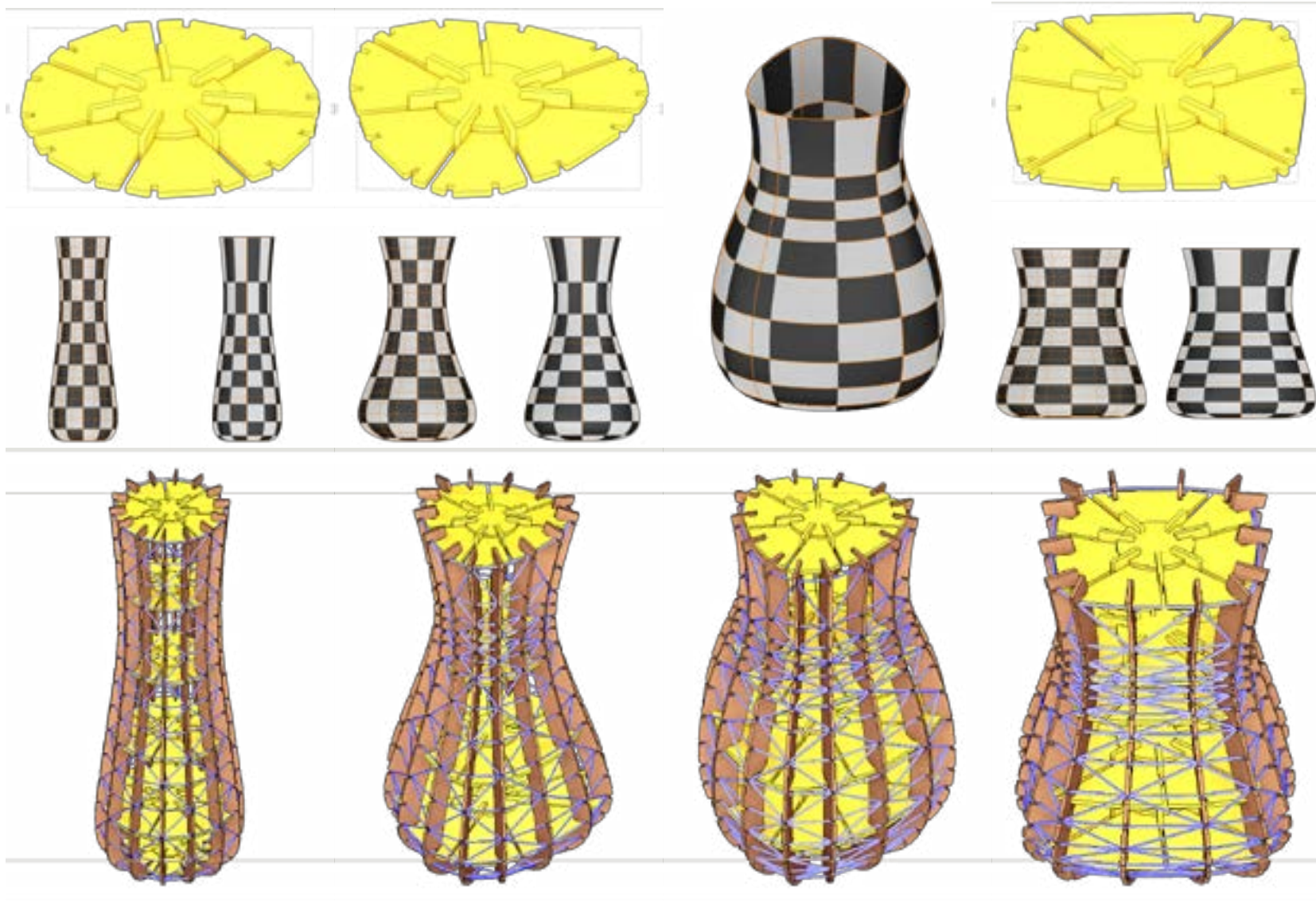


Imagen 107: Proceso de diseño, variantes de tejido, densidad y galletas sobre los cantaros, A. Vidal, 2014



Imagen 108: Tejido triaxial dibujado en Excel, A. Vidal, 2014

(8) INTRODUCCION

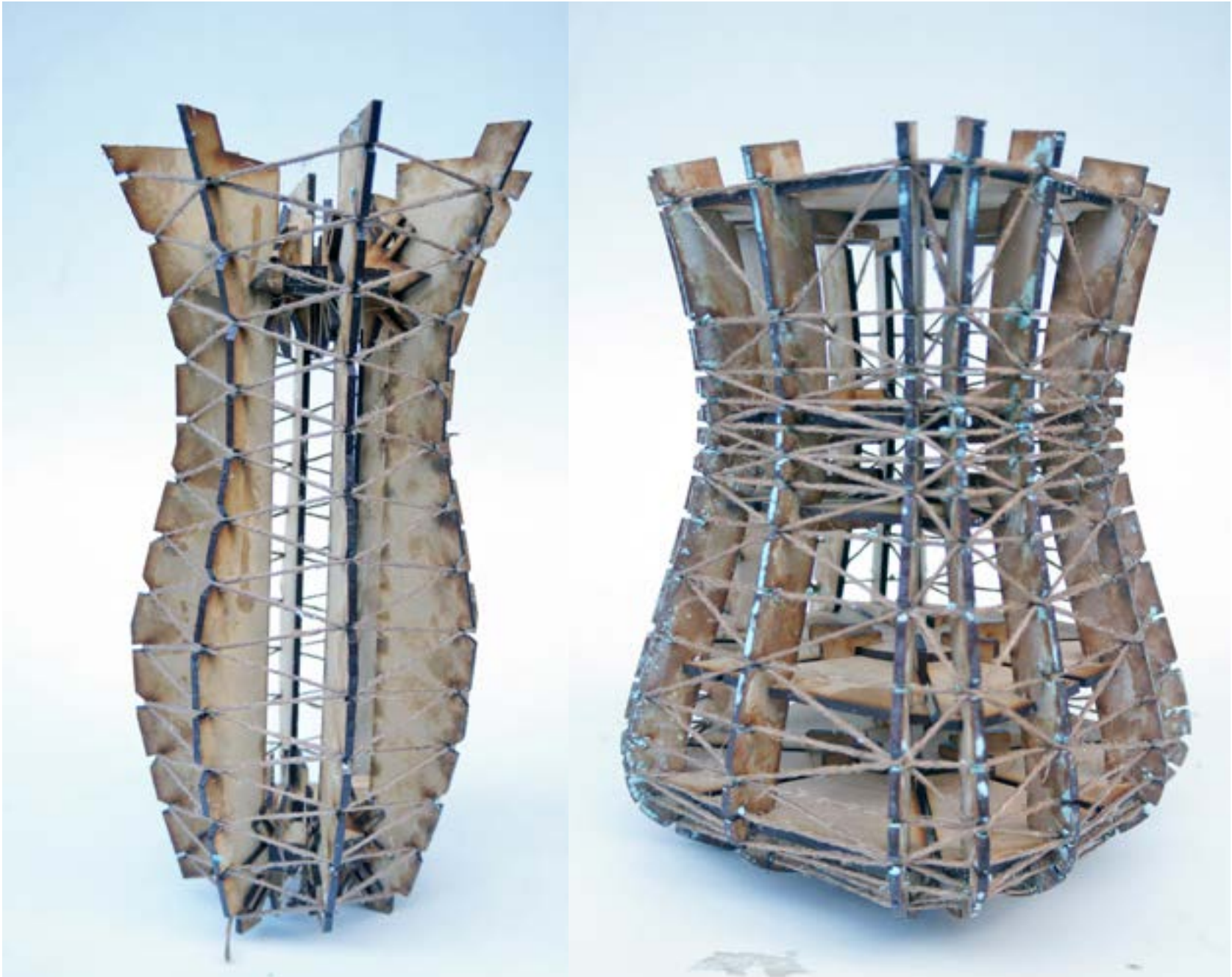
(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS



Memoria de Título - Estructuras Reticuladas de Material Compuesto



(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4.2) ANEXOS

{3;0;1} Caso 1: Como material

El proceso de envoltura por filamento, también puede generar elementos básicos de construcción que sirvan con **material** para estructurar o conformar otros objetos o artefactos. En este caso, para que se pueda utilizar como material, debe cumplir un requerimiento básico, que es el **formato** en que se presenta un material. Este formato establece un estándar de uso, que permite diseñar a partir de estos elementos.

Existen variados ejemplos de este tipo de aplicaciones en materiales compuestos, principalmente la fibra de carbono y la fibra de vidrio, donde se utilizan en formato de plancha o como tuberías.

{3;0;1;0} Tuberías

Es necesario hacer pequeñas modificaciones a la definición para poder generar tuberías. Priorizando la parametrización del perfil de la cañería y el control específico en la densidad en sectores del tubo de ser necesario.

Las tuberías y sus variantes se pueden utilizar para diversos usos:

- | |
|-------------------------------------|
| • Silla, mesa, mesón |
| • Lámparas |
| • Objetos decorativos |
| • Chasis tubular de vehículo ligero |
| • Exoesqueletos |



Imagen 109: Diferentes tipos de tuberías en fibra de carbono, CST Composites, 2013.



Imagen 110: Tuberías finalizadas, A. Vidal, 2014



Imagen 111: Tubería en proceso de bobinado , A. Vidal, 2014



Imagen 112: Tuberías de diferentes perfiles y diámetros, en proceso de curado, A. Vidal, 2014

(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS

{3;0;1;1} Planos

Para la realización de planos de genera una nueva definición que permite desarrollar tejidos planos de manera más simple que el resto de los prototipos, pues se aprovecha el plano para solo fijar los extremos límites del tejido plano que está fabricando.

En este caso, sólo cuando se desea agregar alguna condición especial de densidad en el tejido, es necesario agregar gancho que regulen la dirección de los filamentos. La densidad en este tipo de casos se puede aplicar para diseñar planos con zonas específicas para permitir el plegado, debido a las propiedades que adquiere el material al aumentar la densidad del tejido y disminuir el ángulo entre sus elementos.

Dentro de los usos posibles:

- | | |
|---|--|
| • | Núcleo de compuesto estructurado sándwich |
| • | Contenedores |
| • | Refuerzo de panel estructural |
| • | Soporte para crecimiento de plantas y flores |

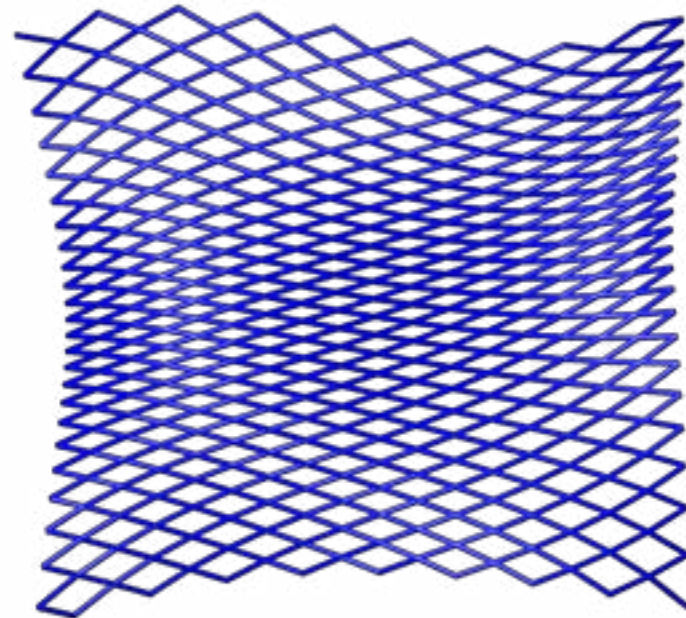
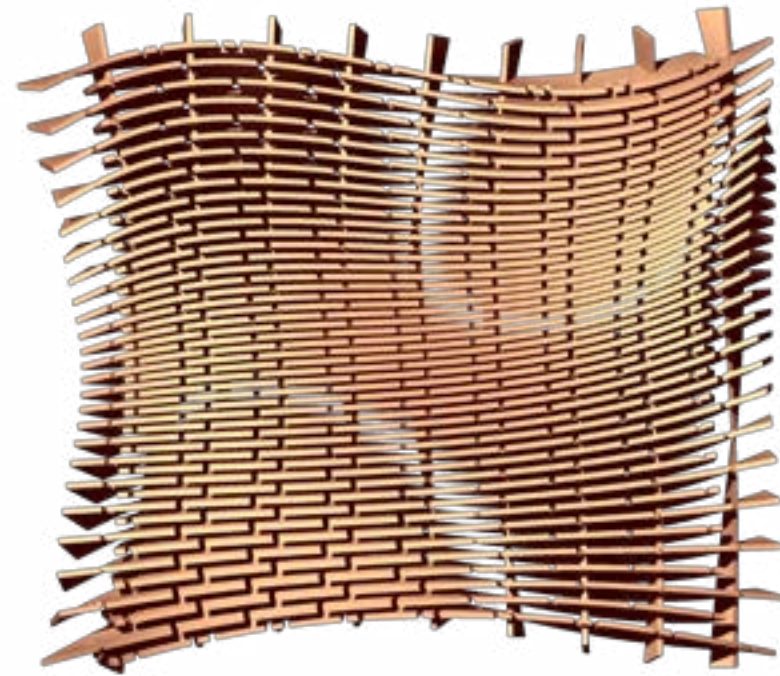


Imagen 113: Ejemplo de una superficie que podría servir como núcleo de material compuesto, A. Vidal, 2014

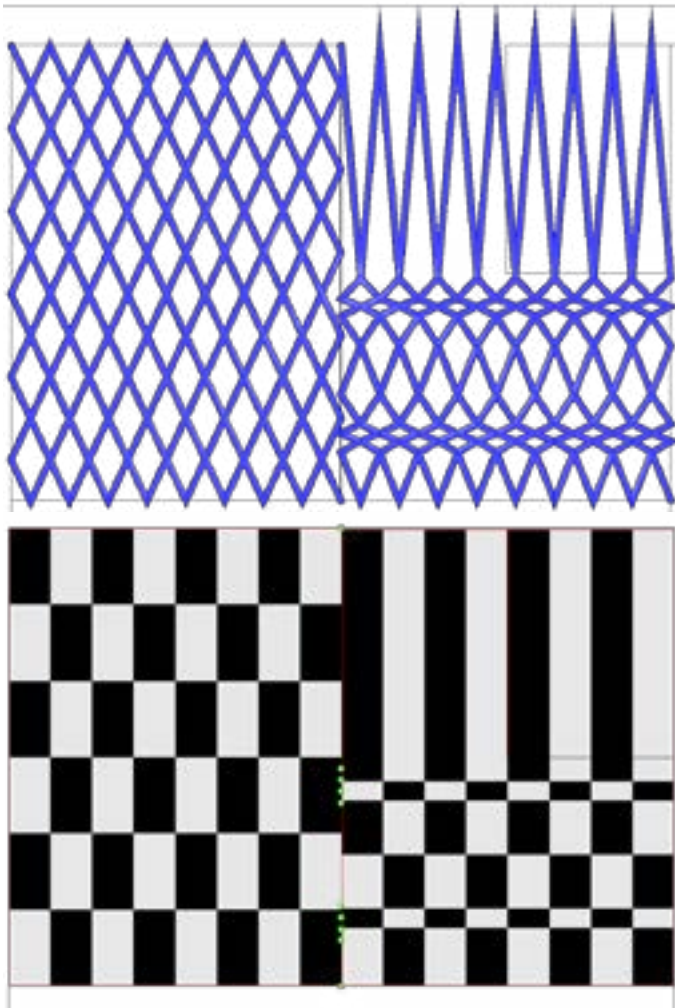


Imagen 115: Variación en la densidad y distribución de las curvas NURBS en un plano , A. Vidal, 2014

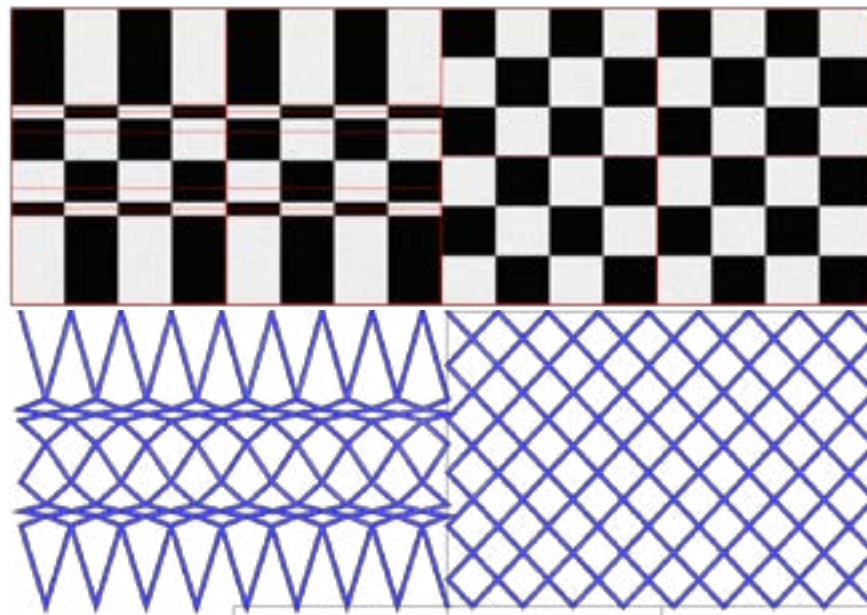


Imagen 114: Otra variante de puntos de control y el efecto en la superficie, A. Vidal, 2014

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	18
4		filas	12
5		vuelatas	11
6		nodos	199
7			

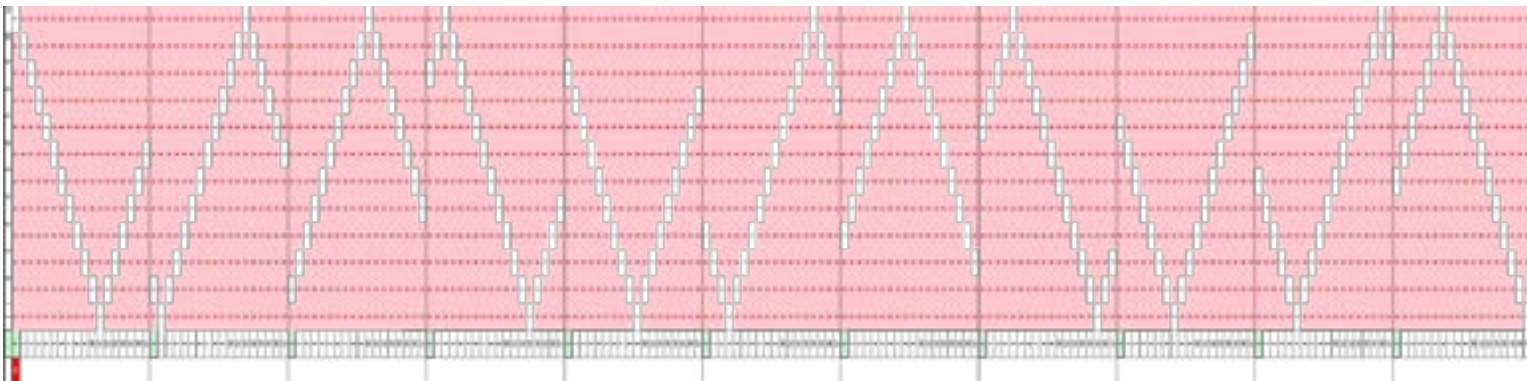


Imagen 116: Tubería en proceso de bobinado , A. Vidal, 2014

{3;0;2} Caso 2: Eolian 4

La aplicación en el proyecto Eolian¹ es un caso excepcional, dentro de lo que se pretende realizar como primeras aplicaciones, puesto que se escapa del criterio inicial, pero esta la oportunidad de aplicarlo y además de que responde a lo que inicialmente se pensó que en algún momento sería una de sus grandes aplicaciones, como sustituto de núcleos para compuestos estructurados tipo sándwich, ya que este tipo de compuestos es utilizado extensamente en la fabricación del vehículo eléctrico solar, pues ofrece buena resistencia estructural a muy bajo peso.

Aplicar esta tecnología como núcleo para compuestos estructurados tipo sándwich establece una gran oportunidad de utilizar toda la gama de herramientas digitales disponibles, puesto que es posible: ***Adaptarse a la forma digitalmente, creando piezas únicas y específicas para aplicarse en sectores problemáticos de reforzar.***

Las propiedades de adaptarse a la curvatura de este proceso tecnológico podría ser provecho en situaciones específicas en estructuras de refuerzo por sándwich, en donde los núcleos disponibles, por los recursos de proyecto, no logran adaptarse a las formas complejas. Esto sucede tanto como en el asiento y rincones del carenado² del vehículo solar Eolian4.

Se divide en dos partes esta aplicación, en ambas, la aplicación de esta tecnología es como núcleo de estructura de sándwich. En la primera, se utiliza para estructurar y reforzar el asiento del Eolian y en el segundo se utilizara en rincones donde la utilización de los núcleos disponibles se hace complicado.

¹ El proyecto Eolian es una iniciativa de estudiantes que busca desarrollar vehículos eléctricos con sistema de carga solar o auto solar. Ahora el proyecto Eolian en su cuarta versión presentará un vehículo para dos pasajeros, biplaza, en un intento por aproximar las tecnologías utilizadas a un uso cotidiano.

² Revestimiento de polímero reforzado con fibras, como la fibra de vidrio o carbono, que se utilizan motocicleta y vehículos ligeros y de competición. Dentro de las funciones del carenado es primero, dar forma, estética, protección y mantenimiento, entre otros usos. En el caso del eolian y los vehículos de competición su principal función es la aerodinámica.

{3;0;2;0} Aplicación en el asiento

El asiento Eolian es un diseño de dos partes, base y respaldo, que se fabrica en compuesto estructurado sándwich con fibra de carbono y núcleo de espuma troquelada³.

La base es el lugar donde más problemas se presentan para armar el sándwich debido a que la espuma, a pesar de estar troquelada y poder copiar curvatura, no logra adaptarse de forma adecuada debido a los cambios rápidos de curvatura presentes en el diseño de la base del asiento.

Se define un tejido uniforme triaxial, más denso de lo normal para lograr con mayor detalle la curvatura, una mayor densidad y copiar el espesor de la espuma para que sean comparables. Este caso se desarrolla como un prototipo más, pues evalúa parámetros que no han sido utilizados anteriormente.

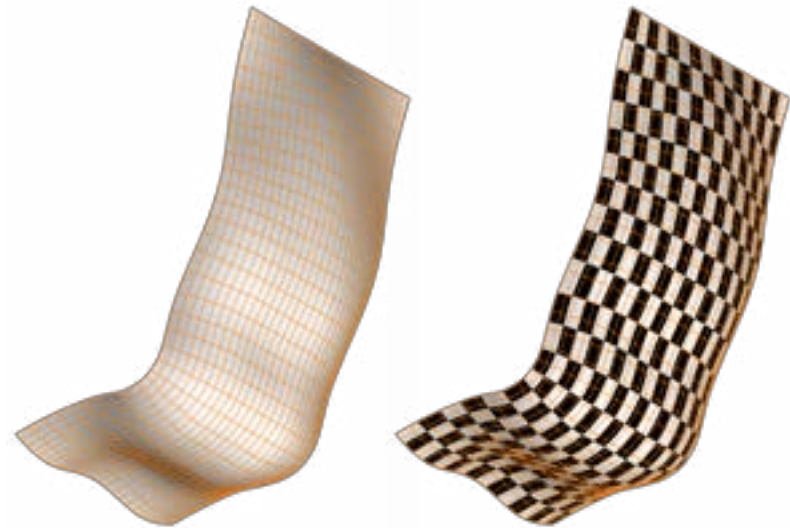


Imagen 117: Asiento Eolian 4, basado en trabajo de Eduardo Torrealba, A. Vidal, 2014

³ Dinivycell H60 de 3mm de espesor.

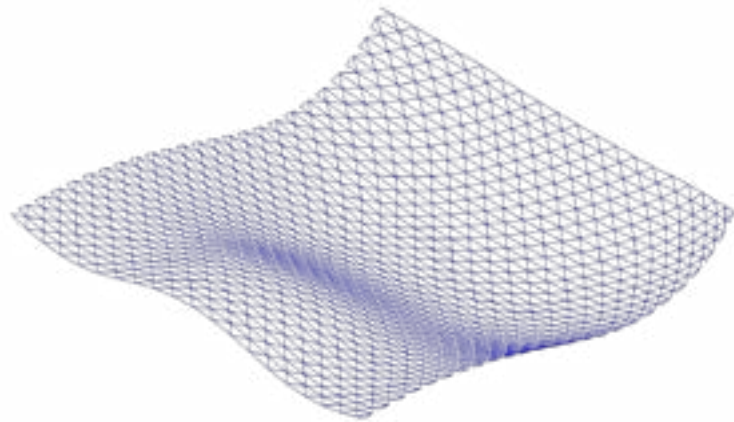


Imagen 118: Tejido triaxial con la forma de la base del asiento, A. Vidal, 2014



Imagen 119: Estructura de soporte para el generado del tejido del respaldo del asiento, A. Vidal, 2014

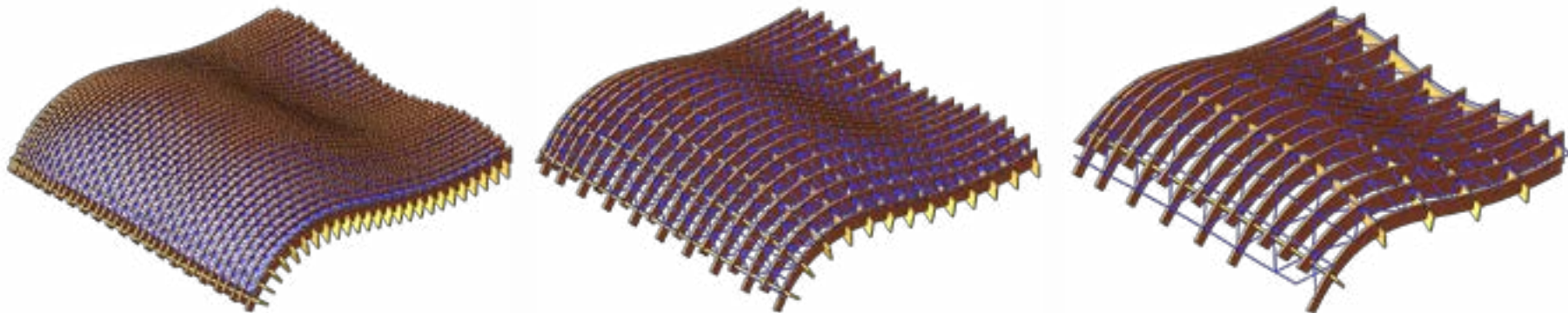


Imagen 120: Variantes de tejidos triaxiales y su efecto en el soporte para la construcción, A. Vidal, 2014



Imagen 121: Tejido triaxial para superficies abiertas, dibujado en Excel, A. Vidal, 2014

{3;0;2;1} Aplicación en el Carenado

Producto del primer acercamiento del proceso utilizado como núcleo de compuesto estructurado sándwich es posible determinar a simple vista otras aplicaciones dentro del vehículo solar Eolian 4. Entre estas aplicaciones se encuentra el carenado, que es completamente construido en compuesto estructurado sándwich.

En el carenado es posible identificar puntos críticos que traerán problemas al momento de realizar el proceso de laminado, ya sea por impregnación manual o por infusión. Estas partes se identifican y se hacen recortes de las superficies que se pretenden reemplazar por un núcleo generado con el proceso de envoltura por filamento. Estos puntos críticos se discriminan por la presencia de doble curvatura en la superficie, cosa que la espuma disponible no se logra adaptar con facilidad o simplemente habría que fragmentarlo para realizarlo.

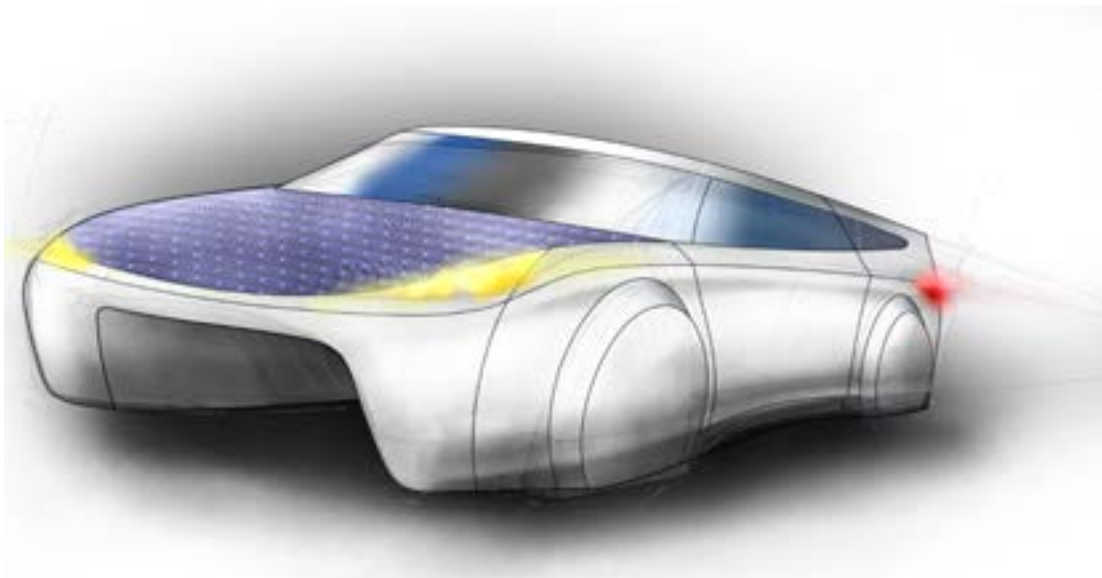


Imagen 123: Concepto del vehículo eléctrico solar Eolian 4, A. Vidal, 2014



Imagen 122: Interior de la puerta con detalles de la ubicación de los núcleos de compuesto sándwich, A. Vidal, 2014

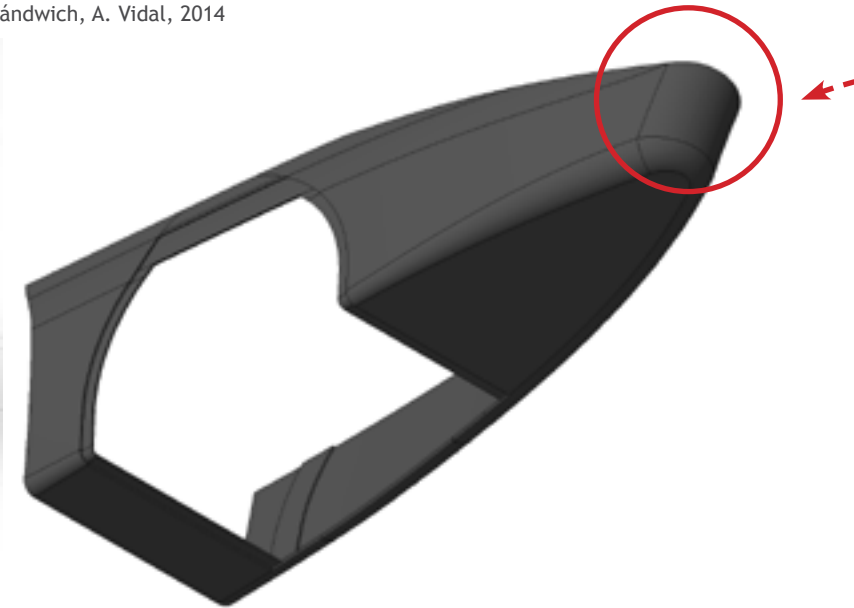


Imagen 124: Tapa de rueda delantero con la compleja punta para aplicar el núcleo para sándwich, A. Vidal, 2014

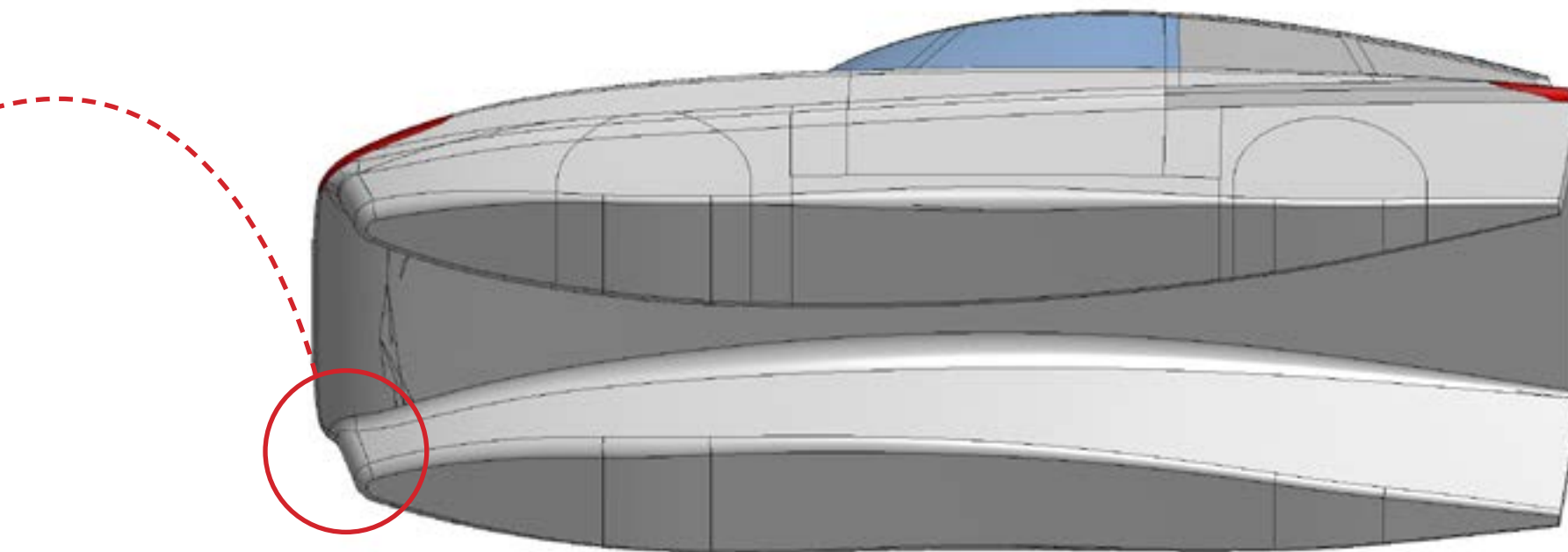
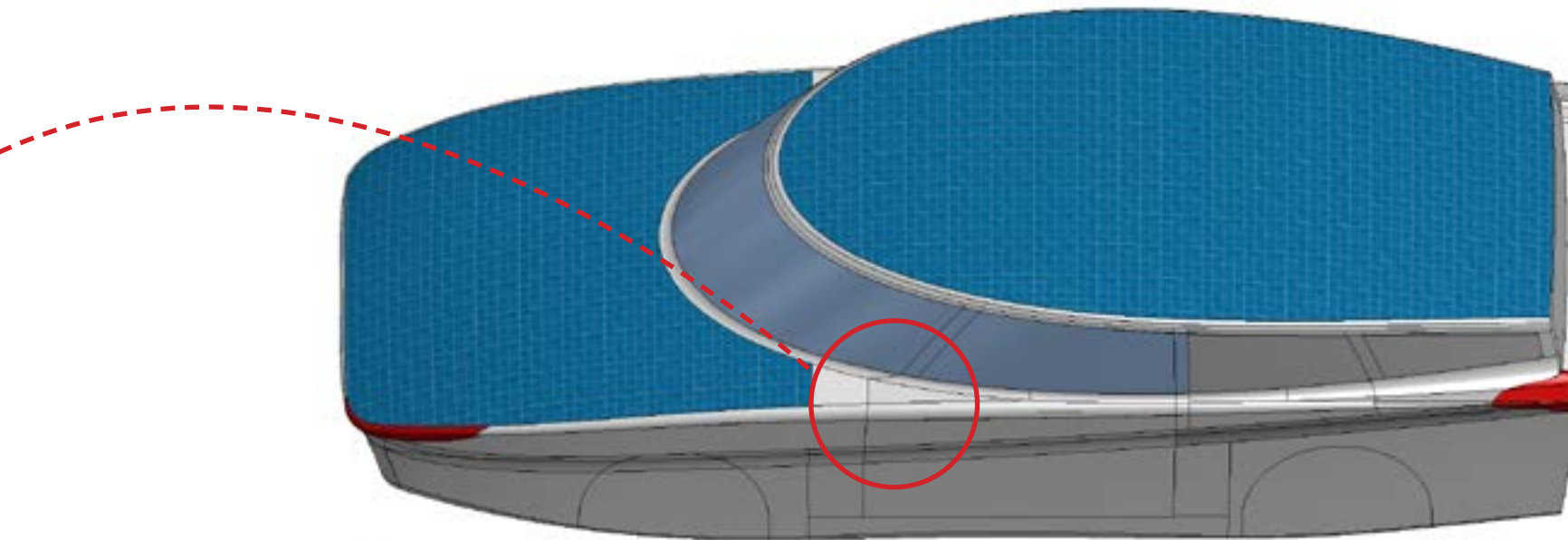
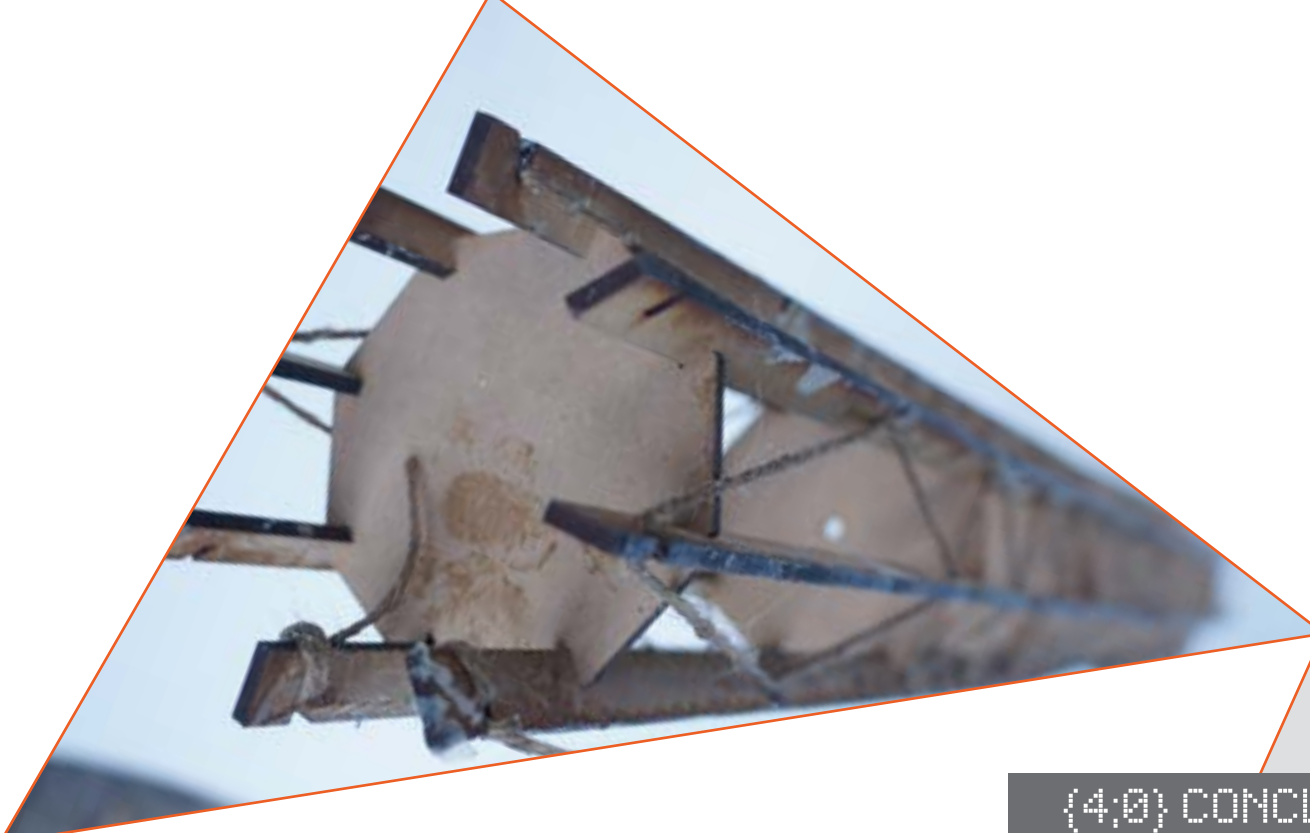


Imagen 125: Puntos críticos en la superficie del vehículo que son potenciales zonas para aplicar núcleos generados con el proceso propuesto, A. Vidal, 2014





{4;0} CONCLUSIONES

{4;0} Conclusiones

La tendencia global hacia la masificación del diseño colaborativo y la fabricación doméstica de nuestros productos, es un punto de partida interesante en donde nuestra labor como diseñador cumple un rol fundamental. Los procesos involucrados para desarrollar nuestras ideas limitan o amplían, en ciertos puntos, las posibilidades creativas en estos espacios. Al bajar de nivel un proceso industrializado como el filament winding es posible establecer un proceso con características similares pero con requerimientos mucho menores, que permitirán no solo crear objetos y estructuras a un menor costo, sino que también dar un paso para que las tecnologías relacionadas con los materiales compuestos, y la producción mediante polímeros reforzados con fibra, dejen de ser de alto costo y exclusivos de las industrias de alto rendimiento como la aeroespacial y el deporte motor.

La principal característica del proceso propuesto de envoltura por filamento es que se pueden desarrollar objetos únicos y personalizados pero sin dejar de lado los costos asociados y la producción a baja escala, como son las series cortas.

El conocimiento, relación y manejo de todas las variables involucradas en un problema son fundamentales para llegar a una solución integral del problema, de las infinitas soluciones que pudiesen existir.

En este ámbito vale la pena mencionar el nivel de dominio que es posible obtener con el proceso. Donde las variables controladas son determinantes en la efectividad del proceso mismo. Estas variables son las siguientes:

Variables directas de la definición:

- Dibujo del patrón en Excel.
- Manejo de la densidad con los puntos de control de las curvas NURBS.
- Cantidad de metros necesarios para realizar el bobinado.
- Dibujos para el corte de costillas y galletas.

Variables externas, base de datos de materiales:

- Costo por metro de cuerda o hilo.
- Costo de resina por cada metro de cuerda o hilo.
- Resistencia de los materiales.
- Tiempo de uso de la resina.

El uso del *Lenguaje de Programación Visual* es una herramienta muy poderosa para nuestra disciplina, pues permite utilizarla como una la plataforma de desarrollo de pseudo-programas. Estos borradores de programas dan el potencial de generar algoritmo y condiciones de diseño que serian difíciles de automatizar de otra manera. En el diseño siempre se deben determinar reglas y condiciones que van definiendo el rumbo y enfoque de lo que se esta desarrollando, por lo que, al diseñar, siempre nos estamos generando reglas, a veces sin declararlas, y poder darse cuenta y lograr determinar estas reglas y definirlas, es un desafío pero que logra clarificar el modo en que se puede dar a conocer nuestro trabajo.

Una de las virtudes del estado en que esta el proceso son todas las posibilidades de desarrollo y temáticas a profundizar que posee. Por ahora el espectro de soluciones que son visibles para el proceso son finitas, pero con cada avance que se realice irá ampliando este espectro de aplicaciones y se espera que el proceso se logre extender en los espacios y comunidades maker. Esta ampliación en el campo de soluciones fue posible de ver en el proceso mismo de búsqueda de aplicaciones para el diseño, en donde para cada caso, fue necesario profundizar en algún aspecto específico que define el algoritmo, generando una constelación de herramientas que se complementan para solucionar distintos tipos de problemas, se convierte en un sistema coordinado de soluciones.

Las temáticas que son posibles de visualizar para su perfeccionamiento y refinamiento se describen a continuación.

{4;0;1} Temáticas a profundizar

Ranuras	Sistema de lectura de ranuras, por colores, pestañas, números, figuras, etc. Sistema de ranuras intercambiables.
Costillas	Materialidad de las costillas, propiedades de flexibilidad del material para adaptarse a figuras con eje curvo o helicoidal.
Galleta	Materialidad de la galleta, manera en que la galleta colapse.
Definición	Mejorar la velocidad de la definición optimizando y reduciendo y simplificando la cantidad de operaciones. - Optimizar archivo Excel para mejorar la velocidad de lectura de Excel - Traspasar la definición a código C# o Python.
Tejido	Implementación de tejido tipo estructura panal de abeja honeycomb, Implementación de tejido tipo cuadriaxial.
Hilos, cordeles y cuerdas	Realizar trenzados de hilos para la aplicación y uso en núcleos para sándwich. Análisis de elementos finitos
Ensayos mecánicos	Realizar todos los ensayos necesarios para validar los datos obtenidos.
Acabado superficial	Ciertos hilos y cuerdas queda con irregularidades en su superficie.
Vínculos	Unión de elementos creados con esta tecnología con otros materiales y entre sí.

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

{4;1} ANEXOS

{4:2} REFERENCIAS

- Abdalla, F. H., Mutasher, S. A., Khalid, Y. A., Sapuan, S. M., Hamouda, A. M., Sahari, B. B., & Hamdan, M. M. (2005). *Design and fabrication of low cost filament winding machine*. Selangor: Universiti Putra Malaysia.
- Aerospace Engineering. (2013, June 28). *Fancy a Sándwich?* Retrieved from Aerospace Engineering Blog: <http://aerospaceengineeringblog.com/sandwich-panel/>
- Autodesk. (2011). *Imagine Design Create*. New York: Melcher Media.
- Bobinado Filamentario. (Septiembre de 2010). Obtenido de Buenas Tareas: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Bobinado-Filamentario/755064.html>
- Brunold Software. (2012). *Brunold Software - DB-BEAD*. Retrieved from Brunold Software: <http://www.brunoldsoftware.ch/dbb.html>
- Brunold Software. (2012). *Brunold Software - DB-WEAVE*. Retrieved from Brunold Software: <http://www.brunoldsoftware.ch/dbw.html>
- Campos, P. (2012). *Protean: aplicacion de fibras naturales*. Santiago.
- Caton, M. (2013). *Fiber House - Filament Winding Housing Prototype*. Retrieved from Michael Caton | Spaces, Objects, Thoughts & Things: <http://michaelcaton.com/Fiber-House>
- Chainmaillekid. (2013). *New idea to make Longboards using carbon fiber+Kevlar and RIM*. Obtenido de Silverfish Longboard: <http://www.silverfishlongboarding.com/forum/longboard-board-building-q-discussions/310631-new-idea-make-longboards-using-carbon-fiber-kevlar-rim.html>
- Compositemood. (2013, March 7). *Clean Wet-Filament Winding New Technology Developed by UK Consortium Being Showcased at JEC Europe 2013, Paris*. Retrieved from Compositemood: <http://www.compositemood.com/?tag=clean-technology>
- Comptec Inc. (2013). *Filament Wound Products: Overview*. Obtenido de Comptec: http://www.comptecinc.com/filament_wound.html
- Core77. (2012, November 26). *Weaving a Bicycle: The RaceBraid by Jacob Haim and Munich Composites*. Retrieved from Core77: http://www.core77.com/blog/materials/weaving_a_bicycle_the_racebraid_by_jacob_haim_and_munich_composites_23902.asp
- Cornerstone Research Group, Inc. (2003). *Smart Mandrels™*. Retrieved from Cornerstone Research Group, Inc: <http://www.crrgp.com/tech-center/smart-mandrels>
- Delta 7. (2013). *IsoTruss® Carbon Fiber Bike Frame Technology*. Retrieved from Delta 7: <http://www.delta7bikes.com/isotruss-bike-technology.htm>
- Dow, N. F. (1968). *Patente n° US3446251 A*. United States.
- Dubberly, H. (2005, March 18). *How Do You Design?* Retrieved from Dubberly Design Office: <http://www.dubberly.com/articles/how-do-you-design.html>
- Erhard, G. (2006). *Designing with Plastics*. Hanser Gardner Publications.
- Etamax Engineering. (2010, October 16). *Filament winding technique*. Retrieved from Industry sourcing : <http://us.industrysourcing.com/news/49884.aspx>
- Fan, H., Yang, L., Sun, F., & Fang, D. (2013). *Compression and bending performances of carbon fiber reinforced lattice-core sandwich composites*. Nanjing: Hohai University.
- Fanucci, J. P., King, M. J., & Gorman, J. J. (2003). *Patent No. US 2003/0173459 A1*. United States.
- Filament Winding blog*. (17 de April de 2011). Obtenido de Filament Winding blog: <http://filamentwinding.wordpress.com/>
- Finnegan, K. A. (2007). *Carbon Fiber Composite Pyramidal Lattice Structures*. University of Virginia.
- Francom, L. R., & Jensen, D. W. (1999). *Patent No. US5921048 A*. United States.
- Hinke, C. (2013, September 2). *Láser Institute of America*. Retrieved from Digital Photonic Production and Its Emerging Opportunities: <http://www.lia.org/blog/2013/09/digital-photonic-production-and-its-emerging-opportunities/>
- Hou, A. (1997). *Buckling Strength of Composite Lattice Structures*. Retrieved from University of Oklahoma Engineering Media Lab: <http://eml.ou.edu/gramoll/Research/buckling.htm>
- ICD & ITKE. (2013, March 5). *Research Pavilion by ICD and ITKE*. Retrieved from de zeen magazine: <http://www.dezeen.com/2013/03/05/research-pavilion-by-icd-and-itke/>
- ILC Dover. (2013). *Rigidizable Structures & Technologies*. Obtenido de ILC Dover: <http://www.ilcdover.com/Rigidizable-Structures-Technologies/>
- Jensen, D. W., & Francom, L. R. (2012). *Patent No. EP1358392 B1*. United States.
- Johansen, B. S., Lystrup, A., & Jensen, M. T. (1998). *CADPATH: a complete program for the CAD-, CAE- and CAM- winding of advanced fibre*

- composites. Roskilde: Risø National Laboratory.
- Leavit, R. (1976). *Artist and Computer*. Harmony Books.
- Leigh. (2008, December 13). *More Weaving Software That Can Run On Linux*. Retrieved from Leigh's Fiber Journal: <http://leighsfiberjournal.blogspot.com/2008/12/more-weaving-software-that-can-run-on.html>
- Li, H., Liang, Y., & Bao, H. (2006). *Splines in the parameter domain of surfaces and their application in filament winding*. Shanghai: East China Normal University.
- Liu, Y.-J. (2012). *Exact geodesic metric in 2-manifold triangle meshes using edge-based data structures*. Beijing: Tsinghua University.
- Mamiliano, D. (1991). *Patente n° US5351722*. United States.
- Mamiliano, D. (2000). Madini Studio - *The fabric*. Obtenido de Madini Studio: <http://web.tiscali.it/tetraxial/The%20fabric.htm>
- Moorhead & Moorhead. (2013). *Moorhead & Moorhead Architecture / Industrial Design*. Obtenido de Moorhead & Moorhead: <http://moorheadandmoorhead.com/>
- Moorhead & Moorhead. (2011, December 19). *moorhead + moorhead: carbon fibre filament wound stool*. Retrieved from designboom: <http://www.designboom.com/design/moorhead-moorhead-carbon-fibre-filament-wound-stool/>
- Morozov, E. V. (2006). *The effect of filament-winding mosaic patterns on the strength of thin-walled composites shells*. Durban: University of KwaZulu-Natal.
- Najjar, L. J. (1990). *Rapid Prototyping*. Atlanta, GA: IBM Corporation.
- NASA. (2007). *Open-Lattice Composite Design Strengthens Structures*. Retrieved from NASA spinoff: http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/ip_1.html
- Novatec Inc. (2013). *Novatec Isotruss Lab*. Retrieved from Novatec: <https://www.novatek.com/labs-detail.php?projectId=34>
- Polini, W., & Sorrentino, L. (2005). *Influence of winding speed and winding trajectory on tension in robotized filament winding of full section parts*. Cassino: Università degli Studi di Cassino.
- Popova, M. (2013). *Mathematician Vi Hart Explains Space-Time with a Music Box and a Möbius Strip*. Obtenido de brain pickings: <http://www.brainpickings.org/index.php/2013/02/11/vi-hart-space-time-music/>
- Ridges, M. D., Wilson, E. A., & Kipp, M. D. (2013). *Patent No. US 2013/0243989 A1*. United States.
- Robotically Fabricated Composites Pavilion*. (2013, March 19). Retrieved from Composites Today: <http://www.compositestoday.com/2013/03/robotically-fabricated-composites-pavilion/>
- Smoothy Ltd. (2011). *Carbon Fibre Filament Winding*. Retrieved from Vimeo: <http://vimeo.com/27086954>
- Tice Jr., J. H. (1934). *Patent No. 1955986*. United States.
- Trenzaduria Fraile. (2013). *Listado de Productos*. Obtenido de Trezaduria Fraile: <http://www.trenzaduriafraile.cl/listado-productos.aspx?idcat=40>
- Uddin, M. S., Morozov, E. V., & Shankar, K. (2013). *The effect of filament winding mosaic pattern on the stress state of filament wound composite flywheel disk*. Canberra: The University of New South Wales.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (1995). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill.
- Wang, R., Jiao, W., Liu, W., Yang, F., & He, X. (2010). *Slippage coefficient measurement for non-geodesic filament-winding process*. Harbin: Harbin Institute of Technology.
- Wilson, E. A., Ridges, M. D., & Kipp, M. D. (2010). *Patent No. US 2010/0064612 A1*. United States.
- Yin, S., Wu, L., & Nutt, S. (2013). *Compressive efficiency of stretch-stretch-hybrid hierarchical composite lattice cores*. Los Angeles: University of Southern California.
- Zheng, Q., Ju, S., & Jiang, D. (2013). *Anisotropic mechanical properties of diamond lattice composites structures*. Changsha: National University of Defense Technology.

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4.2} ANEXOS

{4;3;0} Esquemas

Esquema 1: (Arriba) Contexto General, (Abajo) Campo de interacciones de las disciplinas, elaboración propia.

Esquema 2: Metodología, elaboración propia.

Esquema 3: Plan de Trabajo, elaboración propia.

Esquema 4: Trenzado, Elaboración propia

Esquema 5: Componentes de un tejido plano, Elaboración propia

Esquema 6: Tejido Tafetán (plain weave), Elaboración propia.

Esquema 7: Tejido Sarga (twill weave), Elaboración propia.

Esquema 8: Tejido Raso (satin weave), Elaboración propia.

Esquema 9: Tejido triaxial apretado, Elaboración propia.

Esquema 10: Tejido triaxial suelto, Elaboración propia.

Esquema 11: Tejido tetraxial suelto, Elaboración propia.

Esquema 12: Modelado por compresión, Elaboración propia.

Esquema 13: Bolsa de vacío, Elaboración propia.

Esquema 14: Wet layup, Elaboración propia.

Esquema 15: Spray-up Choping Process, Elaboración propia.

Esquema 16: Trenzado multifilamento, Elaboración propia.

Esquema 17: Bladder Molding, Elaboración propia.

Esquema 18: Proceso de Infusión con molde rígidos, Elaboración propia.

Esquema 19: Elementos básicos de una estructura de sándwich. Elaboración propia.

Esquema 20: Definición de una curva B-spline. Elaboración propia.

Esquema 21: Superficie NURBS, construida a partir de dos curvas NURBS,

distribuido en dos direcciones U y V. Elaboración propia.

Esquema 22: Distribución U y V en forma de matriz en una superficie. Elaboración propia.

Esquema 23: Proceso de diseño generativo . Hartmun Bohnhacker 2010.

Esquema 24: Proceso de Prototipado rápido, adaptado Lawrence J. Najjar, 1990.

Esquema 25: Ecosistema FabLab, adaptado Klein, 2013.

Esquema 26: Estructura de niveles propuesto, Elaboración propia.

Esquema 27: Procesos tecnológicos de siguiente generación, Elaboración propia.

Esquema 28: (der.) ADN del Proyecto, Elaboración propia.

Esquema 29: Conceptual, Espectro inicial de posibilidades, Elaboración propia.

Esquema 30: General del Proceso de envoltura por filamento, Elaboración propia.

Esquema 31: Matriz dentro de matriz, Elaboración propia.

Esquema 32: Combinación diseño generativo y Prototipado rápido, Elaboración propia.

Esquema 33: Evolución de Prototipado, Elaboración propia.

Esquema 34: Conclusión del proceso experimental de envoltura por filamento, Elaboración propia.

ENSAYOS{4;3;1} Imágenes

Imagen 1: Tejido plano de fibra de carbono en un sándwich con Honeycomb, Aerospace Engineering, 2013.

Imagen 2: Primer aeronave de entrenamiento con fuselaje en FRP, biplaza WWII de U.S. Air Force, Circa, 1943.

Imagen 3: Chasis mono-casco construido con CFRP, McLaren Automotive,

2013.

Imagen 4: (izq.) Fibra de Carbono; (centro) Tejido de Aramida; (der.) Fibra de vidrio, Easy Composites Ltd., 2014

Imagen 5: (izq.) Lino; (centro) Yute; (der.) Sisal, Easy Composites Ltd., 2014

Imagen 6: Fieltro de diferentes colores, King, 2012

Imagen 7: Detalle de fieltro, Can Stock Photo, 2007

Imagen 8: Tejido tricotado, M. Leiva, 2012

Imagen 9: Mat de fibra de vidrio, Easy Composites, 2014

Imagen 10: Tejido Híbrido de Fibra de carbono y Aramida, Easy Composites, 2014.

Imagen 11: Tejido cosido biaxial, Easy Composites, 2014.

Imagen 12: Moldeado por compresión con tejido pre-impregnado, Clear Carbon and Components, Inc. 2013.

Imagen 13: Autoclave en las instalaciones de TORAY, Japón.

Imagen 14: Detalle de una Chop Gun, Graco Inc. 2014

Imagen 15: Proceso automatizado de trenzado de filamentos 1. Munich Composites GmbH 2014

Imagen 16: Proceso automatizado de trenzado de filamentos 2. Munich Composites GmbH 2014.

Imagen 17: Ovillos de fibras en el proceso de trenzado automatizado de filamentos . Core77 2012

Imagen 18: Esquema de proceso de bobinado por filamento, The University of Birmingham's School of Metallurgy and Materials 2013.

Imagen 19: Proceso de bobinado por filamento, Composites Solutions 2011

Imagen 20: Proceso de envoltura de mandril manual con cintas de fibra de carbono en seco, para luego realizar proceso de infusión con bolsa de vacío. Smoothy Ltd. 2013

Imagen 21: Cuadro de bicicleta moldeado por vejiga en fibra de carbono, Hi-

Torque Publications Inc. 2013.

Imagen 22: Proceso de infusión con bolsa de vacío en el casco de una embarcación, Maccaferri 2014.

Imagen 23: Honeycomb de Aramida, Easy Composites Ltd, 2014.

Imagen 24: Detalle de Dinivymat: espuma troquelada divinycell H60. Fibreglast, 2012.

Imagen 25: Plancha Easycell ranurado de distintos espesores. Easy Composites, 2014.

Imagen 26: Lámina Lantor-Soric Coremat. Easy Composites, 2014.

Imagen 27: Entorno de edición 2D en Autodesk AutoCAD 2010. Propia, 2014.

Imagen 28: Entorno de edición 3D en Autodesk Inventor 2013. Propia, 2014.

Imagen 29: (Arriba) Ejemplo de diagrama en Microsoft VPL . Microsoft 2012 (Abajo) "hello, world" escrito en C++, Propia 2014.

Imagen 30: Operación básica de resta creada con componentes en Grasshopper. David Rutten, 2010.

Imagen 31: Proceso de simulación de Infusión con bolsa de vacío en el casco de una embarcación con el software RTM-Worx. MathFem, 2013.

Imagen 32: Imagen de configuración de operaciones para el proceso de mecanizado en el programa RhinoCAM . Dobrzynski, 2013.

Imagen 33: Imagen de proceso de fresado en poliestireno expandido. MESA-studio 2010.

Imagen 34: Cortadora Láser cortando y grabando MDF de 3mm . Elaboración. Propia 2013.

Imagen 35: (izq.) Impresora 3D MakerBot Replicator 2, MakerBot 2014 ; (der.) Miniatura impresa en 3D. Caters News Agency, 2013.

Imagen 36: Fab Lab Tulsa, Oklahoma . Becca 2013.

Imagen 37: Área común en Santiago Makerspace . StgoMakerSpace 2014

Imagen 38: Hackerspace NYC Resistors . Brewster 2014

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

Imagen 39: Proceso de mandrel wrapping + infusión para la fabricación de altavoces exclusivos. (Smoothy Ltd, 2011).

Imagen 40: Altavoces de diseño exclusivo. (Smoothy Ltd, 2011).

Imagen 41: Research pavilion, Trabajo en conjunto de Institute for Computational Design (ICD) y el Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE). (ICD & ITKE, 2013).

Imagen 42: Taburetes con diferentes patrones de bobinados en fibra de carbono. (Moorhead & Moorhead, 2011).

Imagen 43: Taburete en fibra de carbono. (Moorhead & Moorhead, 2011).

Imagen 44: La tecnología IsoTruss da soluciones estructurales que son superiores en peso, resistencia y son más eficiente que los compuestos tradicionales de plásticos reforzados con fibra, metales, o madera. (IsoTruss 2013)

Imagen 45: Componente aeroespacial ultraligero con estructura reticulada, Fraunhofer ILT, 2011

Imagen 46: Se parte de volúmenes geométricos básicos para el primer estudio, A. Vidal, 2014

Imagen 47: Se puede manipular tanto la caja que orienta las ranuras como el volumen geométrico, A. Vidal, 2014

Imagen 48b: Mandril dentado con un eje cuadrado, A. Vidal, 2014

Imagen 49: Líneas de proyección de los cortes que generaran las ranuras en el volumen, A. Vidal, 2014

Imagen 50: Figuras que construyen el mandril dentado, A. Vidal, 2014

Imagen 51: Figuras que construyen el mandril dentado, A. Vidal, 2014

Imagen 52: Aproximación a una caja, A. Vidal, 2014

Imagen 53: Aproximación a una esfera, A. Vidal, 2014

Imagen 54: Volumen a "florero" a copiar, A. Vidal, 2014

Imagen 55: Distribución uniforme de las isocurvas en la superficie, A. Vidal, 2014

Imagen 56: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

Imagen 57: Archivos para corte laser, A. Vidal, 2014

Imagen 58: Elemento principal de la "galleta", A. Vidal, 2014

Imagen 59: Diferentes parámetros van generando diferentes tejidos, A. Vidal, 2014

Imagen 60: Detalle de vínculo entre galletas y costillas, A. Vidal, 2014

Imagen 61: Variación del tejido genera variaciones en las costillas, A. Vidal, 2014

Imagen 62: Galleta armada, A. Vidal, 2014

Imagen 63: Se debe tener cuidado en alinear bien las costillas para que no se deforme la figura, A. Vidal, 2014

Imagen 64: Mandril armado junto un ovillo de yute, A. Vidal, 2014

Imagen 65: Prueba en seco, detalle de amarre inicial, A. Vidal, 2014

Imagen 66: Prueba de concepto, evolución del bobinado en seco, A. Vidal, 2014

Imagen 67: Insumos básicos necesarios, A. Vidal, 2014

Imagen 68: Hilo de yute recién impregnado con resina epoxi, A. Vidal, 2014

Imagen 69: Fibra curada con la forma final, A. Vidal, 2014

Imagen 70: Variante de Tejido, A. Vidal, 2014

Imagen 71: Primer prototipo físico terminado, A. Vidal, 2014

Imagen 72: Volumen de revolución de sección variable, A. Vidal, 2014.

Imagen 73: Distribución uniforme de las isocurvas en la superficie, A. Vidal, 2014

Imagen 74: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

Imagen 75: Archivos para corte laser, A. Vidal, 2014

Imagen 76: Variantes de la nueva "galleta", A. Vidal, 2014

Imagen 77: Diferentes parámetros van generando diferentes tejidos, A. Vidal, 2014

Imagen 78: Archivo Excel para la generación libre del patrón, A. Vidal, 2014

Imagen 79: Variación del tejido genera variaciones en las costillas, A. Vidal, 2014

Imagen 80: Detalle armado de costilla con galleta, A. Vidal, 2014

Imagen 81: Mediante le desarmado la galleta se debió romper, A. Vidal, 2014

Imagen 82: Prototipo terminado sin el mandril, A. Vidal, 2014

Imagen 83: Variantes de patrones sobre la misma figura, A. Vidal, 2014

Imagen 84: Los anillos-galleta y los dientes de cada costilla hacen perder espacio útil del material para el corte láser, A. Vidal, 2014

Imagen 85: Se requiere una galleta por cada línea de ranuras en las costillas, siendo poco práctico, A. Vidal, 2014

Imagen 86: Evolución conceptual de la definición, A. Vidal, 2014

Imagen 87: Modelo digital con todas sus partes, A. Vidal, 2014

Imagen 88: Menor espacio ocupado que prototipo anterior, A. Vidal, 2014

Imagen 89: Orientación de galletas en distintos planos, A. Vidal, 2014

Imagen 90: Aplicación de cera desmoldante, A. Vidal, 2014

Imagen 91: Galleta desarmada ya utilizada, A. Vidal, 2014

Imagen 92: Proceso avanzado de desarme de galletas, A. Vidal, 2014

Imagen 93: Inicio de proceso de desarme de galletas, A. Vidal, 2014

Imagen 94: Fallo producto de exceso de cera desmoldante, A. Vidal, 2014

Imagen 95: Variantes de patrones sobre la misma figura, A. Vidal, 2014

Imagen 96: Superficie espiral con eje curvo y sección variable, A. Vidal, 2014

Imagen 97: Variantes de tejido y ubicación de galletas, A. Vidal, 2014

Imagen 98: Detalle de la curvatura simple de las costillas y la unión con las galletas, A. Vidal, 2014

Imagen 99: Probetas para ensayos de tracción de direntes materiales y diámetros, A. Vidal, 2014.

Imagen 100: Probeta de yute en proceso de ensayo de tracción, A. Vidal, 2014.

Imagen 101: Figuras en proceso de curado, A. Vidal, 2014.

Imagen 102: Máquina cortadora Laser, A. Vidal, 2014.

Imagen 103: Proceso de bolsa de vacío del respaldo del asiento Eolian 4, A. Vidal, 2014.

Imagen 104: Estudio de variantes de cántaros, A. Vidal, 2014

Imagen 105: Armado de galleta, A. Vidal, 2014.

Imagen 106: Proceso de bobinado de un cántaro, A. Vidal, 2014.

Imagen 107: Proceso de diseño, variantes de tejido, densidad y galletas sobre los cantaros, A. Vidal, 2014.

Imagen 108: Tejido triaxial dibujado en Excel, A. Vidal, 2014.

Imagen 109: Diferentes tipos de tuberías en fibra de carbono, CST Composites, 2013.

Imagen 110: Tuberías finalizadas, A. Vidal, 2014.

Imagen 111: Tubería en proceso de bobinado , A. Vidal, 2014.

Imagen 112: Tuberías de diferentes perfiles y diámetros, en proceso de curado, A. Vidal, 2014.

Imagen 113: Ejemplo de una superficie que podría servir como núcleo de material compuesto, A. Vidal, 2014.

Imagen 114: Otra variante de puntos de control y el efecto en la superficie, A. Vidal, 2014.

Imagen 115: Variación en la densidad y distribución de las curvas NURBS en un plano , A. Vidal, 2014.

Imagen 116: Tubería en proceso de bobinado , A. Vidal, 2014.

Imagen 117: Asiento Eolian 4, basado en trabajo de Eduardo Torrealba, A. Vidal, 2014.

Imagen 118: Tejido triaxial con la forma de la base del asiento, A. Vidal, 2014.

Imagen 119: Estructura de soporte para el generado del tejido del respaldo del asiento, A. Vidal, 2014.

Imagen 120: Variantes de tejidos triaxiales y su efecto en el soporte para la construcción, A. Vidal, 2014.

Imagen 121: Tejido triaxial para superficies abiertas, dibujado en Excel, A. Vidal, 2014.

Imagen 122: Interior de la puerta con detalles de la ubicación de los núcleos de compuesto sándwich, A. Vidal, 2014.

Imagen 123: Concepto del vehículo eléctrico solar Eolian 4, A. Vidal, 2014.

Imagen 124: Tapa de rueda delantero con la compleja punta para aplicar el

{0} INTRODUCCION

{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS

núcleo para sándwich, A. Vidal, 2014.

Imagen 125: Puntos críticos en la superficie del vehículo que son potenciales zonas para aplicar núcleos generados con el proceso propuesto, A. Vidal, 2014.

{4;3;2} Tablas

Tabla 1: Comparativa de resinas más utilizadas, Elaboración propia.

Tabla 2: Comparativa general de núcleos, Elaboración propia.

Tabla 3: Tabla comparativa de fibras, Elaboración propia.

Tabla 4: Criterios de selección de resinas, Elaboración propia.

Tabla 5: Comparativa de Procesos Izq. Prepeg Molding, Der. Wet Moding, Elaboración propia.

Tabla 6: Comparativa entre máquina-herramientas, Elaboración propia.

Tabla 7: Comparativa de procesos de conformado en seco y húmedos, caracterización del proceso, Elaboración propia.

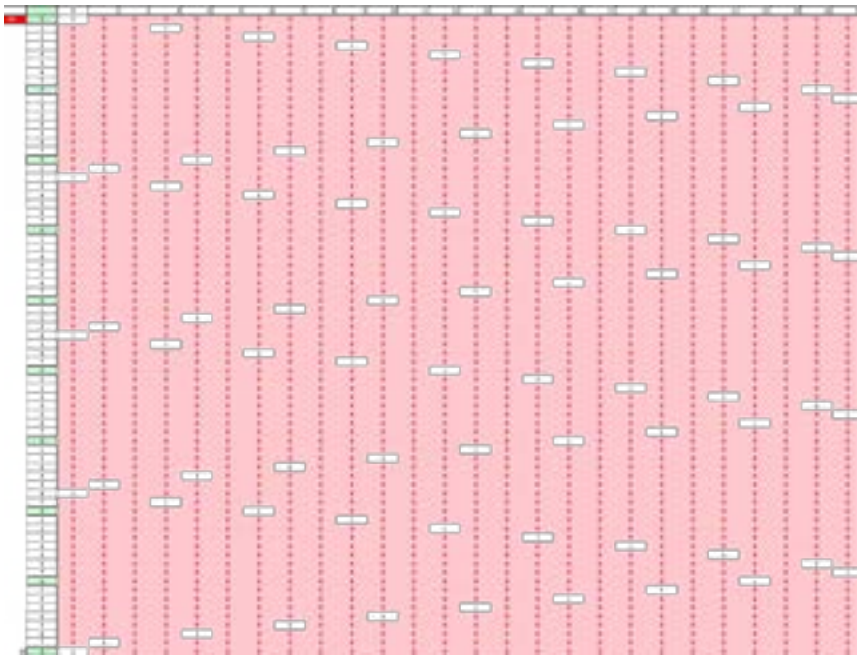
Tabla 8: Criterio de selección de proceso de fabricación digital a utilizar, Elaboración propia.

Tabla 9: Ubicación del proceso propuesto, Elaboración propia.

Tabla 10: Los propósitos del proceso de Prototipado, Elaboración propia.

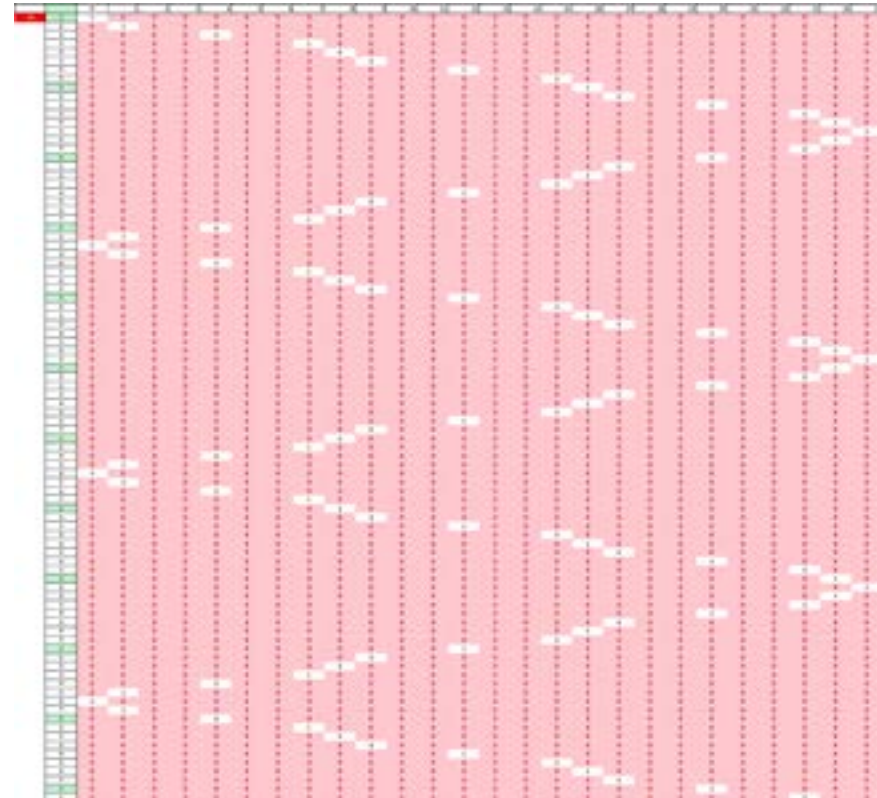
Tabla 11: Características de los materiales compuestos ensayados, Elaboración propia.

{4;4} PATRONES EN HOJA DE CALCULO



Columnas x Filas - Vueltas
8x26-9

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	8
4		filas	26
5		vueltas	9
6		nodos	73
7			



Columnas x Filas - Vueltas
8x26-13

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	8
4		filas	26
5		vueltas	13
6		nodos	105
7			

{0} INTRODUCCION

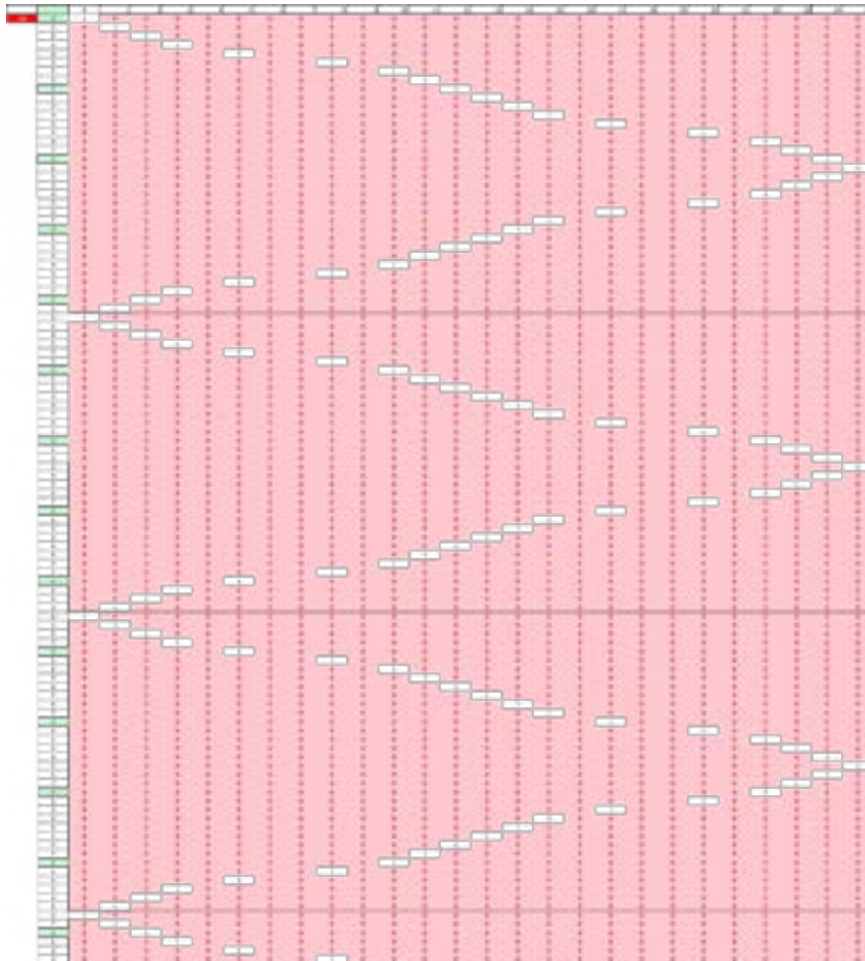
{1} DESARROLLO

{2} EXPERIMENTACION

{3} APLICACION

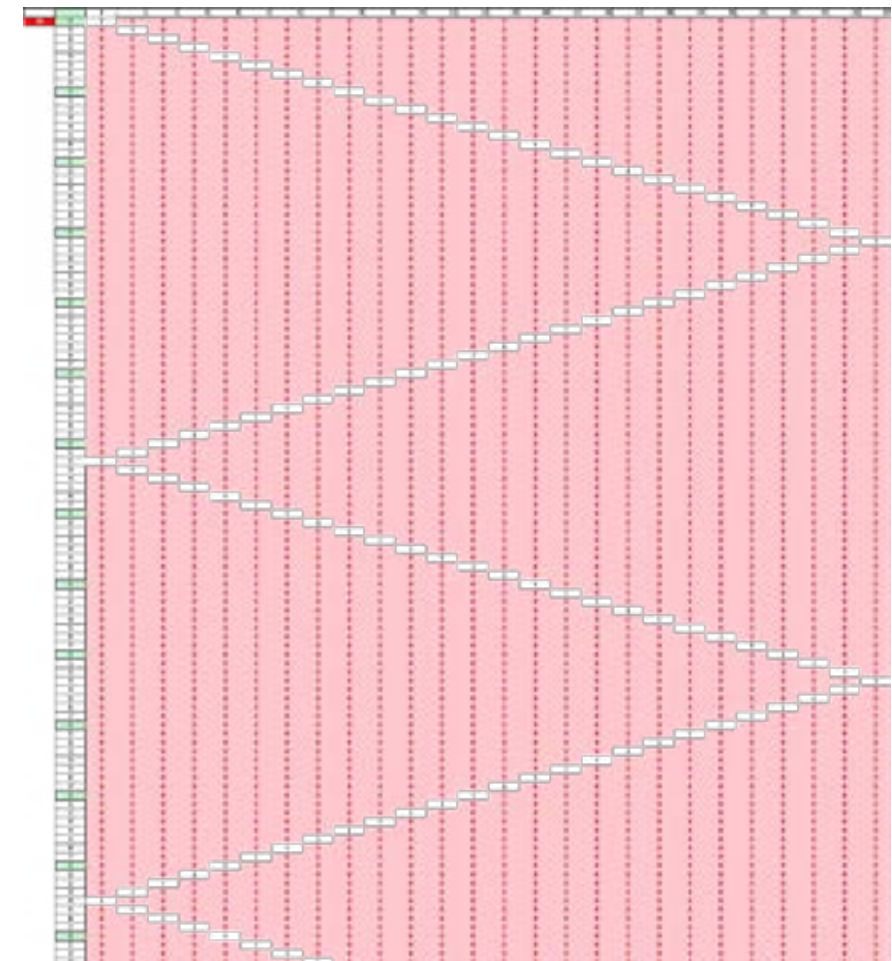
{4} CONCLUSIONES

{4,2} ANEXOS



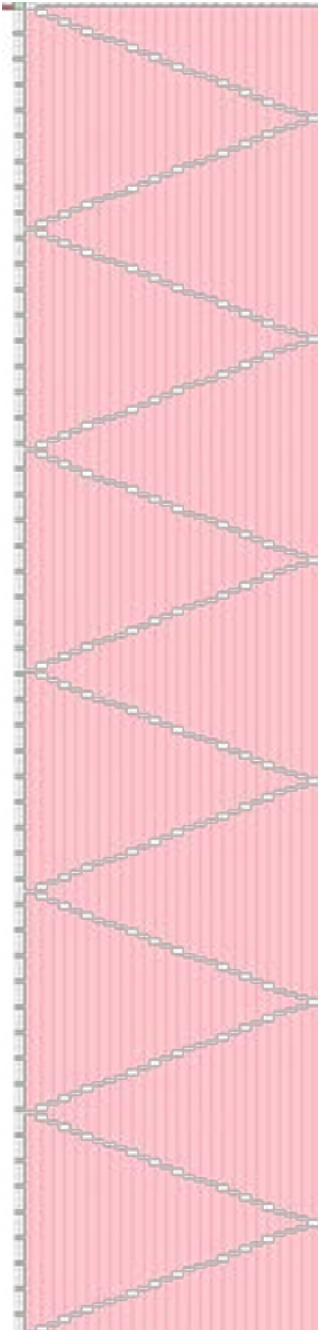
Columnas x Filas - Vueltas
8x26-17

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	8
4		filas	26
5		vueltas	17
6		nodos	137
7			



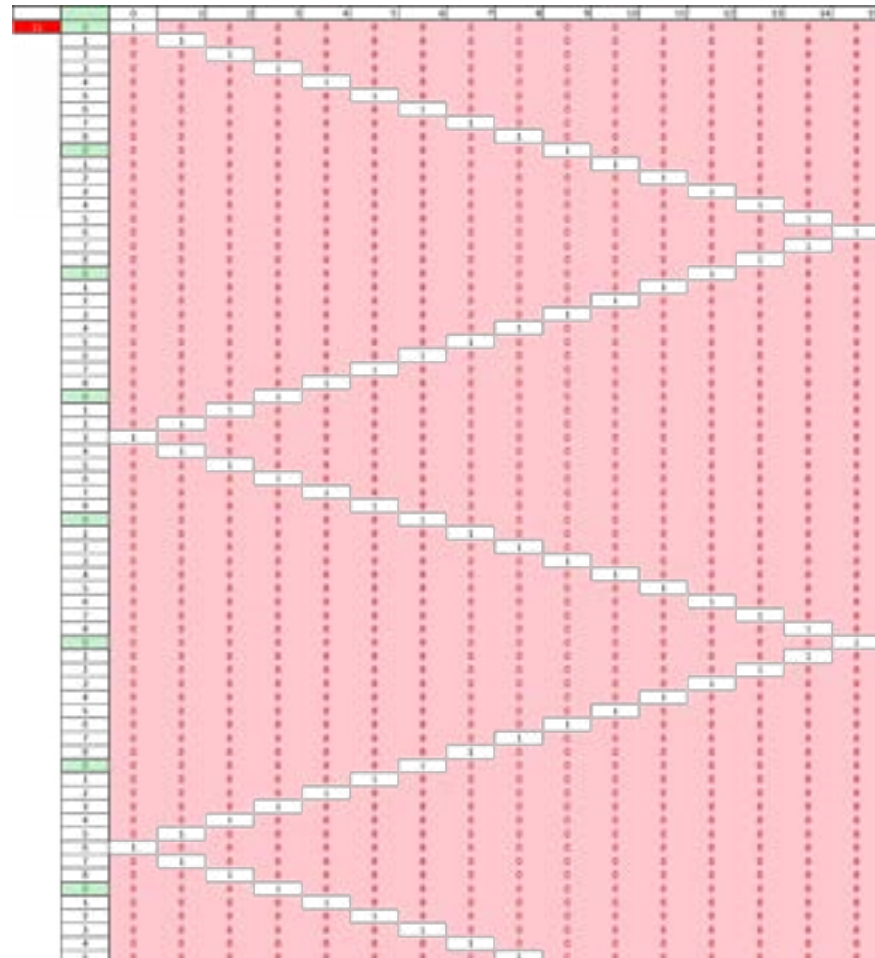
Columnas x Filas - Vueltas
8x26-25

	A	B	C	D
1		parametros globales		
2				
3		costillas	8	
4		filas	26	
5		vueltas	25	
6		nodos	201	
7				



	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	8
4		filas	26
5		vueltas	52
6		nodos	269

Columnas x Filas - Vueltas
8x26-52



Columnas x Filas - Vueltas
9x16-10

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	9
4		filas	16
5		vueltas	10
6		nodos	91
7			

(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	10
4		filas	6
5		vueltas	5
6		nodos	81

Columnas x Filas - Vueltas
16x6-5

	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	26
4		filas	8
5		vueltas	7
6		nodos	183

Columnas x Filas - Vueltas
26x8-7



	A	B	C
1		parametros globales	
2			
3		costillas	14
4		filas	16
5		vueltas	31
6		nodos	435
7			

Columnas x Filas - Vueltas
14x16-31

(0) INTRODUCCION

(1) DESARROLLO

(2) EXPERIMENTACION

(3) APLICACION

(4) CONCLUSIONES

(4,2) ANEXOS

FICHA 00

126

GUIA RAPIDA PARA LECTURA DE FICHAS DE CARACTERISTICAS Y ENSAYOS DE TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

\emptyset = DIAMETRO
 δ máx = MAX. ESFUERZO
 \hat{A} = AREA
 m = PESO
 V = VOLUMEN
 d = DENSIDAD

OTROS

Costo x m = MONEDA CLP

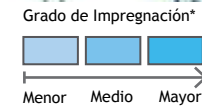
IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



NIVEL DE IMPREGNACIÓN APARENTE



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: NOMBRE

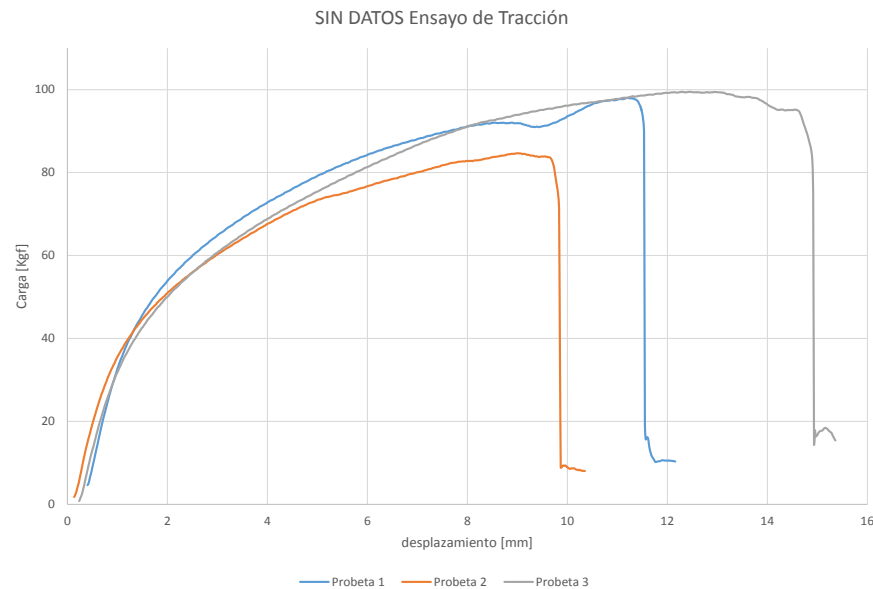
\emptyset = 3 mm
 δ máx = 57,34 Kgf
 \hat{A} = 7,07E-6 m²
 m = 9 gr
 V = 7,07E-6 m³
 d = 1,2732 Mg/m³
 R = RESISTENCIA
 E = MODULO
 E = DE ELASTICIDAD

OTROS

Porcentaje impregnación = %74,2
 Costo x m Poliester = \$378
 Costo x m Epoxi = \$339

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 01

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

\emptyset = 3 mm
 δ máx = 12 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 5,2 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$320

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

Menor Medio Mayor

ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

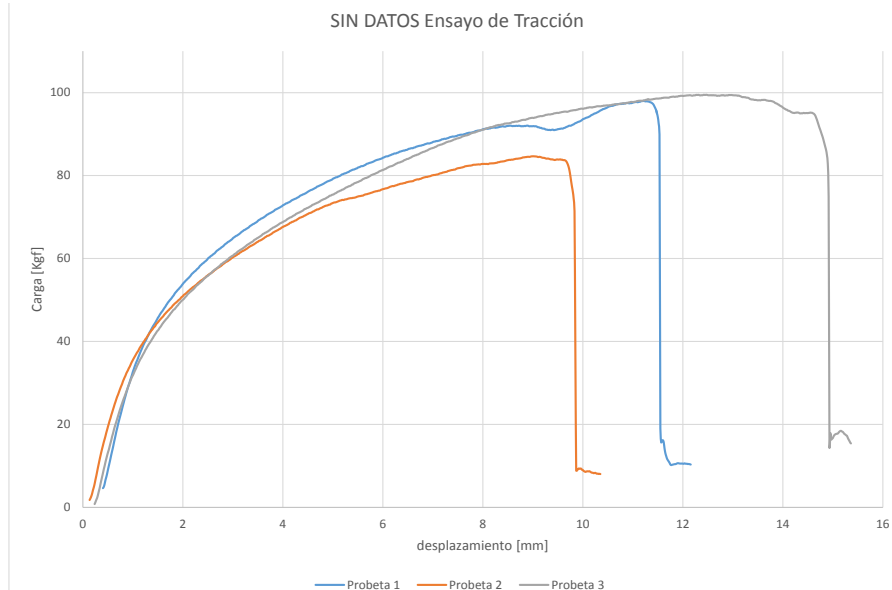
\emptyset = 3 mm
 δ máx = 57,34 Kgf
 \dot{A} = 7,07E-6 m²
 m = 9 gr
 V = 7,07E-6 m³
 d = 1,2732 Mg/m³
 R = 79,55 MPa
 E = 43367295,29 Kgf/m²
 E = 425,3 MPa
 E = 4,25E+14 N/m²

OTROS

Porcentaje impregnación = %74,2
 Costo x m Poliester = \$378
 Costo x m Epoxi = \$339

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 02

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

\emptyset = 5 mm
 δ máx = 30 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 11,8 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$580

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

Menor Medio Mayor

ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

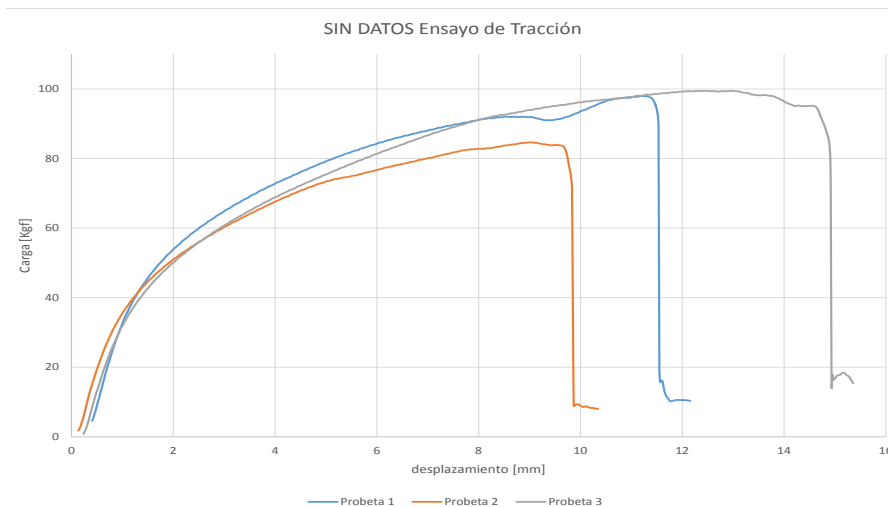
\emptyset = 5 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 29,17 gr
 V = xxx
 d = 1,485 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

Porcentaje impregnación = %146
 Costo x m Poliester = \$840
 Costo x m Epoxi = \$667

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 03

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

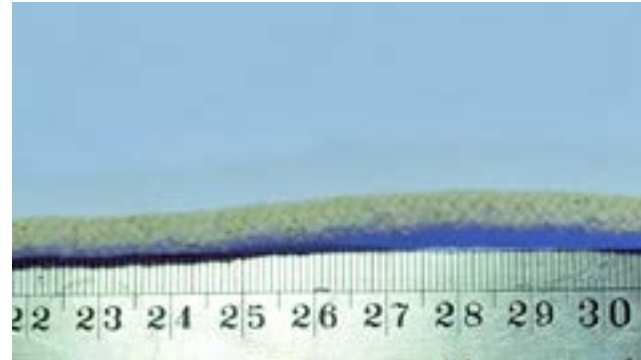
NOMBRE: Algodón Trenzado

\emptyset = 6 mm
 δ máx = 50 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 16,1 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$330

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Torcido

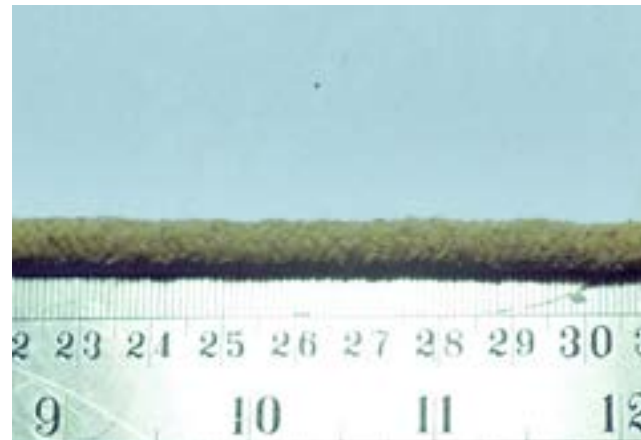
\emptyset = 6 mm
 δ máx = 94,05025 Kgf
 \dot{A} = $2,83E-5 \text{ m}^2$
 m = 24 gr
 V = $2,83E-5 \text{ m}^3$
 d = $0,8488 \text{ Mg/m}^3$
 R = 32,62 MPa
 E = $41367379,7 \text{ Kgf/m}^2$
 E = 405,7 MPa
 E = $4,06E+14 \text{ N/m}^2$

OTROS

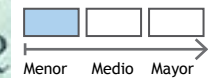
Porcentaje impregnación = %49,4
 Costo x m Poliester = \$449
 Costo x m Epoxi = \$370

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 04

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

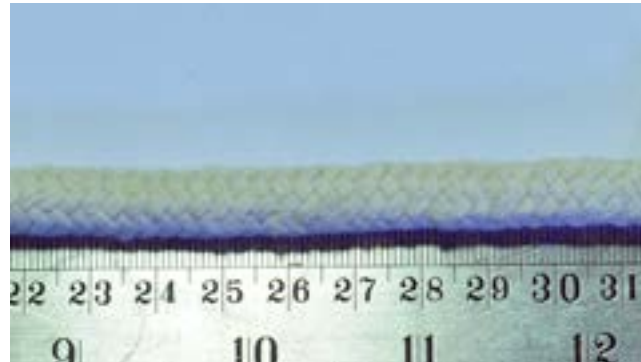
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Algodón Trenzado
Ø =	8 mm
σ máx =	90 Kgf
Á =	xxx
m =	31,2 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$980
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

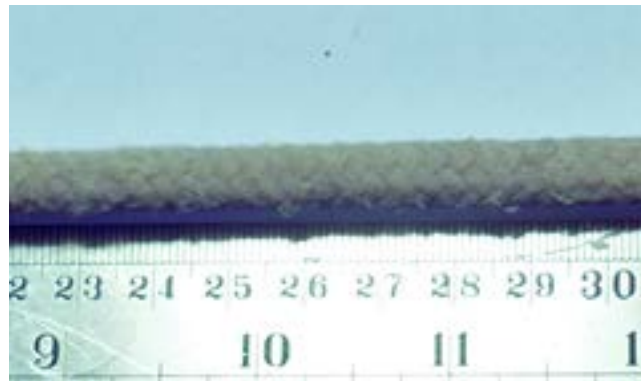
NOMBRE:	Algodón Trenzado
Ø =	8 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	65 gr
V =	xxx
d =	1,293 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

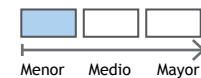
Porcentaje impregnación =	%109
Costo x m Poliester =	\$1488
Costo x m Epoxi =	\$1149

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 05

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

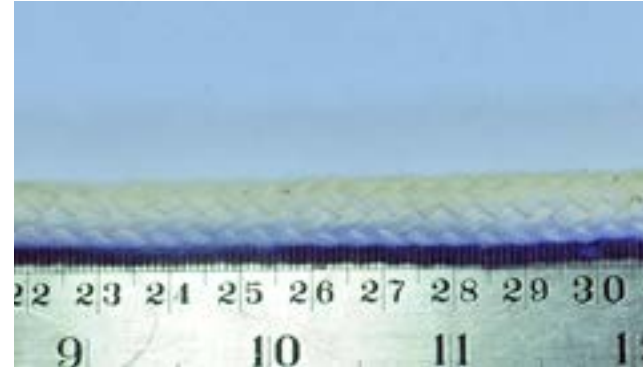
NOMBRE: Algodón Trenzado

\emptyset = 10 mm
 δ máx = 140 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 39,3 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1490

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Algodón Trenzado

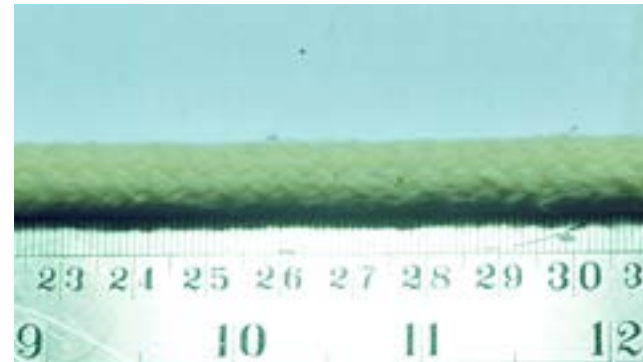
\emptyset = 10 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 67,33 gr
 V = xxx
 d = 0,857 Mg/m³
 R =
 E = xxx
 E = xxx
 E = xxx

OTROS

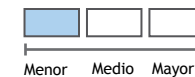
Porcentaje impregnación = %71,2
 Costo x m Poliester = \$1910
 Costo x m Epoxi = \$1630

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 06

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Nylon Trenzado
Ø =	3 mm
σ máx =	90 Kgf
Á =	xxx
m =	10,9 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m = \$330

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

Menor Medio Mayor

ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

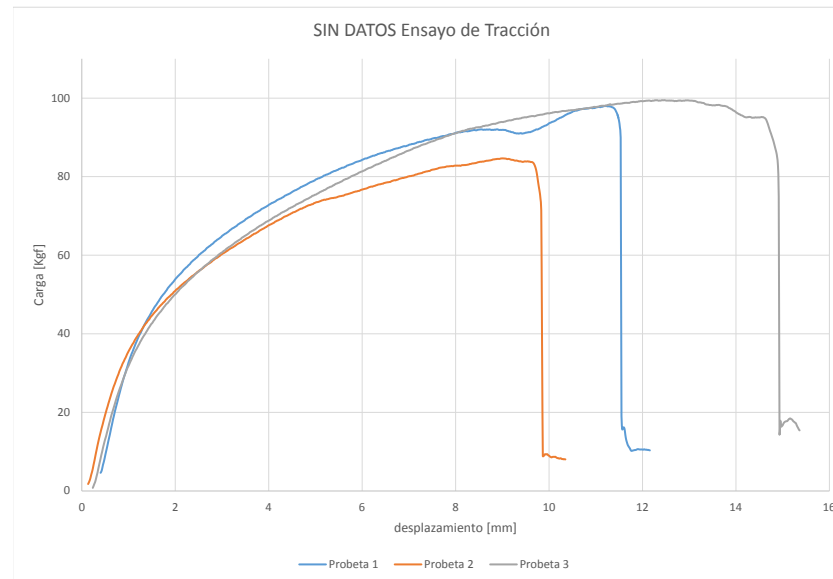
NOMBRE:	Nylon Trenzado
Ø =	3 mm
σ máx =	241,4 Kgf
Á =	7,07E-6 m ²
m =	16,42 gr
V =	7,07E-6 m ³
d =	2,323 Mg/m ³
R =	334,91 MPa
E =	43367295,29 Kgf/m ²
E =	425,3 MPa
E =	4,25E+14 N/m ²

OTROS

Porcentaje impregnación = %66,2
 Costo x m Poliester = \$413
 Costo x m Epoxi = \$358

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 07

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

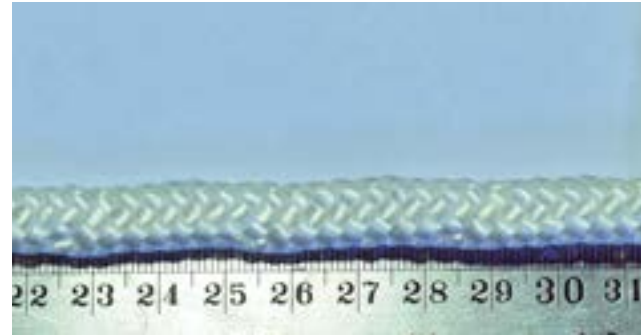
NOMBRE: Nylon Trenzado

\emptyset = 8 mm
 δ máx = 680 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 33,4 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1510

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Nylon Trenzado

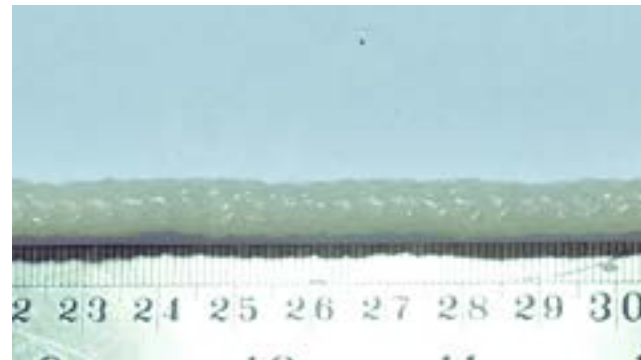
\emptyset = 8 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 45,5 gr
 V = xxx
 d = 0,905 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

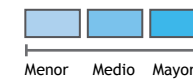
Porcentaje impregnación = %36,2
 Costo x m Poliester = \$1691
 Costo x m Epoxi = \$1570

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 08

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

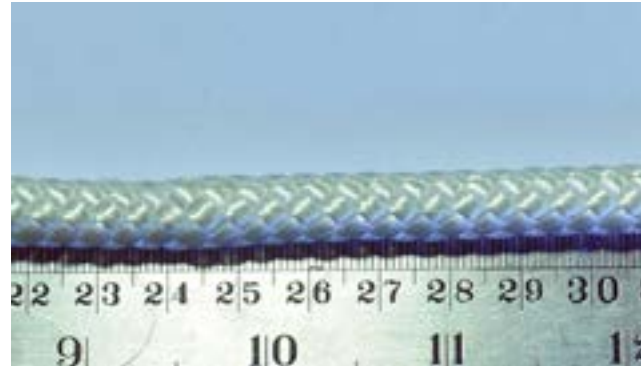
NOMBRE: Nylon Trenzado

\emptyset = 10 mm
 δ máx = 1050 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 74,4 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1940

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Nylon Trenzado

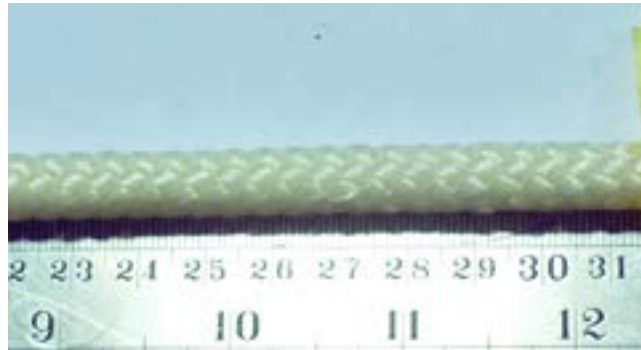
\emptyset = 10 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 91,5 gr
 V = xxx
 d = 1,165 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

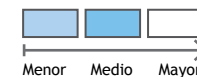
Porcentaje impregnación = %22,3
 Costo x m Poliester = \$2196
 Costo x m Epoxi = \$2025

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 09

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

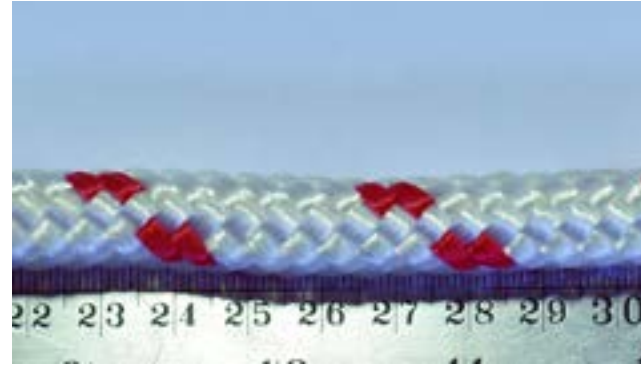
NOMBRE: Nylon Trenzado

\emptyset = 12 mm
 δ máx = 1500 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 120,8 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1690

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Nylon Trenzado

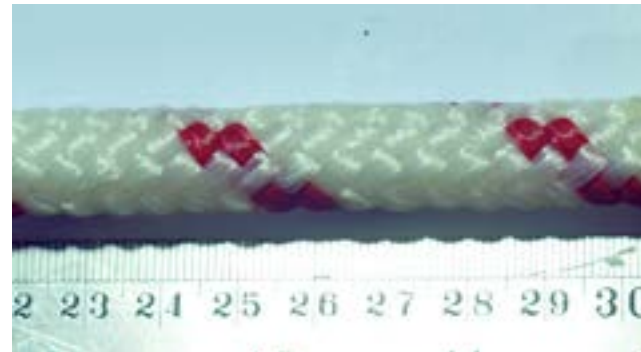
\emptyset = 12 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 151,92 gr
 V = xxx
 d = 1,343 Mg/m³
 R =
 E = xxx
 E = xxx
 E = xxx

OTROS

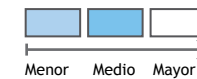
Porcentaje impregnación = %25,8
 Costo x m Poliester = \$2158
 Costo x m Epoxi = \$1846

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 10

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

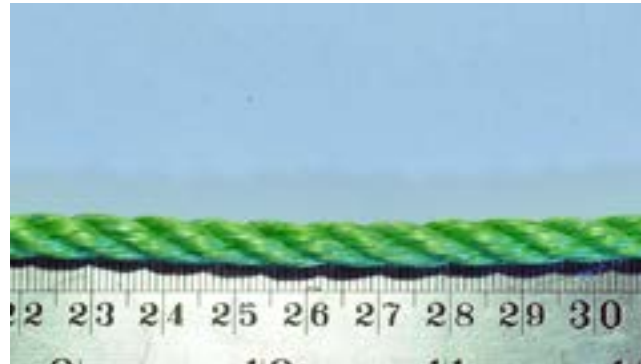
NOMBRE: Polysteel Torcido

\emptyset = 6 mm
 δ máx = 300 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 20,3 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$590

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

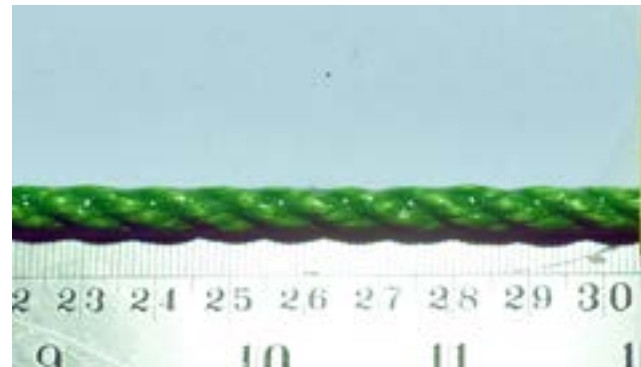
\emptyset = 6 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = 26,92 gr
 m = xxx
 V = xxx
 d = 0,952 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E =
 E =

OTROS

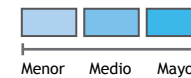
Porcentaje impregnación = %32,4
 Costo x m Poliester = \$689
 Costo x m Epoxi = \$623

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 11

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

\emptyset = 8 mm
 δ máx = 550 kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 27,8 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$990

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

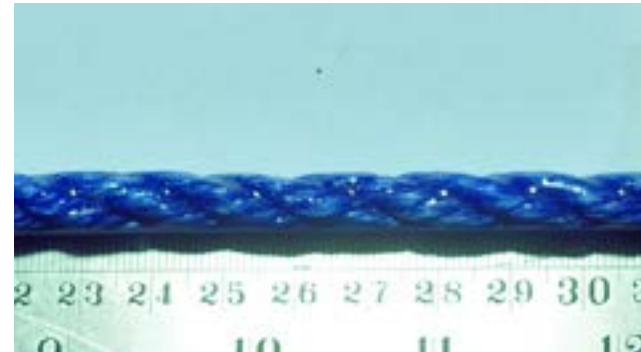
\emptyset = 8 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 40,92 gr
 V = xxx
 d = 0,814 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E =
 E =

OTROS

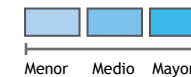
Porcentaje impregnación = %47,5
 Costo x m Poliester = \$1188
 Costo x m Epoxi = \$1056

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 12

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

\emptyset = 10 mm
 δ máx = 860 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 61,4 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$550

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

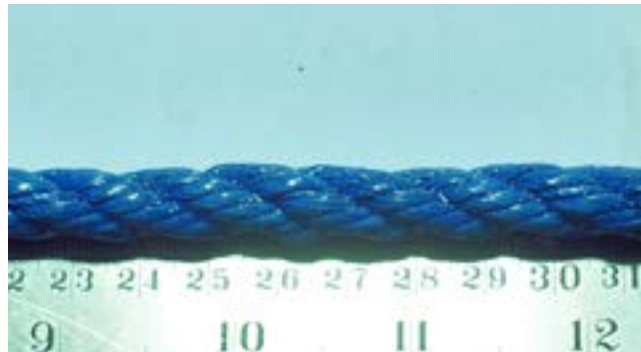
\emptyset = 10 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 73,67 gr
 V = xxx
 d = 0,938 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

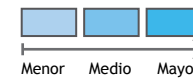
Porcentaje impregnación = %20
 Costo x m Poliester = \$734
 Costo x m Epoxi = \$611

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 13

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

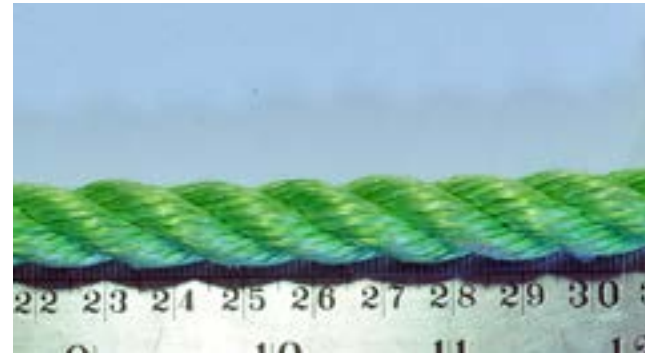
NOMBRE: Polysteel Torcido

\emptyset = 12 mm
 δ máx = 1200 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 68,5 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1490

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polysteel Torcido

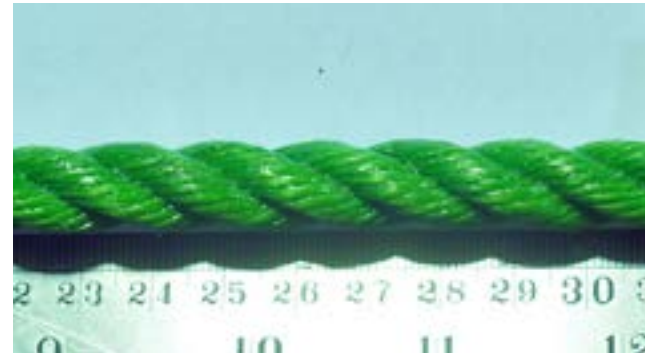
\emptyset = 12 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 88,33 gr
 V = xxx
 d = 0,781 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

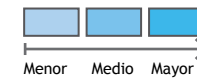
Porcentaje impregnación = %28,9
 Costo x m Poliester = \$1788
 Costo x m Epoxi = \$1589

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 14

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polyester Trenzado
Ø =	6 mm
σ máx =	240 Kgf
Á =	xxx
m =	26,8 gr
V =	xxx
d =	

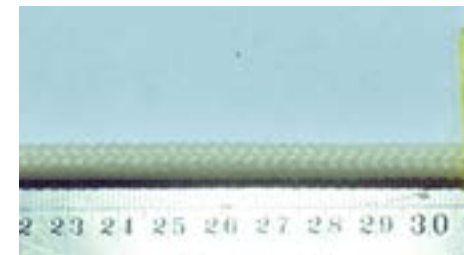
OTROS

Costo x m =	\$890
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

Menor	Medio	Mayor

ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

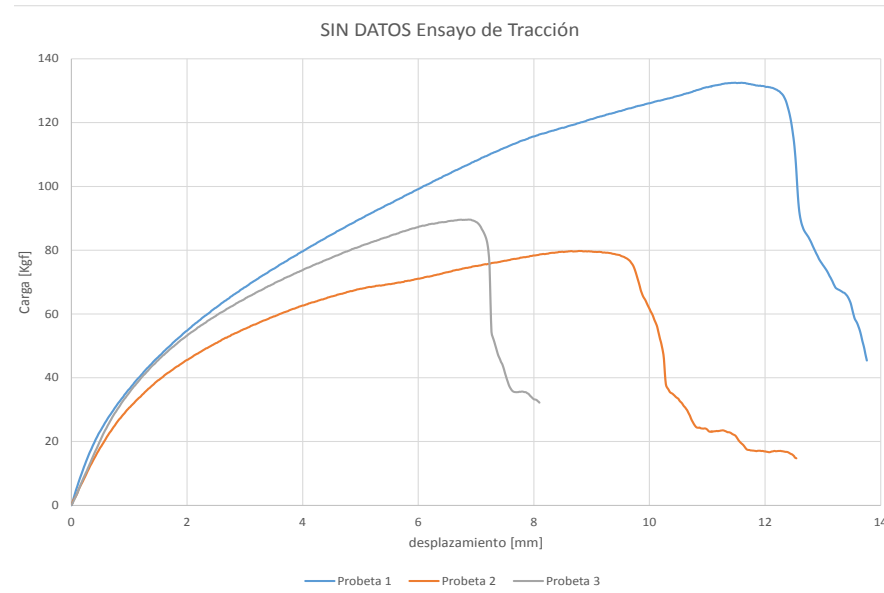
NOMBRE:	Poliester Trenzado
Ø =	6 mm
σ máx =	319,6 Kgf
Á =	2,83E-5 m ²
m =	33,83 gr
V =	2,83E-5 m ³
d =	1,1965 Mg/m ³
R =	110,85 MPa
E =	31889426,5 Kgf/m ²
E =	312,7 MPa
E =	3,13E+14 N/m ²

OTROS

Porcentaje impregnación =	%26,1
Costo x m Poliester =	\$995
Costo x m Epoxi =	\$925

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 15

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

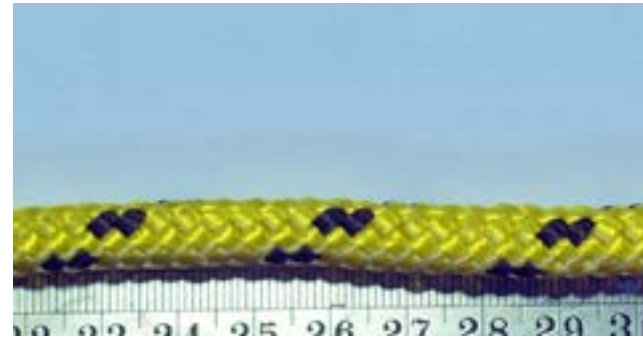
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polyester Trenzado
Ø	= 8 mm
σ máx	= 430 Kgf
Á	= xxx
m	= 49,2 gr
V	= xxx
d	=

OTROS

Costo x m = \$1660

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

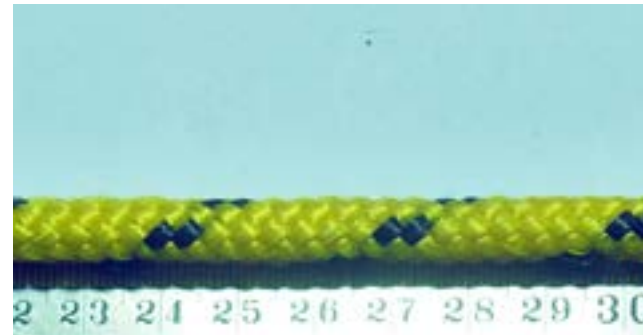
NOMBRE:	Polyester Trenzado
Ø	= 8 mm
σ máx	= xxx
Á	= xxx
m	= 60,08 gr
V	= xxx
d	= 1,195 Mg/m ³
R	= xxx
E	= xxx
E	= xxx
E	=

OTROS

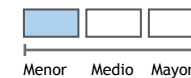
Porcentaje impregnación = %22,2
 Costo x m Poliester = \$1824
 Costo x m Epoxi = \$1715

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 16

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

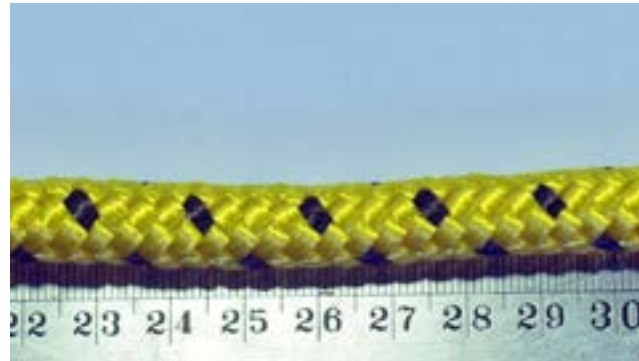
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polyester Trenzado
Ø =	10 mm
σ máx =	670 Kgf
Á =	xxx
m =	86,4 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$2570
-------------	--------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

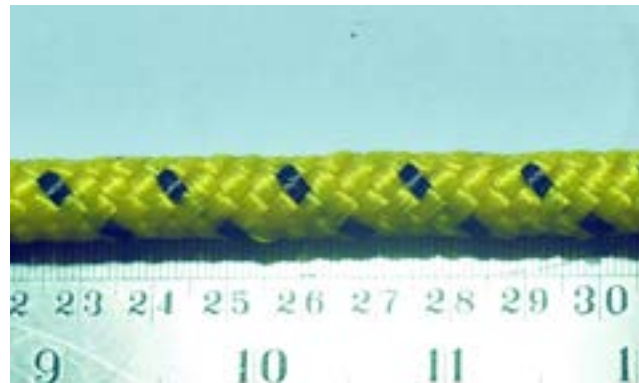
NOMBRE:	Polyester Trenzado
Ø =	10 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	97,2 gr
V =	xxx
d =	1,247 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

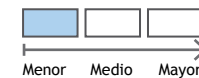
Porcentaje impregnación =	%13,3
Costo x m Poliester =	\$2743
Costo x m Epoxi =	\$2628

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 17

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

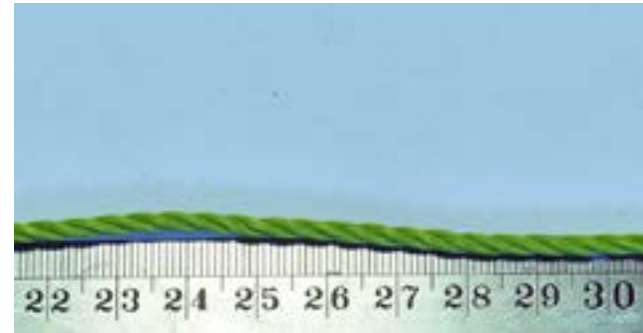
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Polipropileno
Torcido
 \emptyset = 2 mm
 δ máx = 25 Kgf
 \dot{A} = xxx
m = 2,5 gr
V = xxx
d =

OTROS

Costo x m = \$66

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

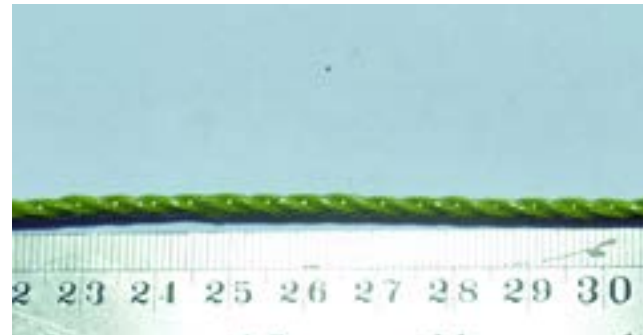
NOMBRE: Polipropileno
Torcido
 \emptyset = 2 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
m = 4,92 gr
V = xxx
d = 1,565 Mg/m³
R = xxx
E = xxx
E = xxx
E =

OTROS

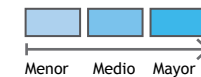
Porcentaje impregnación = %93,6
Costo x m Poliester = \$102
Costo x m Epoxi = \$78

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 18

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

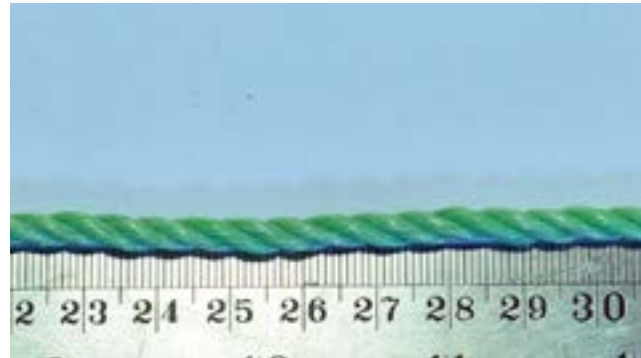
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Torcido
Ø =	4 mm
σ máx =	100 Kgf
Á =	xxx
m =	9,9 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$290
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

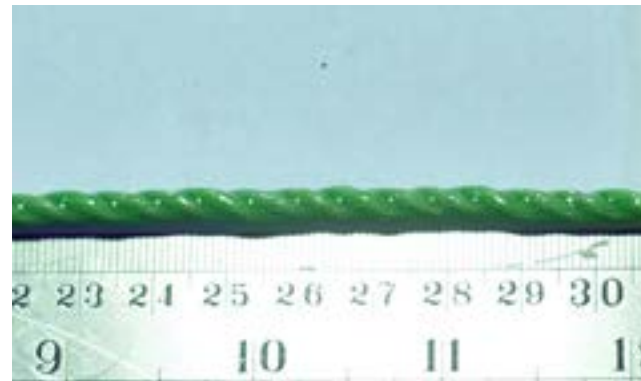
NOMBRE:	Polipropileno Torcido
Ø =	4 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	13 gr
V =	xxx
d =	1,035 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

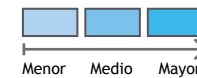
Porcentaje impregnación =	%31,1
Costo x m Poliester =	\$336
Costo x m Epoxi =	\$305

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 18

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

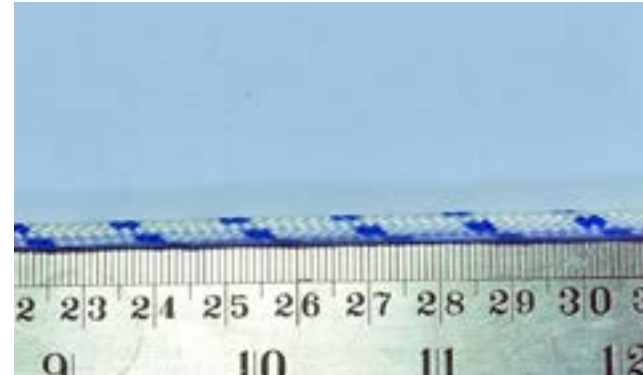
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	4 mm
σ máx =	100 Kgf
Á =	xxx
m =	6,7 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$490
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

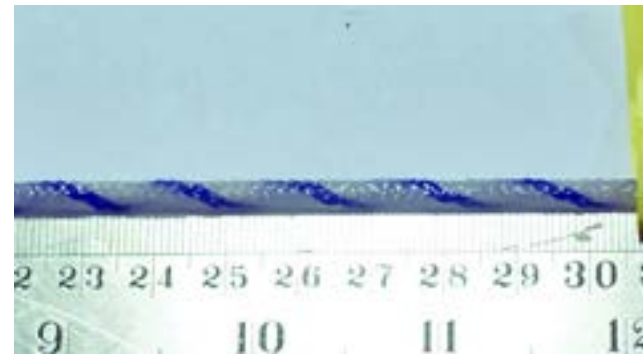
NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	4 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	9,83 gr
V =	xxx
d =	0,783 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

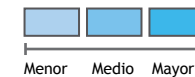
Porcentaje impregnación =	%47,5
Costo x m Poliester =	\$538
Costo x m Epoxi =	\$506

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 20

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

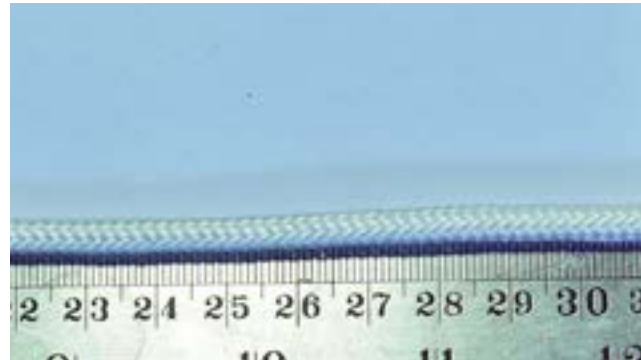
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
Ø =	5 mm
σ máx =	160 Kgf
Á =	xxx
m =	12,5 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$590
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	polipropileno Trenzado
Ø =	5 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	15,83 gr
V =	xxx
d =	0,806 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

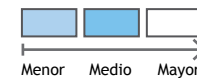
Porcentaje impregnación =	%26,7
Costo x m Poliester =	\$640
Costo x m Epoxi =	\$607

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 21

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	6 mm
δ máx =	230 Kgf
Á =	xxx
m =	18,3 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$690
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA

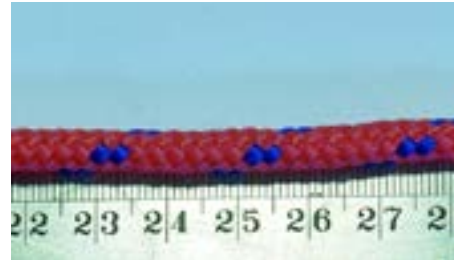
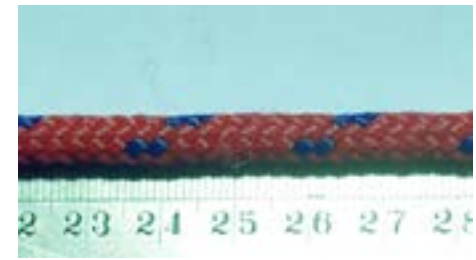
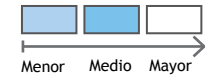


IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

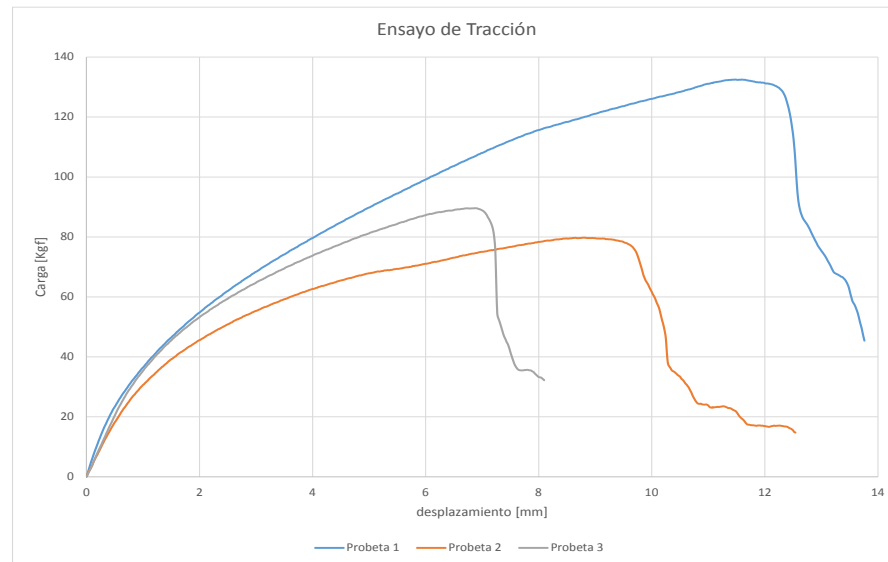
NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	6 mm
δ máx =	132,5178 Kgf
Á =	2,83E-5 m ²
m =	24,42 gr
V =	2,83E-5 m ³
d =	0,8637 Mg/m ³
R =	45,96 MPa
E =	31889426,5 Kgf/m ²
E =	312,7 MPa
E =	3,13E+14 N/m ²

OTROS

Porcentaje impregnación =	%33,2
Costo x m Poliester =	\$781
Costo x m Epoxi =	\$720

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 22

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
Ø =	7 mm
σ máx =	320 Kgf
Á =	xxx
m =	19,6 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$890
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

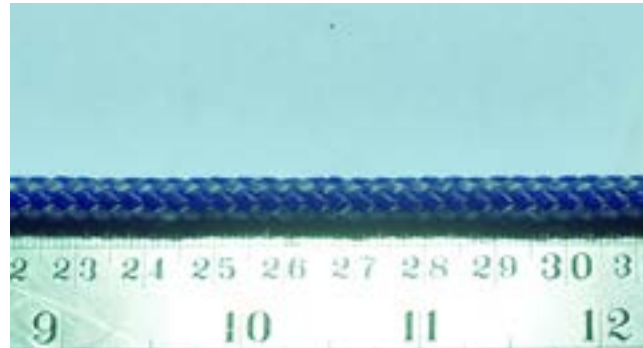
NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
Ø =	7 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	27,83 gr
V =	xxx
d =	0,723 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

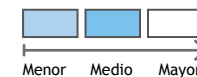
Porcentaje impregnación =	%42,1
Costo x m Poliester =	\$1014
Costo x m Epoxi =	\$931

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 23

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

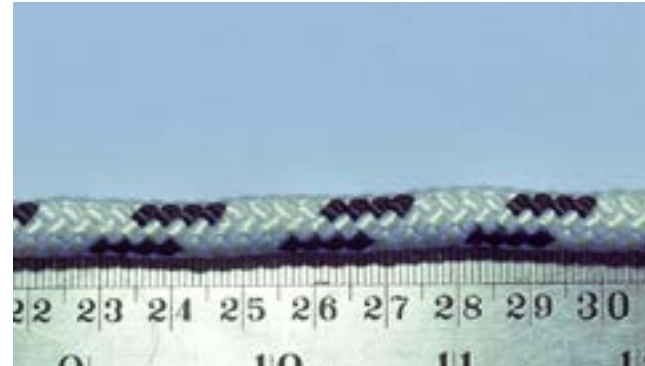
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	8 mm
σ máx =	420 Kgf
Á =	xxx
m =	26,6 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$389
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

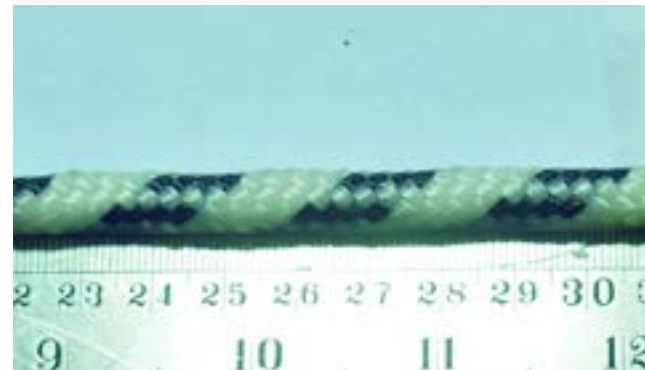
NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
∅ =	8 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	58 gr
V =	xxx
d =	1,15Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	xxx

OTROS

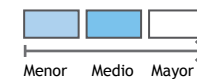
Porcentaje impregnación =	%118
Costo x m Poliester =	\$860
Costo x m Epoxi =	\$546

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 24

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

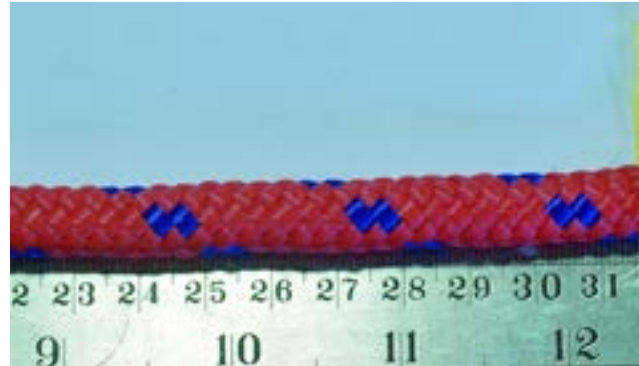
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
Ø =	10 mm
σ máx =	650 Kgf
Á =	xxx
m =	46,2 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m = \$1250

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

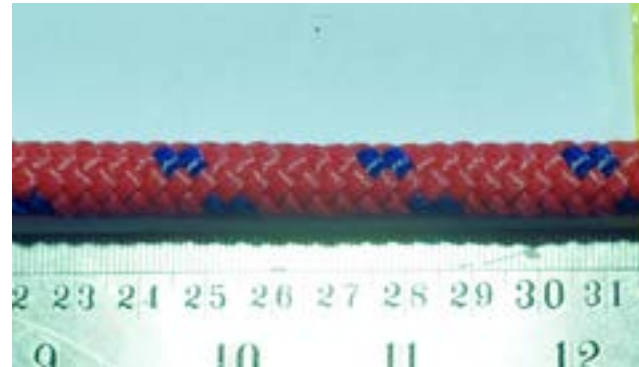
NOMBRE:	Polipropileno Trenzado
Ø =	10 mm
σ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	65,29 gr
V =	xxx
d =	0,831 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

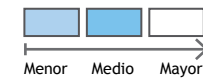
Porcentaje impregnación = %41,4
 Costo x m Poliester = \$1537
 Costo x m Epoxi = \$1346

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 25

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 1,2 mm
 δ máx = 3,5 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 1 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$5

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

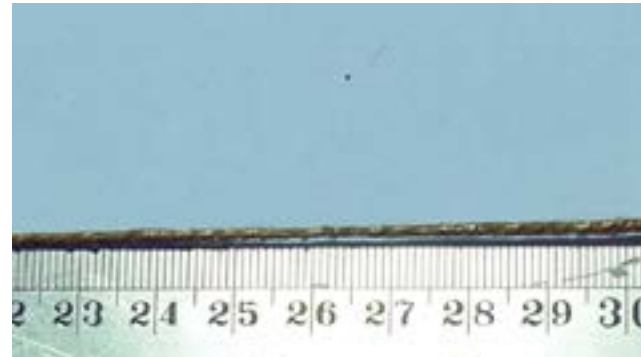
\emptyset = 1,2 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 1,58 gr
 V = xxx
 d = 1,4 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

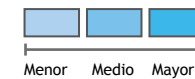
Porcentaje impregnación = %58,3
 Costo x m Poliester = \$14
 Costo x m Epoxi = \$8

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 26

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 1,3 mm
 δ máx = 3,684 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 0,9 gr
 V = xxx
 d =

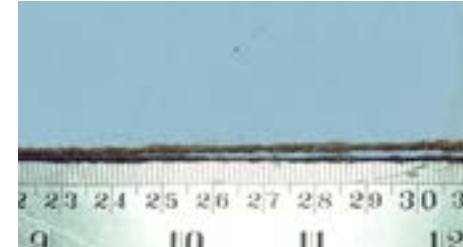
OTROS

Costo x m = \$3

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

Menor Medio Mayor

ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

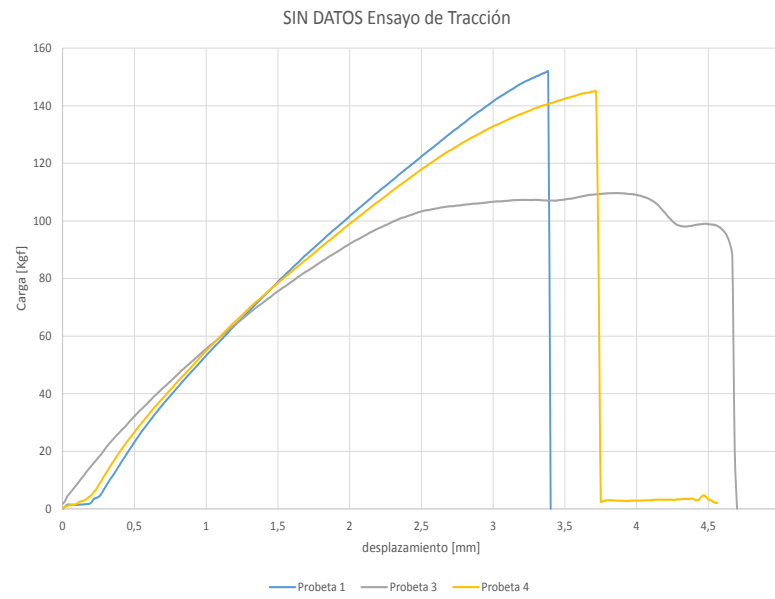
\emptyset = 1,3 mm
 δ máx = 33,65 Kgf
 \dot{A} = 1,33E-6 m²
 m = 1,75 gr
 V = 1,33E-6 m³
 d = 1,3184 Mg/m³
 R = 248,62 MPa
 E = 45392357,3 Kgf/m²
 E = 445,1 MPa
 E = 4,45E+14 N/m²

OTROS

Porcentaje impregnación = %90,1
 Costo x m Poliester = \$16
 Costo x m Epoxi = \$7

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO A TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 27

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

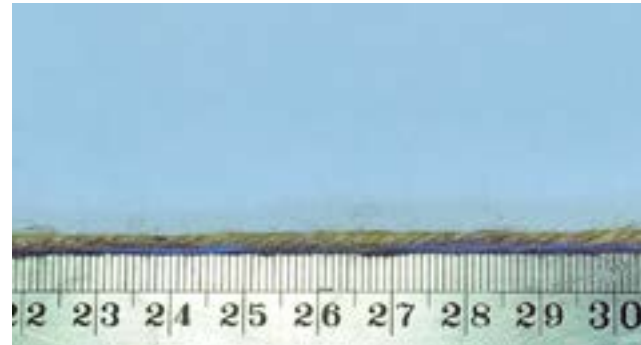
NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 2 mm
 δ máx = 8 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 2,5 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$4

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 2 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 3,83 gr
 V = xxx
 d = 1,22 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

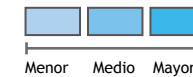
Porcentaje impregnación = %53,3
 Costo x m Poliester = \$24
 Costo x m Epoxi = \$10

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 28

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

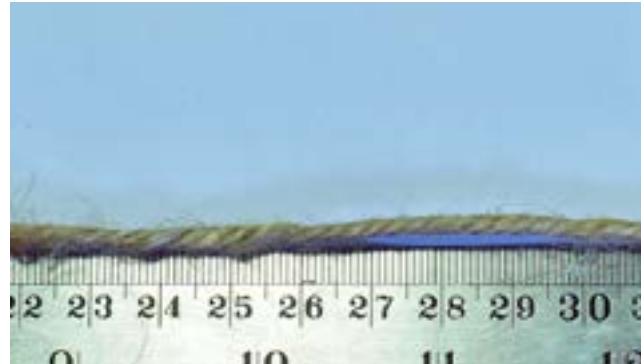
NOMBRE: Yute torcido

\emptyset = 3 mm
 δ máx = 20 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 3,3 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$7

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute torcido

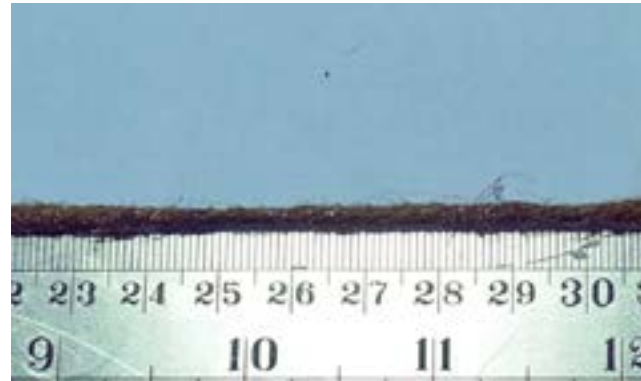
\emptyset = 3 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 6,25 gr
 V = xxx
 d = 0,884 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

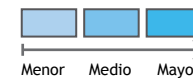
Porcentaje impregnación = %87,5
 Costo x m Poliester = \$50
 Costo x m Epoxi = \$21

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 29

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 4 mm
 δ máx = 35 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 5,8 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$18

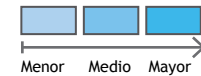
IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

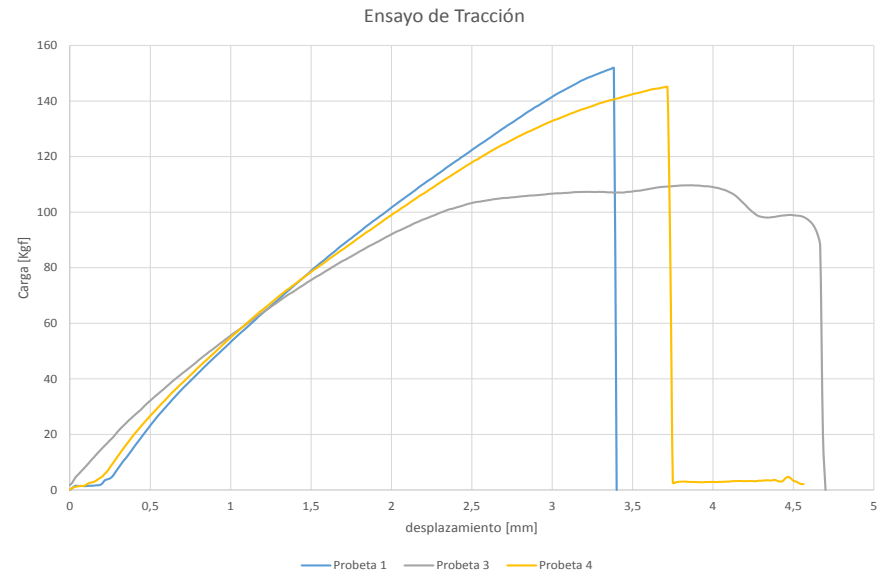
\emptyset = 4 mm
 δ máx = 135,526118 Kgf
 \dot{A} = 1,26 E-5 m²
 m = 11,33 gr
 V = 1,26 E-5 m³
 d = 0,9016 Mg/m³
 R = 105,76 MPa
 E = 45392357,3 Kgf/m²
 E = 445,1 MPa
 E = 4,45E+14 N/m²

OTROS

Porcentaje impregnación = %94,3
 Costo x m Poliester = \$101
 Costo x m Epoxi = \$46

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 30

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 6 mm
 δ máx = 80 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 22 gr
 V = xxx
 d =

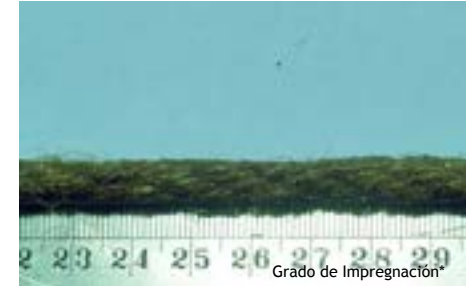
OTROS

Costo x m = \$495

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación

Menor Medio Mayor

ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

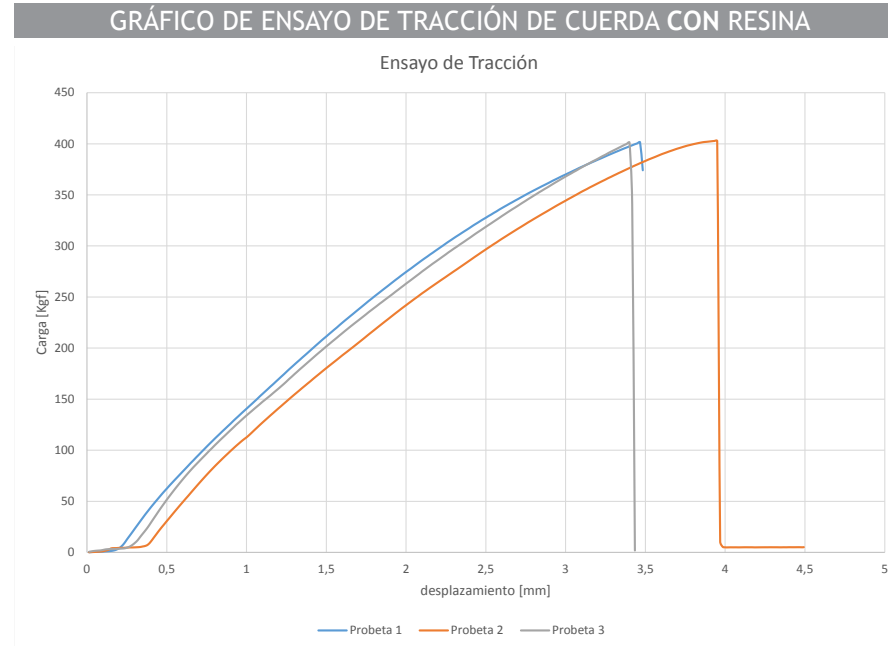
\emptyset = 6 mm
 δ máx = 401,7972853 Kgf
 \dot{A} = 2,83 E-5 m²
 m = 34,25 gr
 V = 2,83 E-5 m³
 d = 1,2113 Mg/m³
 R = 139,36 MPa
 E = 143319454,9 Kgf/m²
 E = 1405,5 MPa
 E = 1,41E+15 N/m²

OTROS

Porcentaje impregnación = %56
 Costo x m Poliester = \$680
 Costo x m Epoxi = \$557

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

GRÁFICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE CUERDA CON RESINA



FICHA 31

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

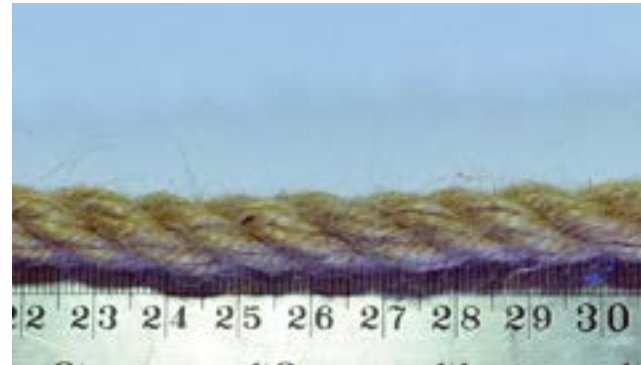
NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 10 mm
 δ máx = 220 Kgf
 \dot{A} = xxx
 m = 47,3 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$690

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

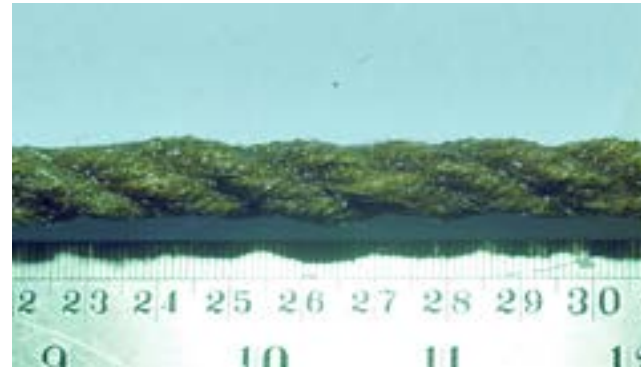
\emptyset = 10 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 89,58 gr
 V = xxx
 d = 1,141 Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

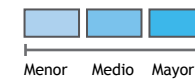
Porcentaje impregnación = %89,6
 Costo x m Poliester = \$1325
 Costo x m Epoxi = \$902

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 32

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO SIN RESINA

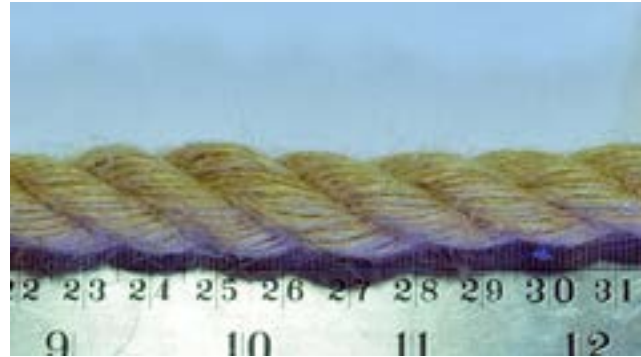
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE:	Yute Torcido
Ø =	12 mm
δ máx =	310 Kgf
Á =	xxx
m =	71,1 gr
V =	xxx
d =	

OTROS

Costo x m =	\$990
-------------	-------

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO CON RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

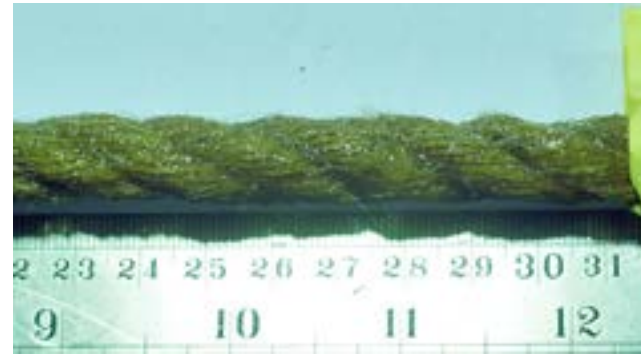
NOMBRE:	Yute Torcido
Ø =	12 mm
δ máx =	xxx
Á =	xxx
m =	144,5 gr
V =	xxx
d =	1,278 Mg/m ³
R =	xxx
E =	xxx
E =	xxx
E =	

OTROS

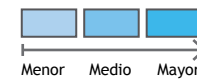
Porcentaje impregnación =	%103
Costo x m Poliester =	\$2091
Costo x m Epoxi =	\$1357

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*



FICHA 33

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE ASPECTO ENSAYO TRACCION

ELEMENTO **SIN** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

\emptyset = 15 mm
 δ máx = 500 Kgm
 \dot{A} = xxx
 m = 98,3 gr
 V = xxx
 d =

OTROS

Costo x m = \$1490

IMAGEN DE CUERDA SIN RESINA



ELEMENTO **CON** RESINA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

NOMBRE: Yute Torcido

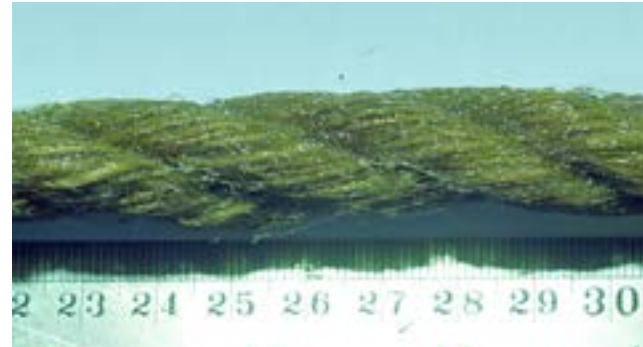
\emptyset = 15 mm
 δ máx = xxx
 \dot{A} = xxx
 m = 196,33 gr
 V = xxx
 d = 1,111Mg/m³
 R = xxx
 E = xxx
 E = xxx
 E =

OTROS

Porcentaje impregnación = %99,7
 Costo x m Poliester = \$2960
 Costo x m Epoxi = \$1980

* El grado de impregnación fue considerado según la apariencia visual del elemento posterior al aplicar la resina, en este caso, según la cantidad de brillo de la cuerda.

IMAGEN DE CUERDA CON RESINA



Grado de Impregnación*

