

ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS EN CESTERÍA DE TIRA PLANA DE MADERA

APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE ARQUITECTURA

Amaia Casado Rezola

Directores: Aurora Herrera Gómez e Iñigo León Cascante

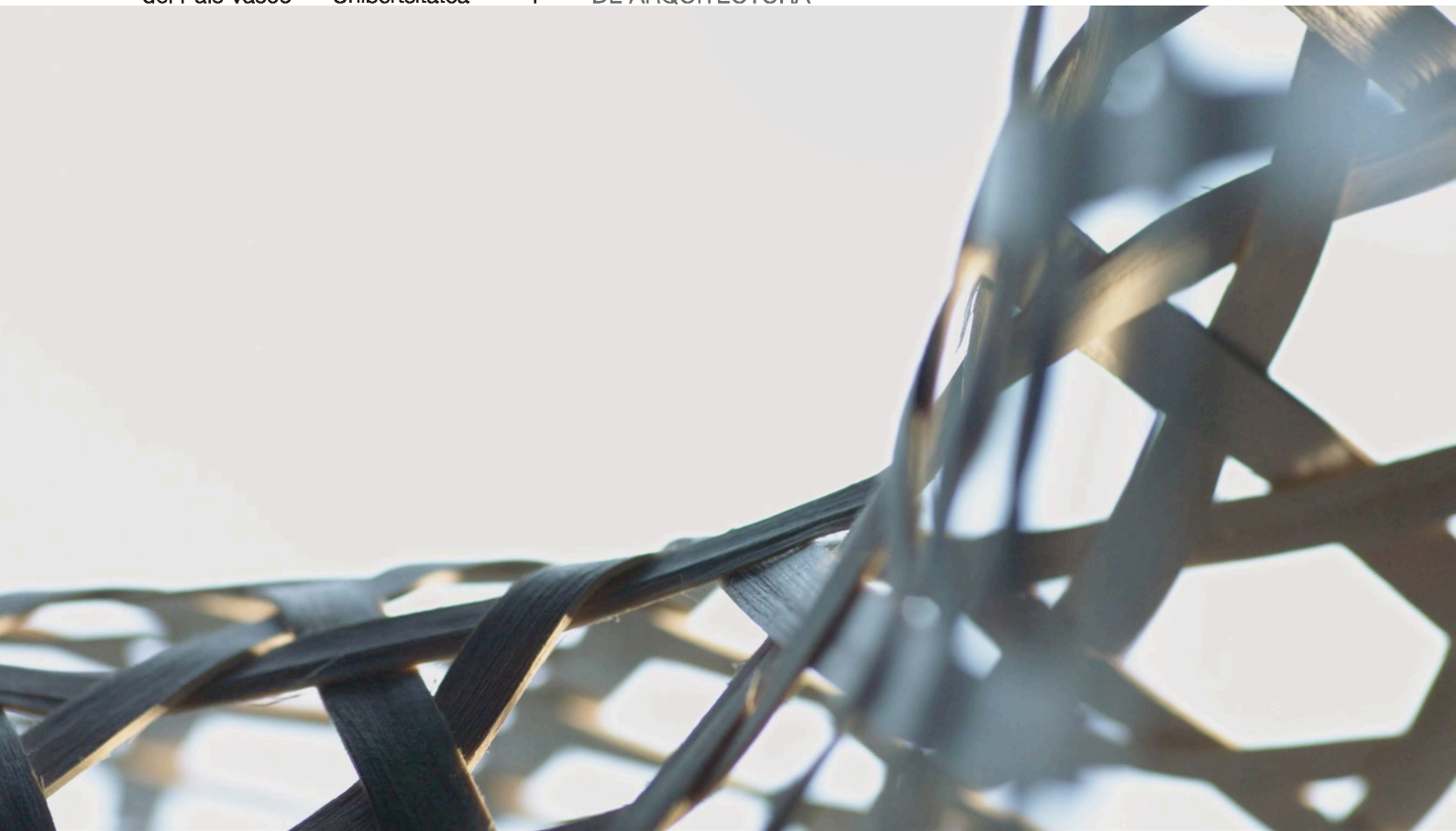


Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

ARKITEKTURA
GOI ESKOLA
TEKNIKOA
ESCUELA
TÉCNICA SUPERIOR
DE ARQUITECTURA

Tesis doctoral

Enero 2022





Programa de doctorado:

Patrimonio Arquitectónico, Civil, Urbanístico y Rehabilitación de Construcciones Existentes.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

UPV / EHU

Tesis doctoral:

**ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS
EN CESTERÍA DE TIRA PLANA DE MADERA
APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE GEOMETRÍA**


Directores: Aurora Herrera Gómez e Iñigo León Cascante

Doctoranda: Amaia Casado Rezola

Enero de 2022

Nere aitari.

ESKERRIK ASKO



Antonio Sánchez Parandiet
Iñigo León Cascante
Aurora Herrera Gómez
Carlos Fontales
Blanca Espigares Rooney
Asier,
Ager & Kai
Iñaki Begiristain
Laida Juanikorena
Javi Agirre Erauso
Idoia Cuesta
Aritz Moreno
Enrique Pujana
Alazne Amezttoy
Juan Bueno Bueno
Ula Iruretagoiena
Ama, aita,
Miren, Hektor,
Alberto,
Roberto
& Koldo
Marta & Juanjo
Marta Álvarez
Marte Mugica
Joseerra Izkeaga
Ibon Telleria
Iñigo Garcia Odiaga
Ainara Sagarna
Rafa M. Talaverano
Jon Muniategiandikoetxea
Manuel Iñiguez
Maialen Sagarna
Mungu
Borja izagirre
Marta Álvarez
Itsaso Goñi
Mikel Larratxe
Miriam Díaz
CTT: Luis Barrero, Esther,
Carmen & Javi
Carmen Córdoba
Esti, M^a Eugenia, Mariaje, Izar
Luis Gurrutxaga
Arantxa Sorozabal
Ana Reboredo
Garaion
Azurmendi anaiak, Iñaki
Zabala & "Txistu"

CASTANEA SATIVA (Chanes, 2002)

ÍNDICE

ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS EN CESTERÍA DE TIRA PLANA DE MADERA APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE ARQUITECTURA

RESUMEN / LABURPENA /ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	19
1. ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS	39
2. CESTERÍA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO	57
3. GEOMETRÍAS DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS	77
4. ARTEFACTOS. ESTUDIO DE CASOS	109
5. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO SECUENCIAL	135
CONCLUSIONES	181
BIBLIOGRAFÍA	191
ANEXO	197

RESUMEN

ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS EN CESTERÍA DE TIRA PLANA DE MADERA APLICACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE ARQUITECTURA

Para poder crear y construir Arquitectura es imprescindible comprender y controlar las formas geométricas tridimensionales. Aunque la era digital ha supuesto un cambio positivo en la forma de entender y controlar estas geometrías, este cambio parece haber influido en el proceso de ideación y reflexión, de manera que el aprendizaje de la Arquitectura está sufriendo un cambio. Por un lado, parece que, al alumnado actual, acostumbrado a un entorno virtual donde la realidad se comparte en formato digital, cada vez le cuesta más desarrollar habilidades de razonamiento crítico. La capacidad de *hardwares* y *softwares* facilitan una actitud de respuesta inmediata a cualquier reto o problema, dejando de lado el proceso reflexivo. Esto está produciendo una desconexión entre la mente y la mano, que deriva en una distorsión del proceso proyectual o creativo. Por otro lado, esta era digital está facilitando que arquitectos contemporáneos de renombre estén experimentando con arquitecturas entretejidas vinculadas con la cestería. Pero el problema es que en muchas partes del mundo el conocimiento de estas técnicas de cestería se está perdiendo. Los procedimientos de producción y manipulación artesanales no tienen base científica y son difíciles de replicar. Cada vez se pueden realizar menos opciones de diseño y no se crean nuevas formas.

Para tratar de intervenir en estos dos campos, la investigación se centra en la innovación de arquitecturas entretejidas de pequeña escala, mediante la generación de nuevas formas con cestería de tira plana de madera de castaño (TPMC), que es la técnica predominante

en el País Vasco. Para potenciar los procesos del pensamiento, la tesis propone preservar y rescatar la manualidad y la artesanía, como laboratorio de procesos aplicados al proyecto en la asignatura de Geometría. Se trata de enlazar la utilización de las técnicas digitales más avanzadas con una de las técnicas artesanales manuales más antiguas del mundo, la cestería (Adovasio, 2016). En esta innovación docente, la experimentación con técnicas de cestería puede permitir al alumnado tener el control de un proceso creativo completo, desde el principio hasta el final, respetando el espacio-tiempo que supone una intervención manual.

El método de investigación empleado es DSR (Design Science Research), un enfoque de investigación que se centra en el desarrollo y evaluación de artefactos con la intención explícita de mejorar el rendimiento funcional de los procesos. Las técnicas de investigación utilizadas incluyen el análisis documental, el estudio de casos, la obtención de datos, los ensayos en laboratorio con carácter de investigación básica, así como la experimentación en laboratorio de creación aplicada. Tras analizar y aplicar múltiples casos de entretejido con TPMC en geometrías básicas, se han podido crear nuevos artefactos utilizando tramas de entrelazado con TPMC, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del material.

Se ha ido gestando un método secuencial, diseñando, implementando y evaluando la confección de 19 artefactos en el laboratorio de experimentación creado específicamente para esta tesis. Esto ha dado como resultado un método basado en 8 pasos para que el alumnado pueda crear nuevas formas entretejidas con TPMC. Este método ha sido implementado en la confección de 5 artefactos de diferentes características y ha sido validado en un taller específico con el alumnado. Se ha podido comprobar que, al confeccionar modelos con las manos, el alumnado desarrolla importantes habilidades para su formación en arquitectura, mientras completa el aprendizaje en las formas geométricas.

LABURPENA

ZUMITZ SASKIGINTZAREKIN EHUNDUTAKO GAINAZALEN GEOMETRIAREN ANALISIA ARKITEKTURAKO IRAKASKUNTZAN APLIKAZIOA

Arkitekturaren sorkuntza eta eraikuntza prozesuan, ezinbestekoa da hiru dimentsioko forma geometrikoak ulertzea eta kontrolatzea. Aro digitalak geometria horiek ulertzeko eta kontrolatzeko aldaketa positiboa ekarri du, baina, era berean, badirudi aldaketa horrek eragina izan duela ideien sorkuntza eta hausnarketa-prozesuan, ondorioz, Arkitekturaren ikaskuntza aldaketa bat jasaten ari da. Alde batetik, gaur egungo ikaslegoa ohituta dago errealitatea formatu digitalean partekatzen den ingurune birtual batera, hori dela eta, badirudi ikasleei gero eta gehiago kostatzen zaiola arrazoibide kritikorako gaitasuna garatzea. Gainera, *hardware* eta *software* ezberdinek edozein erronka edo arazori berehalako erantzuna emateko jarrera errazten dute, ikaslearen gogoeta-prozesua alde batera utziaz. Guzti honek, adimenaren eta eskuaren arteko deskonexioa eragiten ari da eta ikaslegoarengan proiektu edo sormen-prozesuaren distortsioa eragiten du. Bestalde, aro digital honi esker, izen handiko arkitekto garaikideak saskigintzari lotutako arkitektura ehunduekin esperimintatzen ari dira. Arazoa da, munduko leku askotan saskigintzako teknika horien ezagutza galtzen ari dela. Gainera, artisau ekoizpen eta manipulazio prozedurek oinarri zientifikorik ez izatean, haien erreplika egitea zaila da. Gero eta saskigintza diseinu aukera gutxiago egin daitezke, eta ez da forma berririk sortzen.

Aipatutako bi arlo horietan esku hartzeko helburuarekin, ikerketa hau eskala txikiko arkitektura ehunduen berrikuntzan zentratzen da, Euskal Herrian teknika nagusia den gaztainondo zurez ehundutako saskigintzaren (GZES) bitartez forma berriak sortuz. Pentsamenduaren inguruko prozesuak sustatzeko, tesiak eskulangintza eta artisautza

babestea eta berreskuratzea proposatzen du, Geometria ikasgaiari, proiektuetara aplikatutako prozesuen laborategi gisa.

Teknika digital aurreratuen erabilera munduko artisau-teknika zaharretakoa den saskigintzarekin lotzen da. irakaskuntzako berrikuntza horretan, saskigintzako teknikekin esperimendatzeko, hasieratik bukaerara, sormen-prozesu oso baten kontrola izatea ahalbidetu diezaiokete ikaslegoari, eskuzko parte-hartze batek suposatzen duen espazio-denbora errespetatuz.

Erabilitako ikerketa-metodoa DSR (Design Science Research) da. Ikerkuntza-ikuspegia artefaktu ezberdinen garapenean eta ebaluazioan zentratzen da, prozesuen errendimendu funtzionala hobetzeko intentzio esplizituarekin. Erabilitako ikerketa-teknikek barne hartzen dituzte dokumentuen analisia, kasuen azterketa, datuen lorpena, oinarritzko ikerketarako laborategiko saiakuntzak eta sorkuntza aplikatuko laborategiko esperimendazioa. Oinarritzko geometrietan GZES bidezko ehundura kasu ugari aztertu eta aplikatu ondoren, materialaren propietate mekanikoak kontuan hartuta, CZES rekin ehundutako bilbeak erabiliz artefaktu berriak sortu ahal izan dira.

Tesi honetarako espezifikoki sortu den esperimendazio-laborategian 19 artefakturen eraikuntza diseinatuz, inplementatuz eta ebaluatuz, metodo sekuentzial bat sortuz joan da. Horren ondorioz, 8 urratsetan oinarritutako metodoa sortu da, ikasleek CZESrekin ehundutako forma berriak sor ditzaten. Metodo hori ezaugarri ezberdinetako 5 artefaktu eraikitzeko inplementatu da, eta ikasleekin egindako tailer espezifiko batean baliozkotu da. Ikasleek ereduak eskuekin eraikitzean, forma geometrikoetan ikaskuntza osatzen duten bitartean, arkitekturan formakuntzarako trebetasun garrantzitsuak garatzen dituztela egiaztatuta ahal izan da, .

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE GEOMETRY OF SURFACES INTERWOVEN WITH BASKETRY OF FLAT WOODEN STRIP APPLICATION IN ARCHITECTURE EDUCATION

In order to create and build Architecture it is essential to understand and control three-dimensional geometric forms. Although the digital era has brought a positive change in the way of understanding and controlling these geometries, this change seems to have influenced the process of ideation and reflection, resulting in a change in the learning of Architecture. On the one hand, today's students, accustomed to a virtual environment where reality is shared in digital format, seem to find it increasingly difficult to develop critical thinking skills. Currently available hardware and software capabilities facilitate an attitude of immediate response in the face of any challenge or problem, leaving the reflective process aside. This is producing a disconnection between the mind and the hand, resulting in a distortion of the creative process or design. On the other hand, our digital era is making it easier for renowned contemporary architects to experiment with interwoven architectures linked to basketry. However, the problem is that the knowledge of these basketry techniques is being lost in many parts of the world. Handcrafted production and manipulation procedures have no scientific basis and are difficult to replicate. Fewer and fewer design options can be realized and new forms are not being created.

In an attempt to intervene in these two fields, research focuses on the innovation of small-scale interwoven architectures by generating new forms with chestnut wood flat strip basketry (CWFS), which is the predominant technique in the Basque Country. In order to enhance thought processes, this dissertation promotes the preservation and rescue of handicraft and craftsmanship, as a laboratory of processes applied to in Geometry courses. The idea is to link the use of the

most advanced digital techniques with one of the oldest handcraft techniques in the world, namely that of basketry. Experimentation with basketry techniques in this teaching innovation allow students to have control of a complete creative process, from beginning to end, respecting the space-time involved in a manual intervention.

The research method employed in this dissertation is DSR (Design Science Research), a research approach that focuses on the development and evaluation of artifacts with the explicit intention of improving the functional performance of processes. Research techniques used include documentary analysis, case studies, data collection, basic research laboratory testing, as well as applied creative laboratory experimentation. After analyzing and applying multiple cases of interweaving with CWFS in basic geometries, it has been possible to create new artifacts using interweaving wefts with CWFS, taking into account the mechanical properties of the material.

A sequential method has been developed, designing, implementing and evaluating the creation of 19 artifacts in the experimental laboratory created specifically for this dissertation. This has resulted in a method based on 8 steps for students to create new forms interwoven with CWFS. This method has been implemented in the making of 5 artifacts of different characteristics and has been validated in a specific workshop with the students. It has been shown that, by making models with their hands, students develop important skills for their training in architecture, while completing the learning of geometric shapes.

INTRODUCCIÓN	19
ANTECEDENTES	19
Contexto de la investigación	19
Contexto de la investigadora	20
PLANTEAMIENTO, OPORTUNIDAD Y OBJETIVOS	24
Planteamiento	24
Oportunidad	24
Objetivos	25
ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN. HIPÓTESIS	26
Hipótesis	27
Tesis	27
Título / Subtítulo	27
METODOLOGÍA	28
ESTRUCTURA DE LA TESIS	31



Fig. 01. Proceso de entretrejer con tira plana de madera de castaño
(foto: Javier Agirre Erauso)

INTRODUCCIÓN

Toda acción de la mano está enraizada en el pensamiento.
(Martín Heidegger citado por Pallasmaa, 2012)

ANTECEDENTES

Contexto de la investigación

Estudiar y comprender las formas geométricas tridimensionales es un requisito fundamental para la creación y construcción de todo tipo de arquitecturas. La era digital ha supuesto un cambio en la forma de controlar estas geometrías. En el Grado en Fundamentos de Arquitectura de la Universidad del País Vasco, como ocurre en muchos otros, se emplean diferentes tecnologías digitales para la ideación y confección a escala de estas arquitecturas, permitiendo que el alumnado genere maquetas físicas a diferentes escalas utilizando técnicas diversas. Se emplean diferentes *softwares* de modelado 3D y se acaban produciendo los resultados en un laboratorio de fabricación digital que permite la impresión en 3D. Pero La impresión 3D relaja la atención y el control sobre las formas, ya que, en muchos casos, se pasa de un modelo digital 3D, ideado con rapidez, a un modelo físico inmediato. En ocasiones, el alumnado no ha reflexionado en exceso sobre aspectos vinculados con la fabricación y puesta en obra de esos elementos arquitectónicos materializados por medio de una impresora.

En este contexto, se demanda un cambio para potenciar el control sobre las formas geométricas en Arquitectura por medio del aprendizaje de técnicas de fabricación tradicionales, que permiten un desarrollo de nuevas competencias de aprendizaje. La investigación parte del análisis del uso de madera entrelazada en construcciones a nivel

internacional, pero se concreta en un desarrollo local, vinculado a la madera de castaño en el País Vasco (Fig. 01). La madera entrelazada se viene utilizando como material constructivo tradicional en muchas partes del mundo. Su uso en fachadas, cubiertas, en tabiquería interior o en decoración y mobiliario aún puede ser apreciado. Su puesta en obra está vinculada a expertos artesanos en cestería tradicional, una técnica ancestral que ha ido desarrollándose durante miles de años en múltiples países. El problema es que la aparición masiva de productos confeccionados con fibras plásticas pone en crisis los talleres artesanales de cestería, una industria rural y urbana de gran importancia. Se trata de un oficio que se ha transmitido, tradicionalmente, de generación en generación y existe un riesgo real de extinción en muchos lugares. Se trata de aunar la defensa del patrimonio existente para la creación de nuevas formas y formatos en el campo de la Arquitectura.

Contexto de la investigadora

No es habitual incluir esta experiencia personal en la parte introductoria de una tesis, de hecho, podría ser considerado como un apartado que se aleja de lo estipulado en el ámbito científico. Pero esta tesis no tendría sentido sin este contexto y su lectura puede ayudar a comprender algunos aspectos o decisiones descritas posteriormente.

Esta investigación comienza en el año 2010, fruto de un interés personal por **innovar**, tanto en el ámbito profesional, en el **estudio de arquitectura**¹, como en el ámbito académico-universitario. El perfil de investigadora, conformado en esta dualidad teórico-práctica, se destina a la creación de modelos para adaptar y mejorar la docencia al nuevo perfil del alumnado actual, muy influenciado por las herramientas digitales. El paso por la **docencia de Proyectos**² durante doce años y la estancia actual en la **docencia en Geometría**³ permiten entender aspectos geométrico-abstractos,

1 En 2006 fundó el estudio de arquitectura TOKI-arkitekturak junto a Ibon Salaberria. TOKI significa lugar en vasco. Hasta 2012 proyectamos arquitecturas que respondieran a las características locales.

2 Docencia en Proyectos en la Escuela Superior de Arquitectura de Donostia (EHU-AGET) durante el periodo 2007-2019.

3 Docencia Área de Expresión Gráfica, concretamente en Geometría I y II, desde el curso 2019 en Escuela Superior de Arquitectura de Donostia (EHU-AGET).

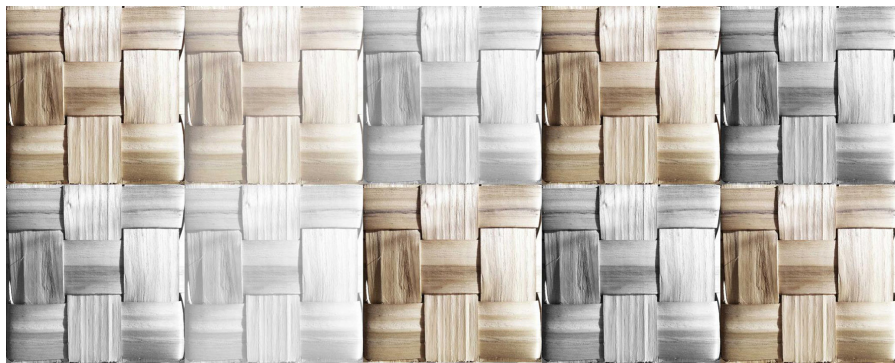


Fig. 02. Collage de tonos a partir de la imagen de la base de un pequeño cesto de castaño realizado con la ayuda del cesterero Iñaki Agirrezabalaga, 2013 (autora)

proyectuales, totalmente relacionados con superficies y volúmenes de la arquitectura, en el campo de acción escogido, en relación con la cestería.

La admiración por la artesanía viene de lejos y, desde mi formación como arquitecta, me ha interesado la interacción de la artesanía con el espacio y la arquitectura. El deseo de realizar proyectos donde poder experimentar y controlar el proceso completo de trabajo, de principio a fin, desde el diseño hasta la construcción, fue lo que me despertó el interés por la artesanía local y consiguió adentrarme en el mundo de la cestería. Viajar a Finlandia y conocer la obra del arquitecto Alvar Aalto y la cercanía que muestran sus diseños hacia esta disciplina impulsó definitivamente que esta investigación se dirigiera en esta línea. Querer experimentar con construcciones realizadas por medio de las manos llevó a plantear la posibilidad de generar nuevas formas con la cestería más significativa del Euskal Herria: la de tira de madera de castaño (Fig. 02), una artesanía aparentemente sencilla que, en el fondo, posee una técnica compleja. Al inicio de la tesis, se trató de recurrir a fuentes primarias o secundarias habituales para documentar la técnica y el método a nivel teórico, pero esto no fue posible. Tampoco se pudo encontrar ningún tratado del oficio ni cursos de formación ni bibliografía o información gráfica suficiente para poder aprender la actividad por cuenta propia. Tras visitar y entrevistar a cesteros de tira de castaño locales para conocer el oficio (Fig. 03), se pudo comprobar que aprender esta cestería era muy difícil, salvo que se hallase en el seno de una tradición familiar. Esto se debe a que dicha artesanía básicamente se ha transmitido de manera oral, de generación en generación, dentro de una misma familia, imitando modelos por medio de la observación, en tiempo real, de la confección de artefactos ya conocidos de manos del maestro artesano.



Fig. 03. Visita a "Txistu", 2013, Nuarbe, Azpeitia (foto: Javier Carballo)

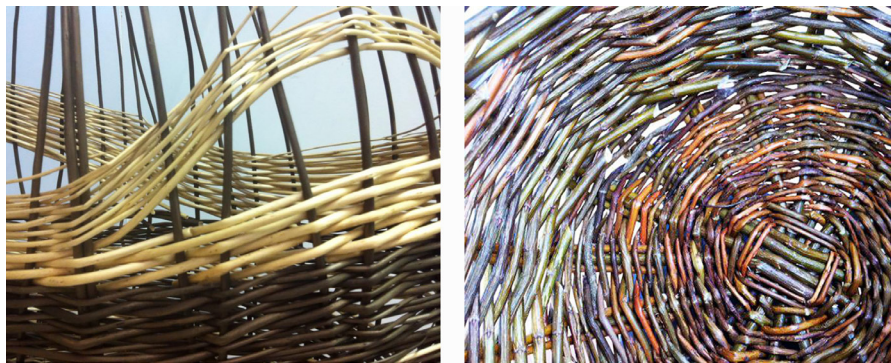


Fig. 04. Experimentando con cestería de mimbre, 2013 (autora)

La formación en cestería era ineludible, pero la escasa oferta de cursos se centraba en la cestería de mimbre, porque resulta más fácil que tejer con tira plana de madera. Aprendidos los conceptos básicos de la técnica de la cestería en mimbre, fui capaz de construir, de principio a fin, algunos cestos tradicionales en el estudio de arquitectura. A partir de ahí, surgió la experimentación con el objetivo de crear nuevas formas para poder proyectar arquitecturas entretejidas de pequeña escala (Fig. 04). El interés iba más allá de entretejer cestos y el deseo de manipulación de la forma comenzaba a dirigirse hacia articular un método que permitiera comprender las leyes geométricas para controlar esos objetos espaciales. Sin ser plenamente consciente, dicho enfoque estaba completamente vinculado a extender esta transferencia de conocimiento a la sociedad en general y al estudiantado de Arquitectura en particular.

En este contexto, siendo profesora de proyectos en la ETSA, entra en juego la obra de Cristóbal Balenciaga en el Museo de Getaria. Al igual que Alvar Aalto, el reconocido modisto vasco, apodado como el arquitecto de la moda, demostró ser capaz de materializar y controlar el proceso completo de sus creaciones, que, en este caso, se centraban en diseñar y confeccionar un traje de alta costura. Es en este momento cuando se comienza a gestar la hipótesis de la investigación, con la finalidad de que el alumnado pudiera experimentar su trabajo, como investigador y proyectista, desde el principio hasta el final, controlando todo el proceso del proyecto. Los primeros ejercicios en los talleres de proyectos de quinto curso se centraron en los campos de confluencia entre el arquitecto Aalto y el modisto Balenciaga. El primer ejercicio que se planteó estaba dirigido al diseño de lámparas (Fig. 05) y el segundo, al diseño de sillas (Fig. 06 y 07), ambos, inspirados en trajes de Balenciaga. El alumnado investigó, realizó bocetos, collages, dibujó planos a mano y con técnicas digitales, construyó maquetas y realizó prototipos con sus propias manos a escala real. Algunos trabajos fueron expuestos en diferentes espacios expositivos que fueron también proyectados



Fig. 05. Exposición de lámparas "Balenciaga ergitzen" en Cristóbal Balenciaga Museoa de Getaria, 2012

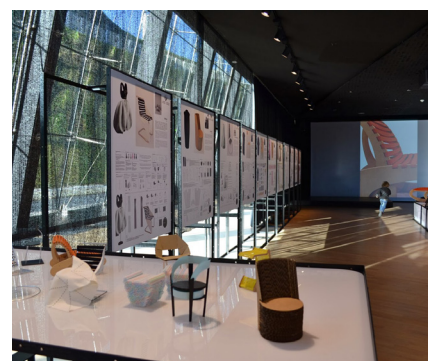


Fig. 06. Exposición de sillas "Balenciaga ezartzen" en Cristóbal Balenciaga Museoa de Getaria, 2013



Fig. 07. Ejemplo de resultado de panel de una de las sillas que realizó el alumnado “Balenciaga ezartzen”, 2013

en colaboración con el alumnado. El proceso de aprendizaje basado en la importancia del trabajo manual tuvo un gran atractivo para los estudiantes y su resultado fue óptimo.

En paralelo, el aprendizaje de diferentes técnicas de cestería seguía demostrando que los conocimientos en geometría eran muy importantes para proyectar los volúmenes y controlar el resultado. Ya como docente en geometría, la colaboración con profesorado experto permitió analizar profundamente la geometría de la cestería, especialmente, la de tira plana. Esto permitió la comprensión de los objetos espaciales realizados con cestería, que en el proceso de aprendizaje de la técnica no había sido posible descifrar. Esta profundidad de conocimiento ha permitido poner en práctica la metodología que se plantea en la presente tesis. El alumnado comienza confeccionando superficies entretejidas con tiras de papel (Fig. 08), para acabar realizando artefactos con cestería de tira plana de madera.



Fig. 08. Cuencos entretejidos con tiras planas de papel, a partir de formas poliédricas. Ejemplo de ejercicio realizado en primer curso de geometría, 2020/21

Una vez se descubren las leyes, formales, geométricas y constructivas, se está totalmente capacitado para modificarlas o alterarlas. Y es ahí donde se crea el proceso creativo de las nuevas formas o aplicación de esas formas a la arquitectura (Herrera, 2021).

PLANTEAMIENTO, OPORTUNIDAD y OBJETIVOS

Planteamiento

Esta tesis se plantea con la firme convicción de que hay que seguir trabajando, tanto en la teoría como en la práctica, sobre los modelos que se proponen en la enseñanza de arquitectura. La tesis se enfoca en un nuevo perfil de alumnado, acostumbrado a un entorno virtual y al uso de herramientas digitales, que parecen permitir suplir los procesos del pensamiento. En el fondo, esto produce una distorsión en el proceso proyectual o, lo que es lo mismo, en el proceso creativo. Para tratar de potenciar el pensamiento reflexivo, la tesis propone un entorno manual y artesano como laboratorio de procesos aplicados al proyecto. Se trata de enlazar la utilización de las técnicas digitales más avanzadas con una de las técnicas artesanales manuales más antiguas del mundo, la cestería (Adovasio, 2016).

La investigación se centra en la innovación de arquitecturas entretejidas de pequeña escala mediante la generación de nuevas formas con cestería de madera de castaño. Se trata de plantear un modelo de innovación docente de aplicación directa a la enseñanza de arquitectura, concretamente desde la asignatura de Geometría, donde se **recupere la manualidad dentro del aprendizaje de la arquitectura**. La experimentación con técnicas de cestería puede permitir al alumnado tener el **control de un proceso creativo completo, desde el principio hasta el final**.

Oportunidad

Esta investigación resulta, por un lado, **una oportunidad académica para fortalecer habilidades manuales en el alumnado**, ya que, se ha llegado a suplir gran parte del aprendizaje manual en la enseñanza de disciplinas artísticas, como, por ejemplo, en la arquitectura. La experiencia personal como docente, tanto en Proyectos como en Geometría, ha permitido percibir que el alumnado sufre una desconexión entre la realidad y la hiperrealidad de un ordenador, lo que provoca una pérdida del vínculo que enlaza la ideación a la creación, en el proceso proyectual. Al poner en práctica esta nueva propuesta, se ha podido comprobar una demanda por parte del alumnado de una vuelta a la manualidad, no sólo como método de aprendizaje, sino como método del control y del rigor formal que, en este caso, necesitan dominar para la profesión de arquitecto.

*La capacidad de proyectar
y configurar es algo que
aprendemos en el hacer.
(Archer citado por Vidal, 2015)*

*En la actualidad, el
arquitecto sabio busca
alianzas profundas con
artesanos y artistas con el
fin de volver a conectar su
mundo y su pensamiento
intelectualizados con
la fuente de todo
conocimiento verdadero:
el mundo real de la
materialidad, de la gravedad
y de la comprensión
sensorial y corporal de
estos fenómenos físicos.
(Pallasmaa, 2012)*

Cuando la mano ha adquirido su propia dinámica la mano piensa, tiene adivinaciones. (Henri Focillon citado por Aranea & Calduch Cervera, 2018)

Incluso en la era del diseño asistido por ordenador y del modelado virtual, las maquetas físicas constituyen una ayuda incomparable en el proceso de proyectual del arquitecto o del diseñador. La maqueta tridimensional habla a la mano y al cuerpo de un modo tan potente como al ojo, Y su propio proceso de construcción simula el proceso de construcción real. (Pallasmaa, 2012)

Por otro, **a nivel patrimonial**, resulta oportuno plantear una investigación que profundice en el conocimiento de un oficio artesanal local, olvidado y en peligro de extinción, como es la cestería de castaño en Euskal Herria. Con este tipo de investigación, se pretende recuperar la artesanía, no sólo como una práctica manual estrictamente enfocada a la confección de utensilios, sino como un proceso de creación reflexiva con carácter de laboratorio de ideación y creación de nuevas arquitecturas.

Se observa que, en estos últimos años, hay un **resurgimiento** o una especie de toma de conciencia de los **procesos artesanos manuales**. Existe una **proliferación de artistas** que experimentan con nuevas **geometrías entretejidas**. Al mismo tiempo, el diseño de geometrías de formas complejas, mediante técnicas digitales avanzadas como la parametrización, combinadas con técnicas artesanales, está en pleno auge.

Objetivos

- Recuperar la manualidad en la enseñanza y aprendizaje de la arquitectura para aportar esa materialidad a la docencia de Arquitectura que en los últimos años se ha visto sustituida por el dibujo digital, la parametrización o la introducción de las impresoras 3D.
- Hacer confluir en la actividad creativa dos acciones, la de hacer y la de pensar. Se pretende evidenciar las confluencias y las coincidencias que se establecen entre las producciones artesanales de carácter manual y el hacer imaginativo, relacionado con el proceso del proyecto arquitectónico (Herrera, 2021).
- Formar el pensamiento abstracto. La cestería permite construir estructuras espaciales, mientras se atrapa el vacío con la superficie entretejida (Fig. 9). En la investigación, se trabaja con formas entretejidas que, además de hacerle descubrir las formas geométricas al alumnado, le ayudan a formar el pensamiento abstracto, tan importante en todos los creadores y tan necesario en el proceso de proyectos en arquitectura (Herrera, 2021).
- Establecer modelos de innovación docente de aplicación directa en la asignatura de Geometría. La representación y creación de superficies geométricas mediante la aplicación de técnicas de cestería, puede ayudar al alumnado a entender y asimilar mejor algunos conceptos de geometría que se estudian en el Grado.

- Introducir en el alumno de Arquitectura el uso de la geometría mediante la experimentación con técnicas de cestería. La geometría como parámetro fundamental en el proyecto arquitectónico.
- Ayudar a la preservación de la cestería tradicional. Investigar superficies y volúmenes geométricos con cestería de tira plana de madera de castaño (TPMC), ayuda a la preservación del conocimiento de la cestería tradicional, además de poner en valor el oficio de la cestería con este material, que hoy en día está infravalorado y en peligro de extinción.
- Potenciar la figura del arquitecto como intermediario entre dos disciplinas como la cestería y la geometría, para innovar con arquitecturas entretejidas de pequeña escala, que puedan estar destinadas al diseño de interiores, a maquetas de ideación en arquitectura, al diseño industrial o al arte, entre otros.

*La acción de la mano
define los vacíos del
espacio y los llenos de
las cosas que lo ocupan.
Superficie, volumen,
densidad, gravedad, no son
fenómenos ópticos.
(Focillon, 2006)*

ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN. HIPÓTESIS

La investigación se limita por 3 aspectos:

- Desde el punto de vista de la artesanía, por la cestería de tira plana de madera y, en particular, la de castaño.
- Desde el conocimiento de la geometría, por las superficies y volúmenes entretejidos en cestería y su análisis geométrico.
- Desde la docencia, por el descubrimiento de modelos de aplicación en los ejercicios prácticos de los alumnos de Arquitectura, desde primero hasta el último curso del Grado en Arquitectura.

Hipótesis

Se trata de probar si la realización de modelos con técnicas artesanales manuales, centradas en la cestería de TPMC, puede permitir amplificar las capacidades creativas de un arquitecto en las fases iniciales, o del alumnado de Arquitectura, para ayudar a la consecución de nuevas formas Arquitectónicas.

El uso exclusivo del ordenador puede dejar de lado una serie de procesos en la dinámica creativa, que unas técnicas manuales aplicadas a la comprensión geométrica y proyectual de las formas no se saltan, ya que el espacio-tiempo que supone una intervención manual en ese proceso permite, a una misma, dominar el proceso de principio a fin.

Tesis

Las técnicas manuales de artesanía, centradas en la cestería de TPMC, se pueden aplicar a la enseñanza de Geometría y Proyectos en las escuelas de Arquitectura, además de ser de gran utilidad para la consecución de nuevas formas o para la experimentación en modelos escalares de nuevas formas de arquitectura.

La consecución de modelos realizados siguiendo un método secuencial desarrollado en el laboratorio de experimentación ayuda a fomentar la creatividad, dirigiendo al cerebro hacia un pensamiento abstracto. Esto permite la creación o la recreación de nuevas formas aplicadas en el campo de la construcción arquitectónica, tanto a pequeña escala, a través del modelaje de maquetas, como a escalas intermedias, para realizar, por ejemplo, revestimientos en interiores, mobiliario o lo que se requiera.

Título:

Análisis de la geometría de superficies entretejidas de cestería de tira plana de madera.

Subtítulo:

Aplicación en la enseñanza de arquitectura.

METODOLOGÍA

En esta investigación, se utiliza Design Science Research (DSR) como enfoque metodológico para desarrollar el diseño de soluciones generadas por medio de modelos 3D. Dentro de este

enfoque, las técnicas de investigación utilizadas incluyen el análisis documental, el estudio de casos, la obtención de datos, los ensayos en laboratorio con carácter de investigación básica, así como la experimentación en laboratorio de creación aplicada. DSR es un enfoque de investigación que se centra en el desarrollo y evaluación de artefactos con la intención explícita de mejorar el rendimiento funcional de los procesos. En DSR, a diferencia de la investigación científica explicativa, los objetivos de la investigación académica son de naturaleza más pragmática (Holmström et al., 2009). Se eligió DSR como método de investigación por dos razones: por un lado, el problema de la investigación es práctico, pero también tiene relevancia teórica y, por otro, se pretende desarrollar artefactos como resultado. Simon (2006) sostiene que DSR se preocupa por el diseño y la evaluación de artefactos creados por el hombre con el objetivo de resolver problemas del mundo real. DSR se emplea para encontrar aplicaciones prácticas a problemas de diseño comunes, su aplicación debe conducir a los resultados esperados (Van Aken, 2004) y los métodos de optimización desarrollados se apoyan en herramientas computacionales (Simon, 2006). Si los problemas están relacionados con objetos físicos, las soluciones se pueden representar como planos, modelos 3D o dibujos. Puede incluir las otras formas de conocimiento del diseño: construcciones, modelos, métodos e instancias que transmiten conocimiento (Gregor y Hevner, 2013). Así, se establece que el conocimiento de la ciencia del diseño se manifiesta en forma de artefactos: construcciones, modelos, estructuras, arquitecturas, principios de diseño, métodos y teorías del diseño (Gregor y Jones, 2007). March y Smith (1995) sugieren que hay dos actividades fundamentales en la investigación de la ciencia del diseño: construir una solución y evaluar la solución. Los mismos autores explican que la etapa de construcción es el proceso de confección de un artefacto para un propósito específico, y la etapa de evaluación es el proceso de determinar lo bien que desempeña el artefacto el cumplimiento de su propósito. Esto es precisamente lo que se va a realizar en esta investigación. Según Hevner et al. (2004), el proceso de construcción es intrínsecamente iterativo e incremental: la etapa de evaluación proporciona una retroalimentación esencial para la fase de construcción en términos de la calidad del proceso de desarrollo y la solución en sí. El enfoque de la ciencia del diseño ayuda a resolver los problemas de aplicación y relevancia que ocurren en disciplinas de la arquitectura.

En el fondo, esta investigación es un viaje proyectivo de la especulación del diseño como un medio valioso para comprender el conocimiento arquitectónico (Bajet Mena, 2021). La “investigación a

través del diseño” surge como un terreno fértil para la investigación arquitectónica y es definido como una investigación “a través del medio de la actividad del profesional” (Archer, 1995). Es una superposición de teoría y práctica, conocimiento y acción, donde la indagación debe conducirse hacia el conocimiento nuevo y comunicable, adquirido a través de un viaje planificado con un resultado incierto (OECD, 2015). En una búsqueda para reconocer el diseño, o incluso “la ciencia del diseño” (Simon, 1969), como un medio intrínseco de investigación, Archer (1979) reclamó una “tercera área” de la investigación humana, afirmando que: “existe una forma de pensar y comunicarse diseñada por un diseñador que es a la vez diferente de las formas científicas y académicas de pensar y comunicarse, y tan poderosa como los métodos de investigación científicos y académicos, cuando se aplica a su propios tipos de problemas”. Como afirma Cross (1982), su *modus operandi* está “centrado en la solución” en lugar de “centrado en el problema”; opera con códigos visuales que dependen de imágenes gráficas, como dibujos o bocetos, para traducir propósitos conceptuales en objetos específicos y utilizan estos códigos visuales tanto para “leer” como para “escribir” en la cultura material de los “lenguajes objeto”. Académicos como Frayling⁴, Lawson, Verbeke y Van Schaik parecen aceptar relaciones menos comprensibles entre artefacto y conocimiento, reconociendo que los dibujos o los objetos pueden incorporar rastros de conocimiento tácito que pueden emerger —y ser captados por observadores sintonizados— en diálogo con formas explícitas de percepción (Bajet Mena, 2021). El Manual de Frascati⁵ parece ampliar aún más el potencial de reconocer la producción de artefactos cuando son nuevos y originales (es decir, prototipos) como una forma intrínseca de investigación, siempre que se construyan no como un fin, sino como un medio para la mejora y el desarrollo (OCDE, 2015). Los artefactos arquitectónicos resultantes de los capítulos de diseño se conciben no como un fin en sí mismos, sino como un medio prospectivo hacia la interpretación.

Esta tesis tiene un carácter iniciático. Se trata de establecer conexiones entre materias que actualmente están completamente desconectadas, como es el caso de la geometría pura y la cestería pura aplicadas a la docencia. Ha sido muy complicado acceder a fuentes primarias o secundarias de carácter convencional que

4 Christopher John Frayling (1946): pedagogo británico.

5 Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development. The Measurement of Scientific, Technological Innovation Activities, Publicación OECD, Paris.

estuvieran enlazadas y permitieran avanzar en la consecución del reto. Se puede decir que se han gestionado más fuentes primarias que secundarias o, incluso, que esta tesis va a permitir plasmar y transferir a la sociedad en forma de fuente primaria un conocimiento actualmente desestructurado y que, en algunos casos, sólo existe en la mente de algunos cesteros. A continuación, se resumen los recursos, técnicas, experiencias o fuentes aplicadas para la consecución del método. No se van a agrupar como primarias o secundarias porque el límite puede resultar difuso. Se ha contado con:

- Experiencia aplicada en la docencia de Proyectos. Talleres de proyectos: Patronaje & arquitectura. Exposiciones realizadas con el alumnado.
- Experiencia personal en proyectos vinculados a la creación artístico-geométrica mediante el diseño de arquitecturas entretejidas de pequeña escala.
- Experiencia aplicada en la docencia de Geometría⁶. Conocimiento de las leyes que tiene la geometría y de las herramientas digitales en 3D para dominarlas.
- Formación en diferentes técnicas de cestería. Workshops. Seguimiento en redes sociales a profesionales de la cestería. Vídeos y tutoriales en la red. Blogs y páginas webs. Conocimiento de técnicas orientales.
- Investigación etnográfica: visitas a museos y exposiciones etnográficas vinculadas con la cestería. Visitas a artesanos, entrevistas. Visitas a ferias y encuentros de artesanía.
- Revisión bibliográfica: libros, artículos científicos, manuales de cestería. Recopilación de datos tanto cuantitativos como cualitativos.

Con toda esta base, se aterriza la investigación aplicada en el laboratorio de proyectos personal, para experimentar con procesos constructivos de diferentes superficies entretejidas y descubrir las

⁶ Experiencia adquirida con el compañero de asignatura y arquitecto Dr. Antonio Sánchez Parandiet, que tiene grandes conocimientos en geometría.

leyes geométricas, formales y constructivas de la cestería de TPMC. Tras una Investigación básica para determinar las propiedades mecánicas de la TPMC, se ha seguido un procedimiento estructurado en una secuencia de cuatro fases: Diseño, Implementación, Evaluación, Adaptación. La aplicación a los 19 casos confeccionados ha dado como resultado el método secuencial de 8 pasos propuestos.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Capítulo Inicial. Introducción

Este capítulo esboza los antecedentes, plantea el ámbito de la investigación, formula la hipótesis, detalla los objetivos y describe la metodología de investigación.

CAPÍTULO 1 ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS

Se realiza un recorrido a través de diferentes ejemplos de arquitecturas entretejidas significativas para ver que la evolución y la innovación de sus formas están vinculadas de manera sustancial a la capacidad de su representación gráfica.

CAPÍTULO 2 CESTERÍA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Se realiza un breve recorrido para conocer lo que ha sido, es y representa la cestería y el cesto a lo largo del mundo. Se quiere evidenciar su importancia patrimonial y el riesgo que tiene de desaparecer dicha técnica constructiva. Además, se muestran diferentes transformaciones que ha sufrido la cestería en las últimas décadas.

El recorrido comienza con una mirada amplia, partiendo de ejemplos internacionales, hasta llegar a un enfoque más local, como es la cestería de castaño, que es la más significativa del País Vasco y con la que se desarrolla la tesis.

CAPÍTULO 3 GEOMETRÍA DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS

Se plasma la investigación que interrelaciona las dos disciplinas, la geometría y la cestería, para su aplicación en la docencia del Grado en Fundamentos de Arquitectura. Se muestra la importancia que tienen las líneas geodésicas en la cestería, mientras se profundiza en la cestería de tira plana, que es la técnica en la que se centra esta tesis. Finalmente, se estudian diferentes generaciones de tramas o superficies entretrejidas y sus aplicaciones a diferentes formas básicas. Todo ello, acompañado de modelos digitales presentados por medio de infografías⁷ realizadas específicamente para el presente estudio.

Este capítulo, podría contener infinidad de casuísticas de geometría, pero se ha hecho un análisis de todo el espectro de casos, para definir una serie de casos válidos de referencia que permitan desarrollar un laboratorio de experimentación creativa.

CAPÍTULO 4 ARTEFACTOS. ESTUDIOS DE CASO

Este capítulo se plantea a partir de los conceptos geométricos de la cestería de tira plana, recogidos en el capítulo anterior. Se presentan los casos desarrollados en el laboratorio de experimentación creativa, planteado específicamente para esta tesis. Tras el filtro del capítulo 03, se ha estructurado una lógica de casos que permiten abarcar un espectro muy amplio por medio de 19 artefactos, plasmados en una estructura gráfica con forma de árbol (Fig. 09).

Los casos confeccionados han permitido fusionar conocimientos adquiridos previamente en las dos disciplinas. Este laboratorio de incubación creativa combina artefactos que han sido gestados fusionando técnicas manuales y digitales. La destreza desarrollada en el análisis y resolución de problemáticas surgidos ha permitido materializar un método de creación secuencial que pueda ser útil para que el alumnado, o cualquier persona interesada, pueda aplicarlo en sus creaciones de nuevas arquitecturas entretrejidas con TPMC. Para validar la viabilidad del método, se seleccionan 5 casos singulares que son analizados de manera pormenorizada en el siguiente capítulo.

⁷ Infografías realizadas en la asignatura de Geometría con el programa de modelado 3D *Rhinceros* 6.0_ www.rhino3d.com

CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACION DEL METODO SECUENCIAL

Se muestran, el proceso de confección y los resultados de esos cinco artefactos representativos, donde se aplica el método general propuesto en esta tesis para crear nuevas formas entretejidas con TPMC. Se comprueba que el método es aplicable a casos muy dispares. Finalmente, se presenta la puesta en práctica del método en un caso concreto desarrollado en un Focus Group o taller de enfoque, desarrollado con el alumnado para comprobar la viabilidad del mismo.

Capítulo Final. Conclusiones

Este capítulo presenta las conclusiones, las recomendaciones, las limitaciones y las futuras líneas de investigación.

Bibliografía

Listado de referencias citadas en este documento de la tesis.

Anexo

En este apartado, se describen y adjuntan los resultados de los ensayos de propiedades mecánicas realizados a la TPMC utilizados en esta tesis en el desarrollo de los capítulos 04 y 05.

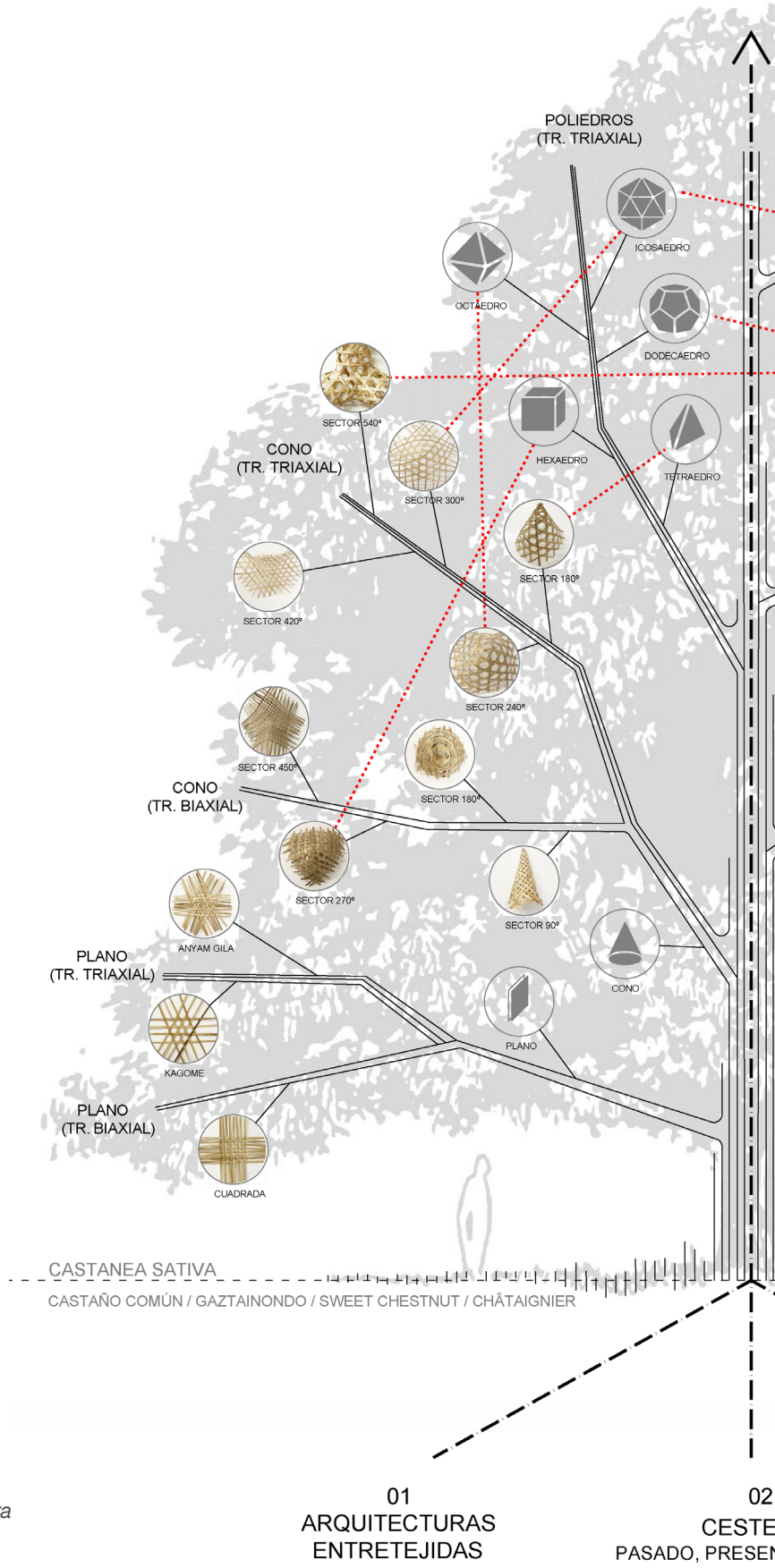
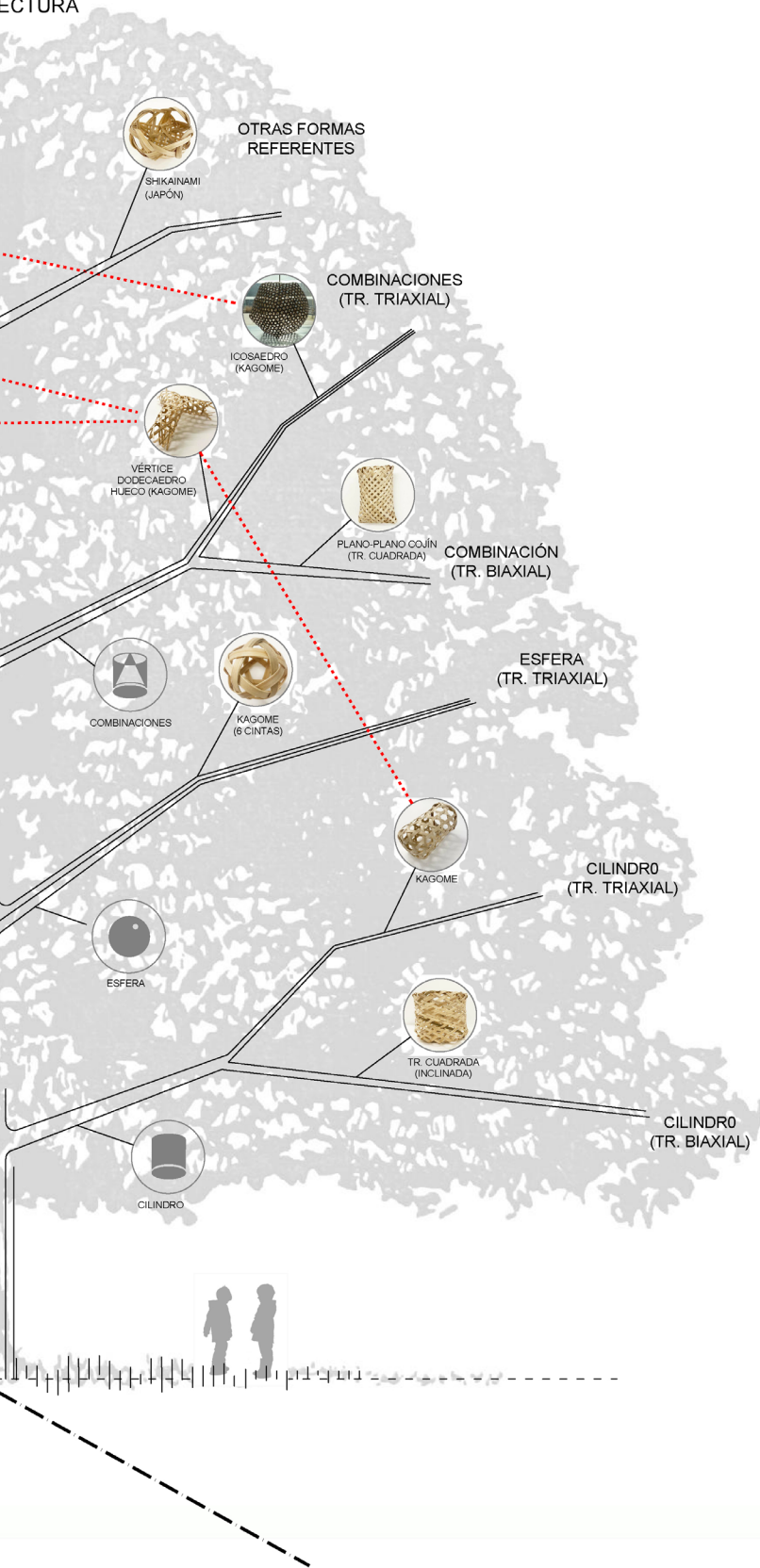


Fig. 09. Estructura gráfica con forma de castaño que muestra el trabajo realizado en el laboratorio de experimentación creativa, planteado específicamente para esta tesis



1

1	ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS	39
1.1	ORIGEN	39
1.2	ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS REPRESENTATIVAS	40
1.3	REPRESENTACIÓN DE ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS	46

1. ARQUITECTURAS ENTRETEJIDAS

La arquitectura entretejida tiene su base en la cestería. Dibujar y confeccionar arquitecturas entretejidas tiene una dificultad añadida debido a que la trama, al margen de la forma proyectada, lleva intrínseca una construcción geométrica que complica la ideación y el dibujo gráfico del diseño. La representación gráfica tradicional, previa a la digitalización, ha tenido un límite en la creación de nuevas formas, sin embargo, con la llegada de la era digital, el control sobre la geometría tridimensional ha aumentado y han aparecido nuevos métodos de representación que favorecen la innovación de nuevas arquitecturas entretejidas.



Fig. A01. Nidos de colibrís y golondrina (extraído del libro *Animales arquitectos*, Juhani Pallasmaa)

En este capítulo se realiza un recorrido a través de diferentes ejemplos de arquitecturas entretejidas significativas para ver la importancia de su representación gráfica a la hora de evolucionar e innovar sus formas.

1.1 Origen

Podría decirse que los principios de la Arquitectura entretejida son incluso anteriores al ser humano que, en muchos casos, ha tratado de imitar tanto estructuras halladas en la naturaleza como elementos confeccionados por el reino animal. Las construcciones del mundo animal, entre las que se encuentran los entrelazados de materiales naturales, han sido referentes para el ser humano (Fig. A01).

Los animales emplean los mismos materiales que muchos pueblos aborígenes y unos métodos de trabajo similares. Por tanto, a menudo las construcciones animales se parecen a las humanas, ya que cada material tiene unas formas estructurales óptimas, independientemente de que el constructor sea humano o animal

(Pallasmaa et al., 2020).

Uno de los retos más importantes del hombre primitivo fue poder unir diversas piezas como, por ejemplo, una piedra y un trozo de madera para confeccionar un hacha. Este avance pudo llegar a materializarse gracias al trenzado de fibras (Amorós Oskoz, 1998). La cestería es el primer lenguaje universal de la humanidad: el lenguaje de las manos (Tagiabue, 2013).

Los elementos entretejidos también han tenido su influencia en la arquitectura. Cuenta Vitruvio⁸, en su tratado de arquitectura de la Antigüedad clásica, que el origen del orden corintio se basa en un cesto de mimbre rodeado de hojas de acanto (Vitruvius et al., 2000) (Fig. A02).

A lo largo de la historia, la arquitectura tradicional entretejida ha utilizado en sus construcciones las técnicas manuales y los materiales empleados en la cestería. Estas técnicas y materiales se han tratado a una escala mayor creando infinidad de elementos arquitectónicos, tales como mobiliario, cerramientos y cubiertas (Fig. A03). Estos elementos solían ser de construcción sencilla y de formas geométricas controlables (Telleria et al., 2020). Hoy en día, los entretejidos se siguen trabajando manualmente por artesanos especializados en cestería.



Fig. A02. Descubrimiento del orden corintio. Vitruvio, Los diez libros de arquitectura

1.2 Arquitecturas entretejidas representativas

Las arquitecturas entretejidas tienen su base en la cestería tradicional. Existen numerosos ejemplos que, de alguna manera, hacen referencia a diferentes aspectos de la cestería. Por ejemplo, se pueden encontrar arquitecturas que imitan la forma acabada del cesto o proyectos que utilizan alguna técnica de la cestería como solución constructiva o, incluso, el material que se utiliza para tejer diferentes trabajos de cestería puede servir como material constructivo del proyecto.

Arquitectos contemporáneos reconocidos han experimentado con arquitecturas entretejidas. Han creado diferentes arquitecturas basándose en aspectos de la cestería tradicional, desde mobiliario

⁸ Vitruvio: Marcus Vitruvius Polio: arquitecto romano del siglo I a.C. Autor del tratado sobre arquitectura más antiguo del mundo que se conserva, y el único de la Antigüedad clásica.



Fig. A03. Cerramiento entretejido con varas de avellano y utensilios confeccionados con madera de castaño y avellano. Caserío vasco "Igartubeiti", S.XVI (autora)

y arquitecturas interiores, hasta envolventes exteriores, incluso edificios (Fig. A04). En este apartado se recogen diferentes ejemplos con el fin de mostrar la evolución y transformación que han sufrido dichas arquitecturas en las últimas décadas. La llegada de la era digital ofrece la oportunidad de diseñar y desarrollar nuevas formas entretejidas mediante la aplicación de *softwares* digitales en el proceso proyectual.

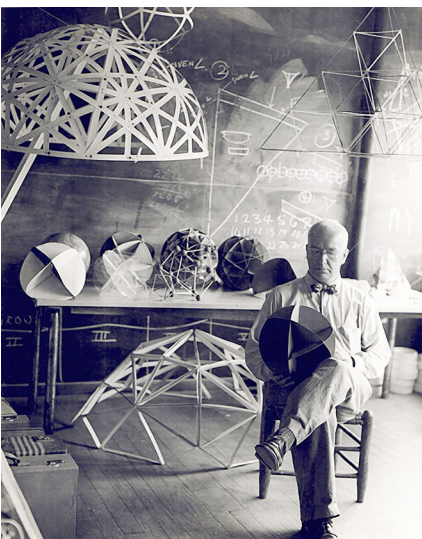


Fig. A04 _Buckminster Fuller (1895-1983). Black Mountain College de Carolina del Norte, 1948_ www.arquitecturaydiseno.es

Semper desglosa la forma construida en dos aspectos diferenciados: lo tectónico y lo estereotómico. El término estereotómico proviene del griego *stereos* que significa sólido, y *tomia* que significa cortar. En el primer aspecto, el tectónico, el material más común a lo largo de la historia ha sido la madera, o sus equivalentes, como el bambú, las cañas y el trabajo de cestería⁹. Campo Baeza¹⁰, asemeja la arquitectura tectónica a la cestería. Describe lo tectónico como algo que destaca por la inmaterialidad de la trama, que tiende hacia la luz (Campo Baeza, 2009).

Shigeru Ban¹¹, Pritzker 2014, es un arquitecto que aprende del pasado y es capaz de traducir conceptos tradicionales al lenguaje de la arquitectura contemporánea. Ha experimentado con diferentes entretejidos en sus proyectos, hasta el punto de llevar al límite

⁹ Semper divide la forma construida en dos procedimientos materiales distintos: la tectónica de la trama, en la que las distintas partes se conjugan constituyendo una única unidad espacial; y la estereotómica, de la masa que trabaja a compresión, que cuando conforma un espacio, lo hace por superposición de partes iguales (Campo Baeza, 2009).

¹⁰ Alberto Campo Baeza: arquitecto (Valladolid, 1946). Catedrático de Proyectos de la Escuela de Arquitectura de Madrid. Sus obras han tenido un amplio reconocimiento_ www.campobaeza.com

¹¹ Shigeru Ban: arquitecto japonés (1957). Ganó el premio Pritzker en 2014_ www.shigerubanarchitects.com



Fig. A05. Izda: Scale 1/30 Fruit bowl, 2010, Shigeru Ban. Dcha: Confección propia (autora)

algunos conceptos de la cestería tradicional japonesa. Sirva como ejemplo el diseño de objeto doméstico que realizó inspirado en el tejido de cestería tradicional japonés conocido como *kagome*. El objeto, un frutero que lo denomina scale 1/30, recuerda a una maqueta de un edificio, de ahí su nombre (Fig. A05). Ban afirma que la belleza de las artesanías se ha investigado tan profundamente, y se ha probado tantas veces a lo largo de los siglos, que se puede transferir fácilmente a una escala mayor (Mineva, 2017).

En algunos diseños significativos de mobiliario del siglo XX realizados por arquitectos se pueden encontrar superficies entretejidas con técnicas de cestería. La pareja finlandesa Alvar Aalto y Aino-Marsio¹² tienen diseños entre los cuales se pueden encontrar sillones y

¹² El diseño de mobiliario se encuentra muy presente a lo largo de la trayectoria de la pareja de arquitectos finlandeses Alvar Aalto (1898-1976) y su primera esposa Aino-Marsio (1894-1949). La contribución de la pareja al diseño de mobiliario fue muy relevante en su obra.

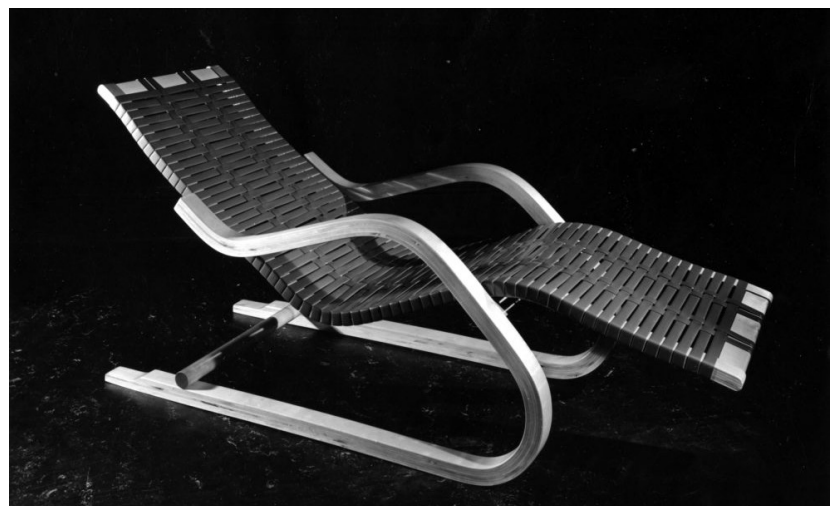


Fig. A06. Lounge chair and Y-leg stool, 1937, Alvar Aalto (A. Aalto Museum)



Fig. A07. Tres albergues en Baoxi, 2016, Anna Heringer_ www.shigerubanarchitects.com



Fig. A08. Interior del pabellón Daycare centre, 2001, Odate, Japón



Fig. A09. Kait plaza, Atsugi (Japón), 2020. Junya Ishigami_ www.arquitecturaviva.com

taburetes con armazón de madera laminada de abedul y asiento entretejido de fibras naturales (Miller, 1987) (Fig. A06).

La arquitecta alemana Anna Heringer¹³, que destaca en los últimos años por su arquitectura sostenible, tiene múltiples ejemplos de arquitecturas entretejidas como los albergues envueltos con una superficie de revolución entretejida de bambú, construidos de forma tradicional por artesanos locales (Fig. A07).

La atmósfera que se genera en el espacio interior de un cesto, mediante el juego de luces y sombras que se filtran a través del tejido, se ve reflejado en diferentes proyectos de arquitectura. El arquitecto japonés Shigeru Ban recoge en algunos de sus edificios las sensaciones y los juegos de luces que se crean en los interiores de los entretejidos de bambú. Por ejemplo, para el proyecto del pabellón cilíndrico del Hospital Daycare center en Odate (Fig. A08) se inspira en un cesto japonés, “ajiro”, y en los cerramientos del Pabellón Hermes de Tokyo replica la técnica de cestería a mayor escala.

Esa atmósfera parece estar también presente, de una manera más abstracta, en el reciente proyecto de la plaza Kait (A.V., 2021) del arquitecto japonés Junya Ishigami¹⁴, donde la luz cambiante filtra a través de los huecos de la cubierta dibujando diferentes interiores (Fig. A09). La imagen de la plaza evoca esa tensión entre interior

13 Anna Heringer: arquitecta de cooperación alemana (1977). Su filosofía se basa en construir comunidades a partir de los recursos materiales disponibles y la mano de obra local_ www.anna-heringer.com

14 Junya Ishigami: arquitecto japonés (1974). Su estudio de arquitectura es junya.ishigami+associates_www.jnyi.jp

y exterior que al arquitecto suizo Peter Zumthor¹⁵ tanto le fascina cuando habla de atmósferas¹⁶. Se produce un espacio que se entiende tanto como un dentro y un fuera (Zumthor, 2019).

Un ejemplo más cercano, que parece emular la atmósfera interior de un cesto, es el Pabellón en el estanque, de RCR¹⁷ Arquitectes situado en Llagostera (Fig. A10).

Últimamente, la aplicación de entretejidos de fibras naturales en diseño de interiores está de moda. En la tienda Isabel Marant de Bankog, por ejemplo, los entretejidos de fibras naturales, confeccionados a mano, ofrecen un ambiente interior natural, cambiante y de una gran calidez. El estudio Cigüe diseñó un juego de planos verticales con paneles entretejidos con tiras planas de bambú (Fig. A11).

La reciente apertura de la tienda de Zara Home de A Coruña es un reflejo de la tendencia que existe del uso de la cestería local como reclamo. Las revistas de decoración lo muestran como un nuevo concepto de tienda minimalista, enfocado a la tradición y la artesanía

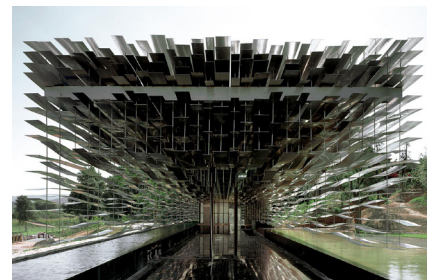


Fig. A10. Pabellón en el estanque, Llagostera, 2004 (RCR), el croquis 138

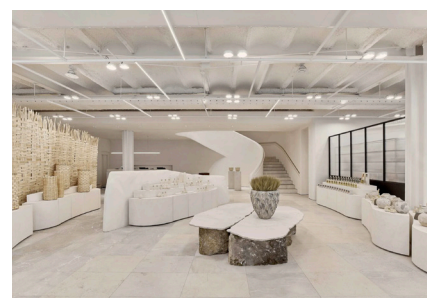


Fig. A12. Instalación decorativa con cestería de TPMC, 2021, A Coruña_ (foto: Zara Home)

15 Peter Zumthor: arquitecto suizo nacido en Basilea (1943). Premio Pritzker 2009.

16 Según Peter Zumthor, la atmósfera habla de una sensibilidad emocional, una percepción que funciona a una increíble velocidad y que los seres humanos tienen para sobrevivir (Zumthor, 2019).

17 RCR Arquitectes: estudio de arquitectura de Olot (Girona), compuesto por los arquitectos: Rafael Aranda, Carme Pigem y Ramón Vilalta. Premio Pritzker 2017_ www.rcrarquitectes.es

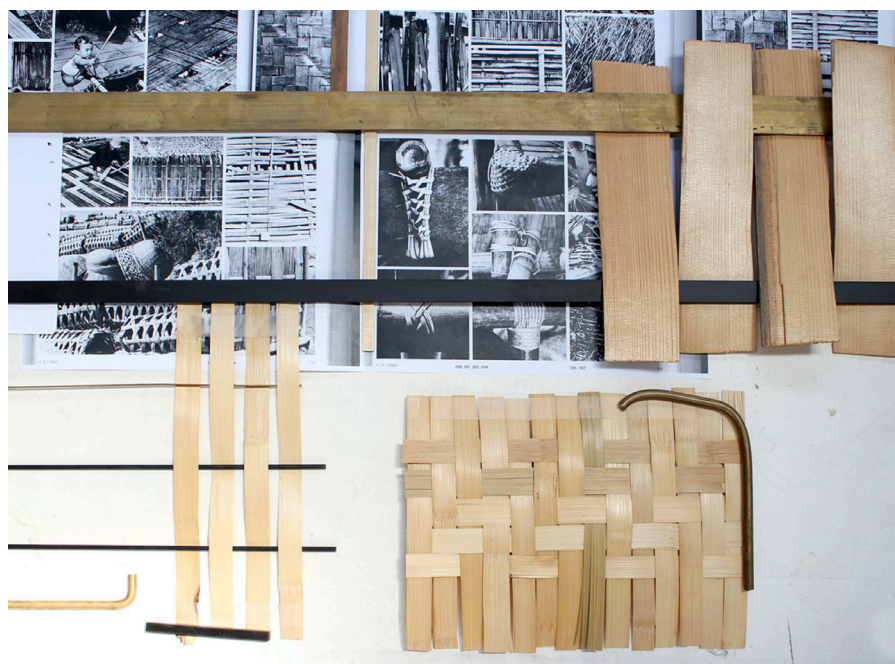


Fig. A11. Tienda Isabel Marant, Dch. Detalle entretejido de bambú. Bankog 2014_ www.cigüe.net





Fig. A13. Khitul-ami, Bentota, 2020, Kengo Kuma_ www.kkaa.co.jp

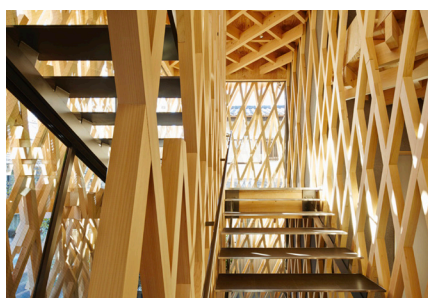
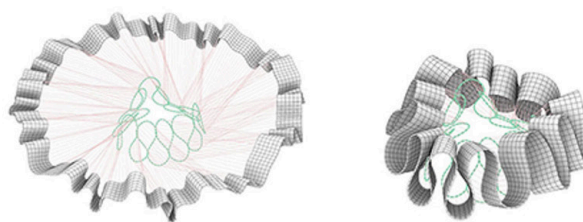


Fig. A14. Imagen interior diurna y exterior nocturna del edificio_ www.kkaa.co.jp

(Ortega, 2021). En este proyecto, la arquitecta Elsa Urquijo, junto a la reconocida cestera Idoia Cuesta, han colaborado en la instalación decorativa creada a partir de entretejer tiras de madera de castaño, una de las técnicas tradicionales de cestería gallega. La intervención recoge un panel longitudinal de forma orgánica y un conjunto de cestas cilíndricas de diferentes tamaños. (Fig. A12).

El estudio japonés Kengo Kuma & Associates tiene varios ejemplos en los que experimenta con arquitecturas entretejidas y técnicas de modelado 3D. Un ejemplo es la escultura¹⁸ exterior de Bentota, cuya idea parte de una forma inicial que sufre una deformación geométrica realizada con un programa de modelado digital (Fig. A13).

A una escala mayor, destaca la tienda Sunny Hills en Minami-Aoyama¹⁹. Se trata de un edificio con forma de cesto irregular. Su fachada, compuesta por un entramado de madera, está realizada mediante diseño paramétrico y funciona como un tamiz que de día filtra la luz solar al interior. De noche, el edificio-cesto se ilumina creando una luz ardiente en su interior (Fig. A14).

¹⁸ Escultura exterior Khitul-ami, Bentota, 2020, Kengo Kuma_ www.kkaa.co.jp

¹⁹ Tienda Sunny Hills, en Minami-Aoyama, 2013. Arquitecto: Kengo Kuma_ www.kkaa.co.jp

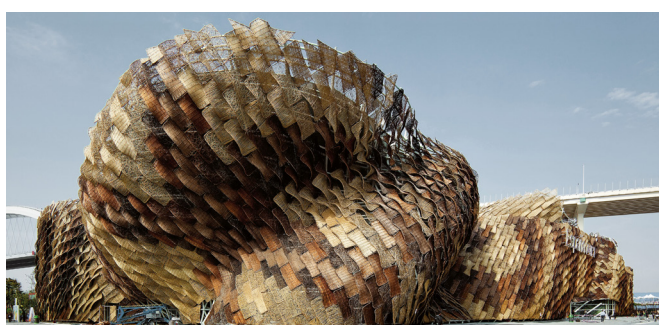


Fig. A15. Exterior del Pabellón de España en Shanghai cubierto con paneles entretejidos_ www.arquitecturaviva.com



Fig. A16. Óleo “Bodegón con cesto, tres erizos de mar y una lámpara” 1946. Litografía “Naturaleza muerta con jarra de gres” 1947. Boceto “Estudio de trenzado de mimbre” 1906. (Museo Picasso)

Uno de los ejemplos contemporáneos más representativos de arquitecturas entrelazadas es el Pabellón de España para la Exposición Mundial Shanghái 2010²⁰, diseño del estudio catalán EMBT. Las formas complejas para la cubrición del pabellón, diseñadas digitalmente, se realizaron con paneles de mimbre entretejidos con técnicas artesanales de cestería (Cruz, 2019) (Fig. A15).

1.3 Representación gráfica de arquitecturas entretejidas

La representación de geometrías entrelazadas de diferentes elementos de cestería ha sido fuente de inspiración de reconocidos pintores. Óleos como *El cesto de frutas de Caravaggio*²¹ o *Cesta con seis naranjas*²² de Van Gogh son algunos ejemplos de obras que representan tejidos de mimbre. Incluso Picasso muestra diferentes maneras de representar los volúmenes entretejidos con diferentes técnicas (Fig.A16).

A la hora de representar gráficamente los elementos entretejidos, hay que destacar la dificultad que entraña dibujar, además de la forma geométrica del elemento, la trama concreta con que se genera. Se toma como ejemplo de ilustración un cesto de castaño vasco en perspectiva caballera. El dibujo, además de representar el volumen, muestra con detalle las proporciones reales de la confección de la trama en su base (Fig. A17).

Cuando una trama se complica, como es el caso del tejido triaxial

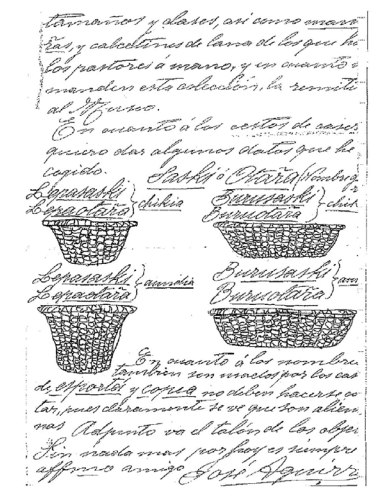


Fig. A17. Cesto de castaño de 1915, STM Donostia

20 Pabellón de España en Shanghái 2010. Arquitecto: EMBT_ www.mirallestagliabue.com

21 *Cesto de frutas* de Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571-1610), óleo sobre lienzo, 54,5 x 67,5cm_ www.ambrosiana.it

22 *Naturaleza muerta con seis naranjas*, Vincent van Gogh (1888), óleo sobre lienzo_ www.vangoghgallery.com

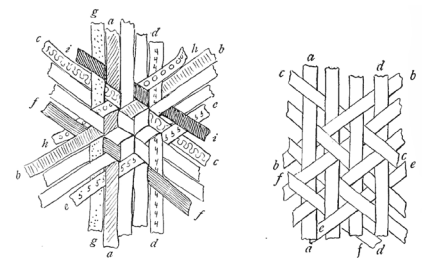


Fig. A18. Anyam gila (mad weave): A Malaysian type of basket work. By Otys T. Mason

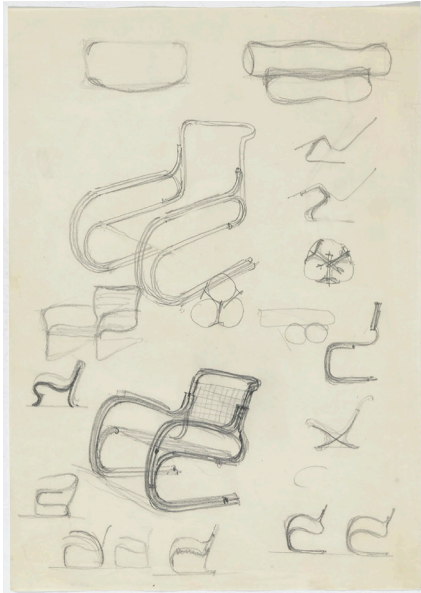


Fig. A19. Silla Lounge Chair, 1926-46, Ludwig Mies van der Rohe_ www.moma.org

*anyam gila*²³ o *mad wave*, su representación se dificulta mucho más y es difícil controlar las formas que se pueden generar con el tejido si no se utiliza un *software* digital (Fig. A18).

Si se analiza la representación gráfica de elementos arquitectónicos entretejidos, hay que destacar que arquitectos singulares han confeccionado arquitecturas con tramas entrelazadas, cuya representación es muy diversa. No es fácil encontrar dibujos a mano de procesos de confección de este tipo de arquitecturas representadas en la era pre-digital, teniendo en cuenta la dificultad que conllevaba trazar las tramas a mano con la forma geométrica de elementos diseñados.

Si se toman ejemplos de escala reducida, como las sillas, se puede apreciar que, en el siglo XX, por ejemplo, arquitectos como Mies Van der Rohe²⁴ y Alvar Aalto representaban y creaban elementos con entretejidos sencillos. Eran tramas sencillas y fáciles de controlar aplicadas a planos con poca dificultad formal. En los bocetos de diseño de "Lounge chair" (1937), Mies esboza con detalles la forma y la estructura de la silla Lounge-Chair para mostrar su construcción, pero no entra en detallar el entretejido de caña del asiento con el mismo nivel de definición. Es decir, en el dibujo, no se llega a enlazar la forma con la trama entretejida (Fig. A19).

Unas décadas más tarde, arquitectos como Frank Gehry²⁵ y Benedetta Tagliabue²⁶, influenciados por las nuevas tecnologías, experimentan con geometrías complejas.

Las creaciones de Frank Gehry se caracterizan por no tener límites a la hora de idear formas, tal y como se aprecia en la silla "Cross check"²⁷. Los dibujos de ideación muestran, aparentemente, un elemento entretejido, pero no se representa el tipo de trama concreto para que se pueda construir. Por tanto, el resultado de la silla

²³ *Anyam gila*: Tejido triaxial.

²⁴ Ludwig Mies van der Rohe: arquitecto alemán (1886-1869).

²⁵ Frank Owen Gehry: arquitecto norteamericano de origen canadiense (129).

²⁶ Benedetta Tagliabue: arquitecta italiana del estudio de arquitectura EMBT. Fue socia del arquitecto catalán Enric Miralles (1955-2000)_ www.mirallestagliabue.com

²⁷ Gehry creó su colección de muebles de madera curvada para Knoll en 1992. Inspirado por la sorprendente fuerza de una cesta de madera, trató de integrar plenamente material y diseño creando una obra maestra estructural y estéticamente ligera_ www.knoll.com/designer/Frank-Gehry



Fig. A20. Cross check chair 1989, Frank Gehry (Knoll)

finalizada se asemeja a un entretejido, pero la fabricación nada tiene que ver con un entretejido realizado con técnicas de artesanía. Las tiras de madera están prefabricadas y todas las sillas son iguales. No cuenta con estructura principal y secundaria (Fig. A20). Sin embargo, estructuralmente, la silla funciona como un cesto.

El conjunto de sillas Tina & Pepe²⁸, ideado por Benedetta, del estudio EMBT, está confeccionado con ratán. Para su creación se combinan los métodos artesanales con la precisión y la calidad que aporta la tecnología. Los bocetos conceptuales modelados en 3D tienen una complejidad formal elevada y presentan un aparente entretejido de mimbre, aunque sin la reflexión gráfica suficiente para que el conjunto se pueda fabricar. Es por ello que el resultado final de la silla construida ha tenido que simplificar la forma de los bocetos, para poder integrar forma y trama (Fig. A21).

Los elementos arquitectónicos a partir de geometrías básicas, con técnicas de entretejido sencillo, no necesitan representaciones

28 Tina & Pepe: diseño de EMBT (www.mirallestagliabue.com/project/tina) realizado en 2013 para el cliente Expormin (muebles de madera y ratán)_ www.expormim.com

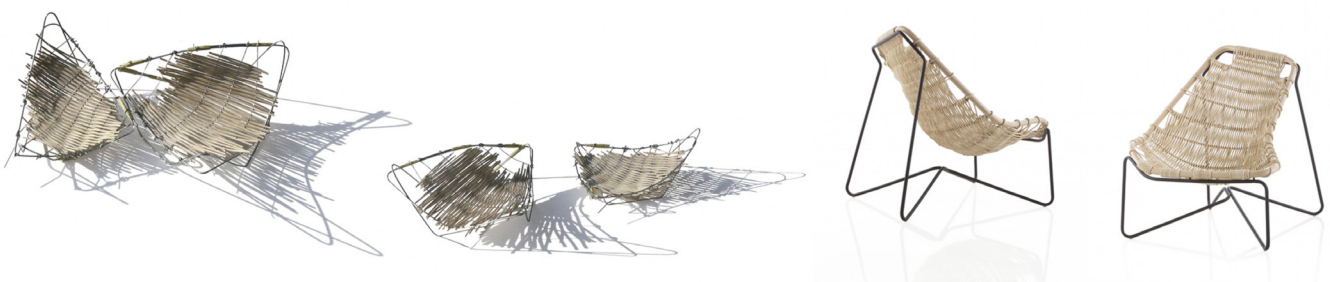


Fig. A21. Cross check Sillón Tina & Pepe, 2013, EMBT

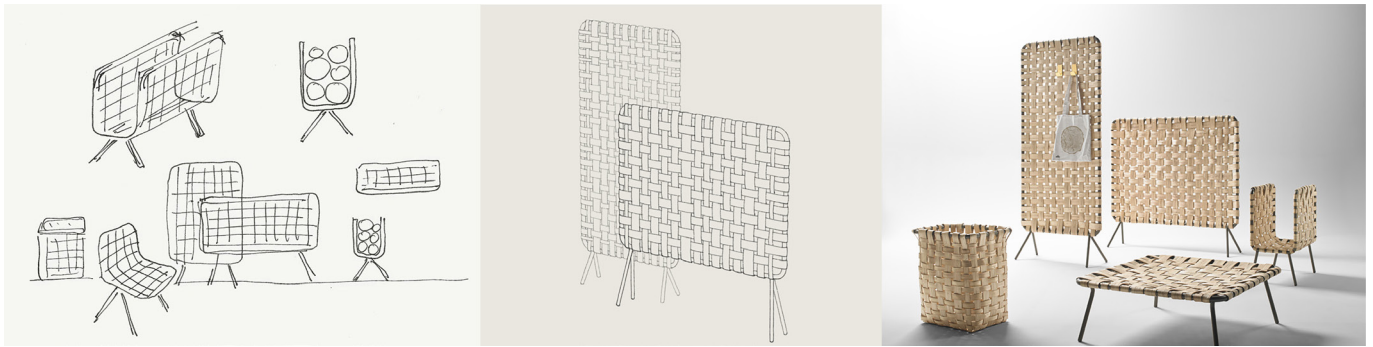


Fig. A22 . Colección "Zumitz" 2016, Irazoki/Lizaso_ www.iratzoki-lizaso.com

gráficas avanzadas. Es el caso de los croquis de diseño de mobiliario contemporáneo entretejido con tiras de castaño de los diseñadores vascos Irazoki/Lizaso²⁹. En los bocetos se aprecian las formas geométricas básicas de los diseños, donde la trama de damero es controlable tanto para el diseñador, que los representa con facilidad, como para el artesano, que los confecciona (Fig. A22).

Algo semejante ocurre, a una escala mayor, con el croquis del detalle constructivo de la fachada de madera entretejida de Aspen Art Museum de Shigeru Ban³⁰. La forma y el entramado son sencillos y por tanto se pueden dibujar con detalle, incluso por medio de croquis en 3D desde los primeros bocetos (Fig. A23).

Frank Gehry fue uno de los primeros arquitectos que comenzó a controlar las formas complejas en sus diseños a través de *softwares* de modelado 3D, el ejemplo más significativo fue el proyecto del Museo Guggenheim de Bilbao (León & Pérez, 2018). Es evidente que la era digital ha tenido su influencia en la expresión gráfica arquitectónica (Muntañola Thornberg et al., 2016) y esto se ve

29 Diseño de colección de mobiliario "Zumitz" para Alki, 2016. Basado en la cestería tradicional vasca, concretamente la de madera de castaño. Diseñado por Irazoki/Lizaso y confeccionados por los cesteros guipuzcoanos "Azurmendi anaiak"_ www.iratzoki-lizaso.com

30 The New Aspen Art Museum, Colorado, USA. 2014. Arquitecto: Shigeru Ban_ www.shigerubanarchitects.com



Fig. A23. Croquis de detalle constructivo e imagen de fachada_ www.shigerubanarchitects.com. Centro: Confección con TPMC (autora). Dcha.: interior de edificio

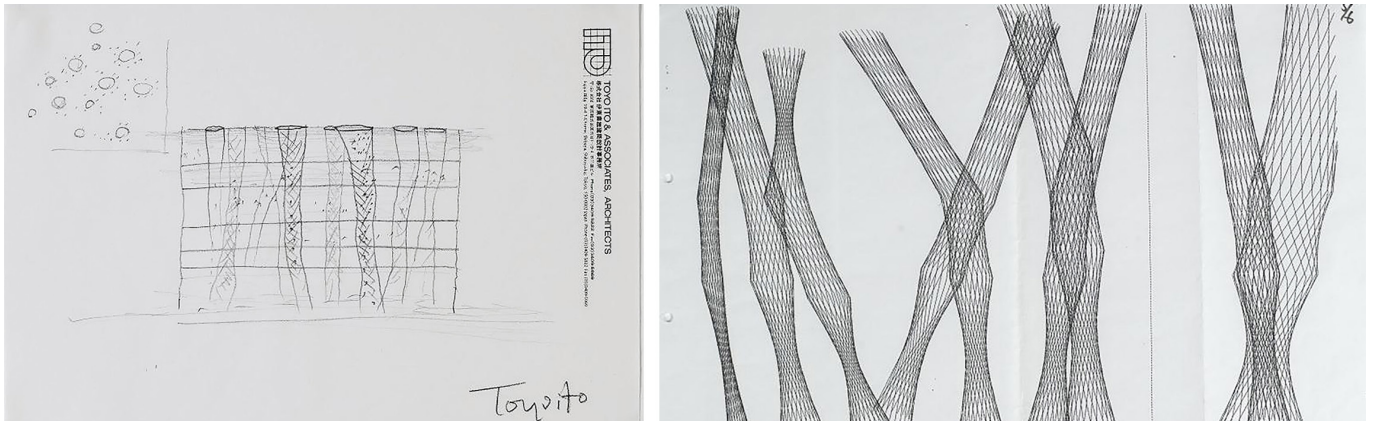


Fig. A24. Boceto y diagrama estructural Mediateca de Sendai, 2000; Toyo Ito

reflejado en la representación de arquitecturas entrelazadas de mayor escala. Dentro de este marco, se encuentran los croquis de ideación que se crean a sabiendas de que van a contar con el apoyo de un modelo digital que resuelva los aspectos técnicos más complejos. Un ejemplo son los dibujos de la estructura metálica de la Mediateca de Sendai de Toyo Ito. La ideación comienza con bocetos de la sección del edificio mostrando la importancia de los elementos estructurales representados con una trama diagonal, pero la definición gráfica final de las estructuras compuestas por núcleos, semejantes a cestos apilados, se culmina con técnicas digitales (Fig. A24).

Siguiendo con ejemplos de representaciones de arquitecturas entrelazadas, un proyecto destacable es el Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou³¹, donde Renzo Piano presenta dibujos realizados a mano que llegan a una definición muy precisa. Los planos representados

31 Jean-Marie Cultural Centre Tjibaou, 1991-1998, Noumea, New Caledonia. Renzo Piano_ www.rpbw.com

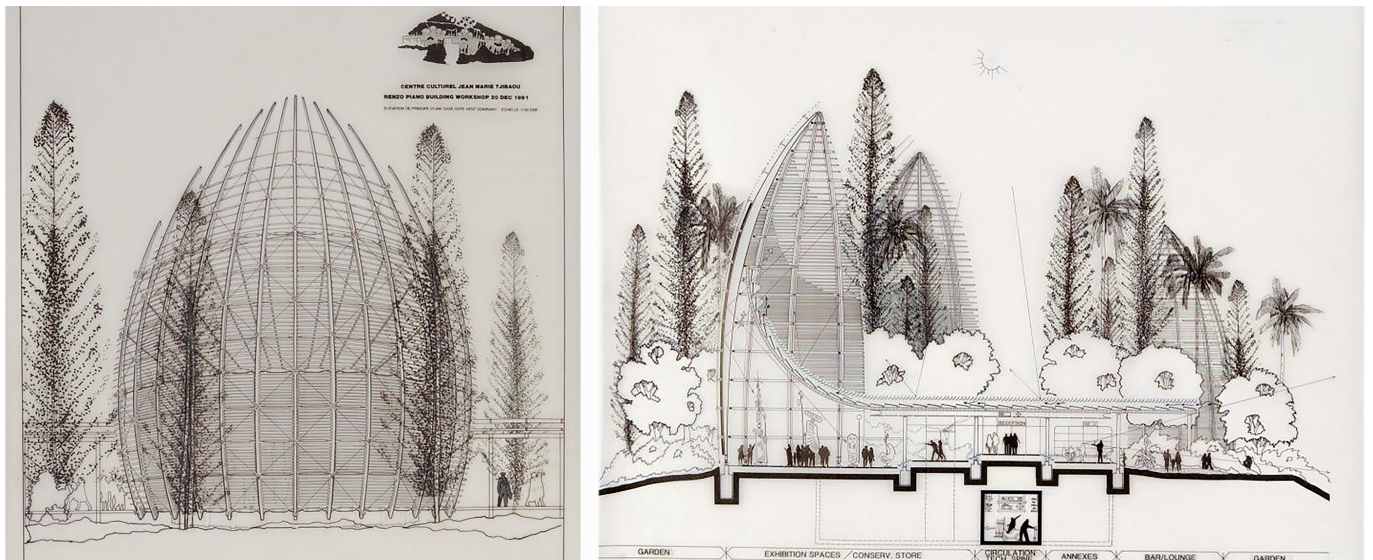


Fig. A25. Planos realizados con tinta china y lápiz sobre papel de calco. (www.centrepompidou.fr)

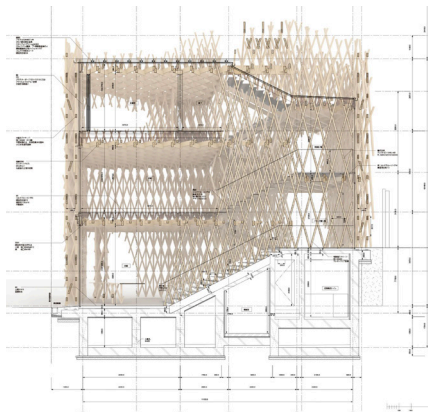


Fig. A26. Plano digital de sección transversal fugada del edificio Sunny Hills

con técnicas tradicionales de dibujo 2D, tanto en perspectiva cónica como en diédrico, muestran los volúmenes edificados con formas geométricas complejas, incluyendo un entramado estructural de madera a todo detalle, que recuerda a elementos de cestería sobredimensionados (Fig. A25).

El entramado de madera de la fachada del edificio Sunny Hills³² de Kengo Kuma, semejante a un cesto, se ha diseñado mediante un programa de parametrización 3D. Gracias a la digitalización se puede controlar gráficamente su diseño y afrontar la complejidad que conlleva la construcción y fabricación de las fachadas irregulares del edificio (Fig. A26).

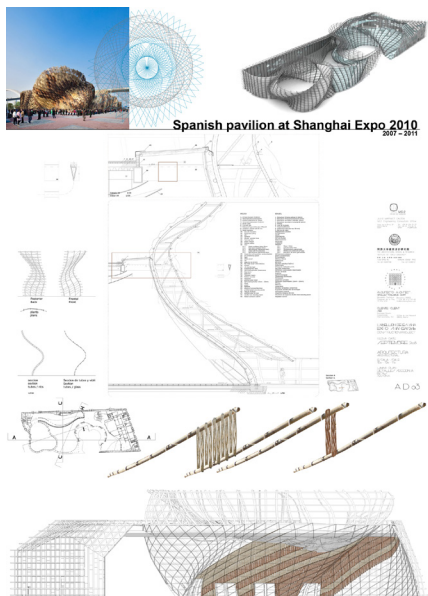


Fig. A27. Panel presentado por EMBT al concurso del Pabellón de España en la Expo 2010 de Shanghai_ www.thegoodmoodfactory.com

EMBT también ha investigado con mimbre y con entrelazados de materiales naturales. El estudio demostró tener una gran capacidad de expresión gráfica de sus arquitecturas en la era analógica. Los dibujos de sus geometrías complejas, representadas bidimensionalmente, permitían la comprensión de la forma, la estructura y las técnicas constructivas del proyecto sin ningún *software* de modelado 3D. El pabellón de la Expo 2010 de Shanghái es un ejemplo de aplicación de la tecnología digital más avanzada al diseño con técnicas tradicionales para generar un edificio. El proyecto, con una geometría de formas complejas, sería imposible de desarrollar sin técnicas digitales (Fig. A27).

No cabe duda de que la cestería ha servido de inspiración a arquitectos de renombre como Shigeru Ban. Para la estructura de la cubierta del Centro Pompidou Metz³³, el arquitecto toma como referencia un sombrero tradicional chino de bambú confeccionado con una trama hexagonal que se denomina *kagome*³⁴. Se trata de una trama triaxial compleja que permite generar formas espaciales cónicas difíciles de dominar con técnicas de representación pre-digitales. Muestra de dicha complejidad de representación es el croquis de la sección del edificio, donde Ban no dibuja a mano la trama triaxial de la cubierta y, sin embargo, esta trama sí aparece perfectamente definida en el modelado 3D (Fig. A28).

Los programas de modelado tridimensional son necesarios para

32 Sunny Hills Shop, 2013, Tokyo. Kengo Kuma & associates_ www.kkaa.co.jp

33 Centre Pompidou Metz, 2010, Metz (Francia). Shigeru Ban_ www.shigerubanarchitects.com

34 La palabra japonesa *kagome*, se compone por las siguientes palabras y correspondientes significados: kago (jaula o cesta) + me (ojo).

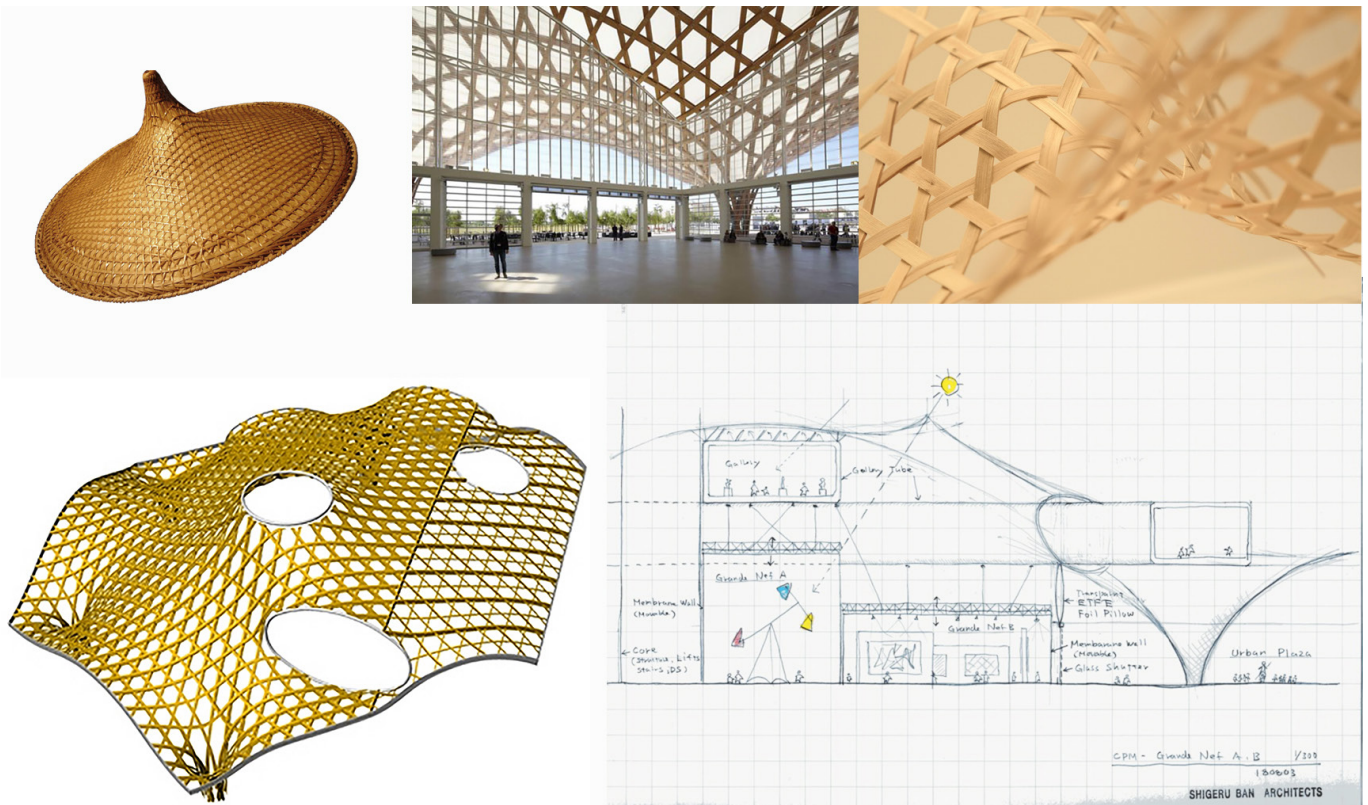


Fig. A28. De Izda. a Dcha. y de Sup. a Inf. Gorro tradicional chino, imagen interior del edificio, confección propia (autora), modelado 3D del diseño de la cubierta y croquis de la sección

dominar el proceso de confección de superficies complejas entretejidas con este tipo de trama, tanto para las maquetas de ideación como para las de construcción final (González, 2016). El proceso de experimentación de Ban, por medio de maquetas confeccionadas con técnicas tradicionales de cestería japonesa, puede considerarse una innovación por ser una nueva forma en 3D que ayuda en el proceso de representación y confección de arquitecturas entretejidas (Fig. A29). Para materializar estas maquetas, hace falta esbozar una forma, definir una trama, y enlazarlas de manera efectiva. Si la forma o la trama son complejas, se necesitará un apoyo mediante un programa de modelado 3D para controlar dicha simbiosis.



Fig. A29. Maqueta de bambú del proyecto "Frei Otto Laboratory" en Alemania, 2004. Shigeru Ban

Para confeccionar las maquetas hay que tener conocimientos de cestería tradicional. Es por ello que, este tipo de estudios de diseño y arquitectura, cuentan con gente que trabaja las maquetas manualmente, como es el caso de la oficina Ibuku³⁵ de Bali, donde confeccionan maquetas entretejidas de bambú como parte del proceso de diseño de la arquitectura que realizan (Fig. A30). Ibuku

35 La oficina Ibuku, situada en Bali (Indonesia) y dirigida por Elora Hardy. El equipo se compone por arquitectos e ingenieros jóvenes que innovan mediante el diseño de arquitecturas con bambú. Utilizan técnicas tradicionales de artesanos del lugar, mientras respetan el medio ambiente_ www.ibuku.com



Fig. A30. Mesa de maquetas de la oficina Ibuku, situado en Aldo's studio, diseñado por ellos_ www.facebook.com

explora nuevas formas de usar el bambú, un material sostenible (Apsari & Dewi, 2021).

En el desarrollo de la maqueta pueden surgir contratiempos al confeccionar la forma a través de la trama ideada. Se pasa de imaginar soluciones por medio del croquis a apoyarse en el modelado 3D, combinando ambas técnicas hasta obtener un resultado final que pueda construirse de manera efectiva. Se trata de un flujo bidireccional donde intervienen diferentes tipos de representación que aportan aspectos diferentes y enriquecen el desarrollo del elemento arquitectónico. Tomando como referencia estas confecciones a través de la maqueta, se ha planteado una nueva experiencia docente en geometría basada en arquitecturas entretejidas.

2

2	CESTERÍA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO.....	57
2.1	CESTERÍA	57
2.2	CESTA.....	59
2.3	PASADO	60
2.4	PRESENTE	64
2.5	FUTURO	70

2. CESTERÍA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO

En este capítulo, se realiza un breve recorrido para conocer lo que han sido, son y representan tanto la cestería como el cesto en todo el mundo. Se quiere evidenciar la importancia patrimonial y el riesgo de desaparecer que tiene dicha técnica constructiva. Además, se muestran diferentes transformaciones que ha sufrido la cestería en las últimas décadas. El recorrido comienza desde una mirada amplia, partiendo de ejemplos internacionales hasta llegar a un enfoque más local, en concreto la cestería de castaño, que es la más significativa del País Vasco y es en la que se centra el desarrollo de la tesis. Se recogen ejemplos significativos para observar el potencial de la cestería y las tendencias que se intuyen en un futuro.



Fig. B01. Niños en la nieve, protegidos con capas entretejidas con fibras vegetales. Niigata 1956 (foto: Hiroshi Hamaya)

2.1.Cestería

La cestería tiene un aspecto sencillo y práctico que recurre a la inteligencia de las manos y a una mirada ingeniosa y buscadora para realizar un artículo innatamente funcional. Sin embargo, en esta colaboración utilitaria entre la voluntad humana viva y los materiales silvestres seleccionados y recolectados, puede surgir la belleza. (Elizabeth Crawford)³⁶

La cestería se entiende como el arte de construir manualmente objetos o estructuras con fibras vegetales (Fontales, 2013). Aunque, a priori, su nombre hace referencia a la realización de cestas o cestos³⁷,

³⁶ Elizabeth Crawford: cestería inglesa licenciada en Medicina Herbal. Trabaja con materiales fácilmente disponibles y accesibles en el paisaje_ www.foragedfutures.co.uk

³⁷ La diferencia entre cesta y cesto se basa en el tamaño y las proporciones. Según la Real Academia de la Lengua Española el cesto se define como “cesta grande y más alta que ancha”.

la cestería también engloba diferentes actividades que utilizan materiales y técnicas similares a la construcción de los mismos (Fig. B01). Tradicionalmente, la cestería se ha elaborado principalmente con fibras vegetales (Sentance, 2001). También se han utilizado fibras de origen animal, como es el caso de los esquimales, quienes tienen su propia cestería, construida con fibras extraídas de las ballenas (Lee, 1985).

Considerada como el oficio artesanal más antiguo de la humanidad, se especula que la cestería precede a la alfarería. La cestería ha permitido al ser humano crear superficies estructurales coherentes, de modelos similares a los ya existentes en la naturaleza (Kuoni, 2003).

Es una técnica artesanal que se ha desarrollado, a nivel mundial, en multitud de culturas. Utilizando dicha técnica, el ser humano ha construido una gran variedad de artefactos con el fin de cubrir multitud de necesidades, desde objetos de protección, transporte, recolección y conservación de alimentos, hasta la creación de utensilios de trabajo (Amorós Oskoz, 1998) (Fig. B02).

La cestería ha llegado hasta nuestros días gracias a la imitación de la técnica a lo largo del tiempo. El proceso de repetición no puede ser exacto, lo que hace que durante el desarrollo se generen pequeñas variaciones que favorecen una posible evolución de la técnica.

La cestería es un proceso de repetición, de repetición de lo mismo; la gracia y la maravilla de esto están en que nunca se puede repetir del todo, íntegramente.³⁸

Existen muchos tipos de cestería tradicional y generalmente se clasifican según el material o las técnicas utilizadas (Lipczynska, 2008). En cuanto al material, existe una gran variedad de fibras vegetales, ya que en cada lugar crecen diferentes plantas que están condicionadas por el clima, el tipo de tierra o el entorno físico, entre otros factores. Además, cada lugar tiene su cultura, sus costumbres y sus necesidades, de modo que, a lo largo del mundo se han creado infinidad de objetos, confeccionados con materiales, técnicas y formas diferentes, destinados a distintas funciones (Novellino, 2005).

La mayoría de las técnicas no precisan de muchas herramientas



Fig. B02. Cesta para besugo, tejida con madera de castaño. Cesto vasco, anterior a 1916. Colección permanente STM.

³⁸ Texto del filósofo Agustín García Calvo (1926-2012), en las primeras jornadas de Cestería Tradicional Gallega (Vigo, 1999). Texto recogido del prólogo del libro *Cestería de los pueblos de Galicia*, de Carlos Fontales.



Fig. B03. Detalle nasa langostera realizada con varas de madera - STM, 2021.

y los materiales utilizados no exigen mucha preparación, como en la cestería de mimbre. Sin embargo, en la cestería de tira de castaño hay que preparar el material y trabajarlo requiere una mayor infraestructura³⁹.

2.2. Cesta

Una cesta (o cesto) está formada tradicionalmente por el entrelazado de fibras naturales, generalmente vegetales. La característica principal de las fibras es su flexibilidad, que permite entretejerlas para crear objetos. Concretamente, la cesta se caracteriza por su ligereza, rigidez, indeformabilidad y adaptabilidad (Amorós Oskoz, 1998).

En cuanto al diseño, se podría decir que la cesta tradicional tiene un diseño perfecto, resultado de un proceso de repetición y experimentación a lo largo de generaciones. Su diseño se ha ido puliendo durante siglos, según las necesidades de cada momento. Se han elaborado infinidad de cestas, con lo que la técnica se ha puesto en práctica y se ha ido mejorando una y otra vez a lo largo del tiempo.

La cesta se define como un recipiente tejido con mimbres, juncos, cañas, varillas de sauce u otra madera flexible (Fig. B03), que sirve para recoger o llevar ropas, frutas y otros objetos (ASALE & RAE, s. f.). En la definición se recogen aspectos como la **forma**, la **técnica**, el **material** y la **función**. La palabra “recipiente”, hace alusión a la **forma**, a una cavidad que se muestra como un espacio hueco dentro de un cuerpo, al fin y al cabo, se habla de arquitectura. La **técnica** constructiva de la cesta se determina por la palabra “tejido”, que se refiere a una superficie que se forma por entrelazado de varios elementos. Tejer también significa formar la tela con la trama y la urdimbre⁴⁰, términos que se usan en varios tipos de cestería. La urdimbre hace referencia a la estructura, mientras la trama se refiere

³⁹ Las varas de mimbre se humedecen y con una navaja y un punzón se puede preparar el material para poder entretejerlo. Sin embargo, la tira de madera de castaño hay que extraerla mediante el rajado de la rama, previamente sumergida durante días en agua; posteriormente se cuece al horno y, finalmente, se lija.

⁴⁰ Según la Real Academia de la Lengua Española, la palabra urdimbre se define como el “conjunto de hilos que se colocan en el telar paralelamente unos a otros para formar una tela”. Mientras la trama hace referencia al “conjunto de hilos que, cruzados y entrelazados con los de la urdimbre, forman una tela”_ www.dle.rae.es

al cerramiento; ambos conceptos muy usados en arquitectura. La diferencia entre la cestería y otros materiales tejidos, como los textiles, es que en la cestería los artefactos se tejen con fibras o tiras sin necesidad de ningún tipo de armazón (Stoner, 2019).

Una característica constructiva que tienen en común muchos cestos es que están compuestos prácticamente por un único material. Un buen cesto debe estar realizado enteramente con fibras vegetales, no necesita de clavos ni grapas metálicas, exactamente como los cestos de castaño del País Vasco.

Una gran variedad de fibras naturales, como hojas, varas y maderas flexibles definen el material de la cesta tradicional, mientras que la función muestra infinidad de posibles usos, como recolectar frutos, conservar comida, incluso pescar o transportar materias primas, entre otros (Fig. B04).

El cesto, suele estar tejido por una persona, de modo que, a la hora tejer, el alcance de la mano determina la dimensión máxima del mismo. El tamaño y el peso del cesto acabado condicionan su uso y su destino. Es muy habitual que el cesto tenga un uso personal y que lo manipule una sola persona, como así sucede con el cesto como utensilio de trabajo.

2.3.Pasado

Como ya se ha expresado con anterioridad, la cestería es una actividad de origen ancestral desarrollada en los cinco continentes. Existen publicaciones donde se puede comprobar la utilización de formas y técnicas de cestería similares, incluso idénticas, en diferentes culturas distanciadas, tanto temporal como geográficamente (Kuoni, 2003).

Los objetos de cestería antiguos, al estar elaborados con materiales orgánicos, difícilmente subsisten en el tiempo. Las fibras vegetales tienden a descomponerse y a desaparecer, aunque también existen algunos ambientes que reúnen las condiciones idóneas para que los artefactos se hayan podido conservar desde la Prehistoria. Al mismo tiempo, las cestas y esteras, fabricadas en su mayoría con material vegetal seco, suelen reutilizarse y, al final de su ciclo de vida como objeto, se usan como combustible, sin dejar ningún rastro físico (Bunn & Mitchell, 2020).



Fig. B04. Baserritarra con el cesto lleno de nabos, Zizurkil. Foto Ojanguren Indalecio_ www.guregipuzkoa.eus



Fig. B05. Cesto neolítico descubierto en Israel en 2021. Foto: Guy Fitoussi_ www.news.artnet.com



Fig. B06. Gorro o cestilla de esparto del neolítico hallado en la "Cueva de los Murciélagos, Andalucía_Museo Arqueológico Nacional

Descubrimientos recientes han demostrado que, en la República Checa, existen indicios del uso de la cestería que se remontan, al menos, a 27.000-29.000 años (Adovasio, 2021). Otro ejemplo que muestra la antigüedad de la cestería es el encuentro de una cesta neolítica intacta, de unos 10.500 años, en una cueva del desierto de Judea en Israel⁴¹ (Fig. B05). Un caso más cercano es el hallazgo de un conjunto de objetos de esparto del Neolítico en la Cueva de los Murciélagos, en Andalucía, considerado el más antiguo testimonio de cestería y cordelería de la Península Ibérica (Alfaro Giner, 1980) (Fig.06).



Fig. B07. Vendedora de ostras con cesta a la espalda, 1730, Dibujo a tiza de la pintora francesa Edme Bouchardon_British Museum

La cestería también ha estado presente en el desarrollo de las civilizaciones más importantes de la Edad Antigua, como Egipto, Grecia o Roma (Bichard, 2008). La documentación y las pinturas que se conservan en Museos muestran la importancia que tuvo la actividad en el pasado. Por ejemplo, el British Museum de London⁴² conserva cestas de diferentes épocas (egipcias, romanas, etc.), además, presenta una colección de dibujos y bocetos muy extensa donde se muestra la presencia de la cesta en diferentes escenas cotidianas, rurales y urbanas, y en diferentes épocas (Fig. B07). Gran parte de la cestería primitiva se confeccionaba en cada hogar con el fin de cubrir las necesidades personales. Con el tiempo, el desarrollo del comercio aumentó la demanda de productos de cestería y la necesidad hizo que fueran surgiendo artesanos cesteros.

En Gran Bretaña en particular, a finales de la Edad Media la cestería se convirtió en profesión (Hammond, 2014). Con la Revolución Industrial también se vio incrementada su demanda, debido a la necesidad surgida en el transporte para la distribución y comercialización de productos agrícolas hasta las urbes, lo que provocó que el sector sufriera una transformación importante. Aumentaron las empresas de cestería y se comenzó a experimentar con distintas variedades de materia prima para mejorar las técnicas de cultivo de los materiales y poder confeccionar cestas de calidad a menor coste (Butcher, 1999).

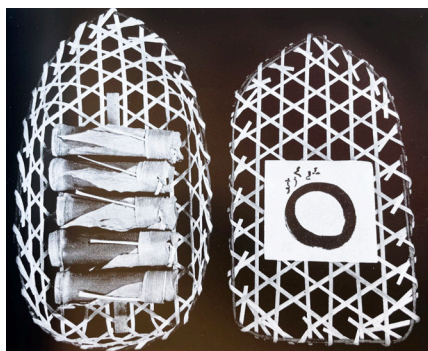


Fig. B08. Envoltorio de una tienda de Kioto: recipiente realizado con bambú para el yokan de verano, una especie de mermelada hecha con judías dulces_libro "How to wrap five eggs"

Cabe destacar que en la cestería japonesa se han combinado la funcionalidad y el arte. La calidad de trabajo y la belleza de las confecciones de cestería han sido y son de una delicadeza y una belleza extrema. En Japón, los cesteros son muy respetados

41 Información recogida del artículo "Dead Sea scroll fragments and 'world's oldest basket' found in desert cave", publicado en la edición internacional de The Guardian, el 16 de marzo de 2021.

42 www.britishmuseum.org

y valorados, hasta el punto de que la cestería japonesa está considerada Tesoro Nacional Viviente⁴³ (Bincsik, 2017).

Los embalajes tradicionales japoneses son nada menos que una manifestación del amor japonés por las cosas espirituales, un amor que nosotros, y las personas de todo el mundo moderno, debemos apresurarnos a recuperar si no queremos que desaparezca para siempre. (Oka & Oka, 2008)

El arte del embalaje japonés, por ejemplo, ha estado muy vinculado a la cestería. Aunque a día de hoy se haya perdido gran parte de la tradición de embalar, todavía se mantiene la costumbre en algunos lugares (Fig. B08). La tradición ha heredado multitud de formas y técnicas de embalaje con entretejidos de fibras vegetales, principalmente realizadas con bambú. Los diseños de dichos embalajes, aunque aparentemente parezcan insignificantes, contienen generaciones de arte y artesanía (Oka & Oka, 2008). La cultura japonesa, además de buscar la belleza, valora las cosas de manera real, al margen de que los objetos sean caros o baratos. El sentido de los valores en Japón ha llevado a los artesanos a perfeccionar su arte durante generaciones (Hendry, 1993).

Dentro de la cestería tradicional de la Península Ibérica, destaca la cestería popular o rural. La cestería tradicional se ha venido realizando, sobre todo, por la gente del entorno rural, de una forma anónima y heredada, con el fin de cubrir sus propias necesidades.

Se conserva un gran conocimiento en manos de gente que ha aprendido técnicas y actividades por tradición familiar. Por un lado, se ha realizado cestería puramente funcional, entre la que se pueden encontrar desde cestos de transporte hasta indumentaria para pastores (Fig. B09). Por otro lado, ha existido otra cestería con una técnica más cuidada donde, por motivos generalmente estéticos, la persona artesana ha invertido muchísimo tiempo para realizar un artefacto de cestería sin igual (Fontales, 2013).

Las mujeres se han solido especializar en la ornamentación y en trabajos de cestería hechos con materias primas muy flexibles. Sin embargo, los hombres se han especializado en la cestería más dura, más difícil de trabajar, como, por ejemplo, en la desarrollada con tira plana de castaño. Para obtener las tiras con las que construir cestos,



Fig. B09. Coroza realizada con juncos. Especie de chubasquero que realizaban los pastores de Galicia y Portugal_ www.tectónica.archi

43 Tesoro Nacional Viviente: título que se otorga en Japón a maestros de trabajos manuales.

previamente, hay que trabajar la madera y se requiere de más fuerza (Sánchez Sanz, 1982).

Carlos Fontales⁴⁴ destaca que, en la cestería rural, el fin no es tan importante como el medio, es decir, la persona que ejecuta el artefacto disfruta en el proceso de confección. Se disfruta haciendo un cesto, un hórreo o cualquier otra cosa. El tiempo que supone realizar artefactos de cestería es tan elevado que como trabajo remunerado no sería viable. Fontales añade que la forma de trabajar en la cestería rural ha implicado una relación muy directa con el entorno, no solamente con las fibras que se recogían alrededor, sino también con los espacios donde se trabajaba. Se tejía en lugares de la vida cotidiana mientras se participaba de las relaciones familiares⁴⁵.



Fig. B10. Sardineras. Ribadesella / Asturias). Litografía de Dario Regoyos, 1897. Museo de Bellas Artes de Bilbao (EMSIME)



Fig. B11. Baserritarra de Ikaztegieta con cesto construido con madera de castaño_ www.guregipuzkoa.eus

En los pueblos, lo habitual ha sido que las personas mañosas, indiferentemente mujeres y hombres, hicieran cestos en los ratos libres. En cambio, en las grandes villas, el volumen de consumo (Fig. B10) favorecía la presencia de artesanos especializados y, en este caso, el artesano de oficio era hombre (Castellote Herrero, 1982). Generalmente, los productos realizados por artesanos profesionales se han limitado a ser sencillos, funcionales, destinados al mercado, y con técnicas y métodos de trabajo relativamente uniformes (Fontales, 2013).

Las técnicas y los materiales de cestería más importantes que se han utilizado en la Península Ibérica han sido muy variados, entre ellos se pueden destacar, el mimbre, la madera rajada, la paja, el junco, el esparto, la caña, la palma, el palmito o la anea (Sánchez Sanz, 1982). Hay una variedad enorme de cestos. Por ejemplo, en Galicia los cestos de una zona no tienen nada que ver con los de otra. Los territorios en los que se ha trabajado la cestería han sido pequeños, por consiguiente, hay una diversificación enorme de tipos y de técnicas, lo que es reflejo de un gran conocimiento (Fontales, 2005).

La cestería tradicional en Euskal Herria ha sido llevada a cabo, sobre todo, en castaño y avellano. La abundancia de bosques de estas

44 Carlos Fontales: reconocido cesterero, profesor de cestería e investigador por cuenta propia, especializado en las técnicas de cestería en la Península Ibérica.

45 Charla sobre cestería y Land art. Acedo (Navarra). 5/8/2021. Por Carlos Fontales_ www.carlosfontales.blogspot.com.

maderas fue la base sobre la que los artesanos desarrollaron su trabajo (Donostia Kultura & Museo Municipal de San Telmo, 1997). Era frecuente que en cada baserri⁴⁶ se confeccionaran sus propios objetos de cestería necesarios⁴⁷, como utensilios de trabajo (Fig. B11), accesorios de transporte, cerramientos, mobiliario y demás. El proceso completo de construcción, desde plantar, recolectar y preparar el material hasta tejerlo, se ha solido realizar por la misma persona o familia (Museo Municipal de San Telmo, 1997).

Debido a la industrialización y a la gran demanda de cestas, surgieron los “pueblos cesteros” en la segunda y tercera década del siglo XX (Garmendia Larrañaga, Juan, 2007). Entre ellos destacaban Nuarbe y Matxinbenta en Gipuzkoa y Durango en Bizkaia que abastecían con una amplia gama de modelos en tamaño y forma al mundo agropecuario, al pesquero, a las explotaciones mineras, al comercio y al deporte (Amorós Oskoz, 1998).

2.4. Presente

La cesta o el cesto es un compañero de viaje milenario que, de ser algo cotidiano y al que uno está acostumbrado, se está convirtiendo en un desconocido. Incluso está llegando a ser un objeto del que realmente no se sabe nada, o casi nada, y que está en vía de extinción. Raramente se sabe dónde, quién y para qué se ha fabricado un cesto (Amorós Oskoz, 1998).

Se siguen fabricando productos de cestería en todo el mundo. Su propia adaptabilidad y variedad ha hecho que exista una gran diversidad de cestas y la lista de artefactos es inagotable (Novellino, 2005).

En muchos países, la cestería tradicional está muy presente. En Vietnam, por ejemplo, perdura la tradición del uso del sombrero cónico asiático entretejido⁴⁸ y la recolecta de sal se sigue haciendo con cestas de hombro. Incluso, existen embarcaciones construidas con cestería de bambú (Preston, 2016) (Fig. B12).



Fig. B12. Pequeñas embarcaciones de pesca de bambú entretejido, Vietnam. foto: Bertrand Linet_ www.flickr.com

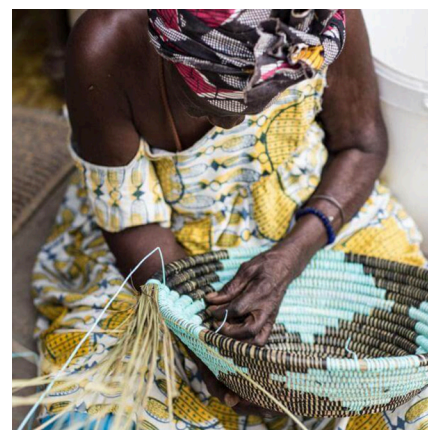


Fig. B13. Negocio online que vende productos realizados por mujeres senegalesas_ www.labasketry.com

⁴⁶ Baserri: caserío, en vasco.

⁴⁷ Igartubeiti baserria: caserío lagar del s. XVI. Situado en Ezkio-Itsaso (Gipuzkoa)_ www.igartubeitibaserria.eus

⁴⁸ El sombrero cónico asiático es un tipo de accesorio común en países como Japón, Vietnam o China. La tradición de este tipo de sombrero cuenta ya con aproximadamente 3000 años_ www.tectónica.archi

Aunque, debido a la presión de las demandas modernas, algunos artefactos de cestería se han visto modificados, los diseños tradicionales siguen siendo los más usados. El turismo de las últimas décadas también ha hecho que los artesanos locales que trabajaban técnicas tradicionales se hayan adaptado a las nuevas demandas de los turistas y venden accesorios realizados con técnicas tradicionales. En Nigeria, por ejemplo, la cestería es uno de los productos artesanales más populares del país y hay una gran demanda de este tipo de productos desde países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Italia y Japón (Okonkwo, 2017).



Fig. B14. Escultura de bambú, "Aqua II", 2021. Autor: Osamu Yokoyama.

En los últimos años, con el crecimiento de la venta online, el mercado de productos artesanales va ganando su espacio. Estos nuevos canales de venta, tienden a poner en valor la cestería tradicional de países necesitados. Es el caso de la boutique online Labasketry⁴⁹, que ofrece productos únicos, coloridos, tejidos a mano por mujeres senegalesas y con una estética muy contemporánea (Fig. B13).

Los productos de cestería están de moda y cada vez están más presentes en las pasarelas internacionales de moda y en revistas de decoración⁵⁰. El consumismo actual implica el comercio de muchos objetos de cestería artesanales de países donde la cestería está muy presente. Se importan gran variedad objetos de cestería con técnicas y materiales muy variados. Por ejemplo, Estados Unidos importa desde diversos países del mundo, como puede ser Ecuador, manufacturas elaboradas con fibra natural (Sánchez, 2020). Al mismo tiempo, la cestería, en general, está muy infravalorada y prueba de ello es que supermercados, bazares y grandes cadenas de moda, como Zara Home⁵¹ o Ikea⁵², venden cestas internacionales, hechas a mano, a precios muy bajos. El mayor exportador de productos de cestería es China, con un predominio de productos de Bambú (Benton, 2014), seguido de Ecuador y Brasil, entre otros.

La cestería contemporánea ha evolucionado desde las últimas décadas del S.XX hasta integrarse en el mundo del arte (Jo Stealey, 2014). A la cestería, como objeto de arte, se le exige, cada vez más,

49 La Basketry es una tienda boutique online desde 2017_ www.labasketry.com

50 Grandes marcas, como es el caso de Loewe, colaboran con cesteros, tanto tradicionales como contemporáneos, con el fin de experimentar y crear diseños originales, únicos y de calidad_ www.loewe.com

51 www.zarahome.com

52 www.ikea.es

una alta calidad, una técnica excelente, una elección magistral de los materiales y una individualidad de expresión (Fig. B14). En países como Inglaterra, Escocia, Dinamarca o Estados Unidos, la percepción de la artesanía ha ido cambiando y el valor de la cestería va in crescendo. El conocimiento artesanal evoluciona constantemente y se adapta a nuevos materiales, nuevas herramientas y nuevas demandas. Por consiguiente, las cestas y los cesteros cada vez son más reconocidos en sus culturas por su importancia histórica y etnográfica (Butcher, 1999).

Un ejemplo de puesta del valor de la cestería son las esculturas del artista John McQueen⁵³, uno de los cesteros, que trabaja la cestería contemporánea, más relevantes de Norteamérica. Sus esculturas, realizadas con técnicas tradicionales de cestería, se venden en galerías⁵⁴ como piezas de arte contemporáneo (Fig. B15).

En Gran Bretaña, en la década de los 70 comenzó a cambiar la percepción de la cestería. Los diseños dejaron de ser puramente funcionales y se comenzó a diseñar con fines más decorativos y artísticos. Este nuevo enfoque hizo que surgiera una demanda de cursos y escuelas de arte⁵⁵ donde poder aprender la técnica y recibir la formación del oficio. La enseñanza en técnicas tradicionales, contemporáneas y experimentales en Gran Bretaña evolucionó hasta convertirse a día de hoy en un referente mundial en la formación de todo tipo de cestería. Mujeres como Mary Butcher⁵⁶ o Lois Walpole⁵⁷, referentes de la cestería contemporánea, realizaron una labor muy importante en todo este movimiento.



Fig. B15. Gran cesta escultural, 1991, Alfred Station, NY. 1. Corteza de olmo trenzada. 35,6 × 45,7 × 38,1 cm. Autor: John McQueen_ www.artsy.net



Fig. B16. Civic Park, Walnut Creek, CA. 2018. Autor: Patrick Dougherty_ www.stickwork.net/work

53 John McQueen: artista nacido en Illinois, Estados Unidos, en 1943. Afincado en Nueva York, trabaja la cestería contemporánea como arte. Realiza escultura experimentando con materiales y técnicas de cestería tradicional_ www.americanart.si.edu/artist/john-mcqueen-3247

54 Un ejemplo de galería de arte donde se vende obra de John McQueen es Browngrotta. Los precios de las piezas entretejidas rondan entre 5.000\$ y 24.000\$_ www.browngrotta.com

55 Curso de cestería como el de London College of Furniture a principios de los años setenta, en el que se consideraba que era necesario recuperar el sentido de la innovación en el diseño y la exploración de la técnica. Otro curso importante fue el de City Literary Institute de Londres, que ha ayudado a muchos cesteros británicos a formarse.

56 Mary Butcher: artista inglesa que trabaja la cestería contemporánea (1944)_ www.marybutcher.net

57 Lois Walpole: reconocida cestera contemporánea nacida en Londres. Doctorada en Design Department at the Royal College of Art in London_ www.loiswalpole.com

Aún existen asociaciones de cestería⁵⁸ que surgieron durante ese periodo y que, en la actualidad, siguen colaborando en beneficio de la actividad cesterá y su preservación.

Mary Butcher destaca que, con el comienzo del siglo XXI, se ha desarrollado una concienciación en cuanto al uso de materiales naturales y recursos renovables que sean respetuosos con el medio ambiente. Como consecuencia, en el norte de Europa, concretamente en Gran Bretaña y, especialmente, en Dinamarca, ha ido en aumento el interés por la cestería y han surgido artistas que destacan por reflejar su experiencia del mundo natural en su arte, land-art. Gran parte de esta obra es a gran escala, al aire libre y escultural, una respuesta al crecimiento de la conciencia y la preocupación por los problemas medioambientales (Butcher, 1999).



Fig. B17. North Atlantic Drift, 2018
Cestería realizada reutilizando materiales encontrados en calas y playas locales. Autora: Lois Walpole _ www.loiswalpole.com

Junto a esto, ha habido un fuerte movimiento que utiliza técnicas de tejido a gran escala en el paisaje⁵⁹. Las piezas creadas en mimbre vivo⁶⁰ por el cesterero estadounidense Patrick Dougherty⁶¹, por ejemplo, suelen evolucionar junto a los procesos naturales, cambiando con las estaciones o como estructuras vivas que crecen y se convierten en una parte esencial de su entorno (Janick, 2014) (Fig. B16).

Debido a esta concienciación por el medio ambiente, comenzó el uso de materiales reutilizados en cestería. Actualmente, la cesterá inglesa Lois Walpole destaca por diseñar artefactos coloridos, donde combina técnicas y formas de cestería, con el uso de materiales naturales de su entorno inmediato, además de materiales de desecho (Fig. 017).



Fig. B18. Pandeira. Cesta con estructura de madera de arce y tejido con lana. Autora: Idoia Cuesta, 2014 _ www.idoiacuesta.com

58 Basketmakers' Assotiation se fundó en 1975 y, actualmente, es la principal organización de cesteros de Reino Unido_ www.basketmakersassociation.org.uk. En Escocia está la asociación Scottish Basketmaker Cicle_ www.scottishbasketmakerscircle.org

59 Al movimiento de naturaleza (land-art) lo siguieron cesteros John McQueen y Patrick Dougherty de Estados Unidos, Valerie Pragnell de Escocia, David Drew de Inglaterra, Annette Holdensen de Dinamarca y Britt Smelvar de Noruega, entre otros.

60 Mimbre vivo: técnica que entreteje varas de mimbre plantadas. El artefacto entretejido sigue el proceso de crecimiento de la planta.

61 Patrick Dougherty: (Oklahoma, 1945) reconocido escultor que realiza esculturas, principalmente con varas de mimbre, a una escala monumental_ www.stickwork.net/work

También en la Península Ibérica la cestería sigue teniendo su lugar gracias a la tradición que se ha ido pasando de una generación a otra, pero se ha perdido mucho saber hacer de la cestería popular debido a la ruptura de la transmisión del conocimiento. Se puede resumir que, hoy en día, la producción no masiva de la cestería a nivel peninsular la desarrollan los cesteros de avanzada edad y los nuevos cesteros (Fontales, 2013). Los mayores son aquellos que siguen confeccionando los trabajos de cestería de un modo tradicional, tal y como lo aprendieron en su día. Cada vez quedan menos y, por lo general, no cuentan con un sucesor a quien transmitir el conocimiento. Entre los cesteros nuevos, la mayoría confeccionan piezas tradicionales, pero también están los cesteros como Carlos Fontales⁶², Idoia Cuesta⁶³ (Fig. B18), Juan Farré⁶⁴ o Mònica Guilera⁶⁵, referentes en la cestería contemporánea, que aportan innovaciones en cuanto a los materiales empleados o a la forma del diseño.

Entre los diseñadores industriales cada vez se ven más proyectos realizados en colaboración con artesanos (Barcellos & Broega, 2018). El diseñador vasco Martín Azua⁶⁶, por ejemplo, reivindica en sus diseños la utilización de la artesanía para salvaguardar la diversidad natural de la cultura material y tecnológica, colaborando con artesanos de diferentes oficios (Fig. B19). Otro ejemplo de artesanía y diseño, que además se ha vinculado con proyectos sociales y ecológicos, es el caso del proyecto PET-lamp⁶⁷, del diseñador Álvaro



Fig. B19. Motxilak basket.
(confeccionado por la cestera Beatriz Unzueta) www.martinazua.com



Fig. B20. PET Lamp Chimbarongo , 2014. Se reutiliza una botella como estructura del entretejido de mimbre. Elaborado en Ghana. Diseño: Alvaro Catalán de Ocón

62 Carlos Fontales: comienza a investigar, a aprender y a transmitir diferentes técnicas de cestería tradicional a través de cursos desde la década de los 90. También experimenta con lo aprendido y realiza cestería contemporánea, mientras rompe con la tradición, pero, de alguna manera, la revive (Fontales, 2005)_ www.carlosfontales.blogspot.com

63 Idoia Cuesta (Lasarte, 1969): reconocida cestera contemporánea. Vasca afincada en Galicia. Obtuvo el Premio Producto 2014 en el Premio Nacional de Artesanía_ www.idoiacuesta.com

64 Joan Farré, Oliver (Folgueroles, 1957): maestro cester catalán. Colabora con arquitectos y diseñadores en proyectos de urbanismo, arquitectura, paisajismo e interiorismo_ www.pontdequeros.com

65 Mònica Guilera Subirana (1969): cestera catalana. Trabaja la cestería tradicional y la contemporánea.

66 Martín Azua (1965): diseñador multidisciplinar nacido en Gasteiz. Profesor del Área de Diseño de Producto en el Grado en Diseño de Elisava. Doctorando, licenciado en Bellas Artes_ www.martinazua.com

67 Petlamp (2011): proyecto del diseñador industrial Álvaro Catalán Ocón (Madrid, 1975), extendido a los cinco continentes y que continúa su proceso evolutivo. Por ejemplo, en Bolgatanga, conocida como la "ciudad de las cestas" en Ghana, la cestería tradicional es la mayor industria de la región. La cestería, además de ser una herramienta para el día a día y un medio de vida para estas personas, contribuye a proporcionar una mayor cohesión social y encarna los valores expresados en su cultura_ www.petlamp.org

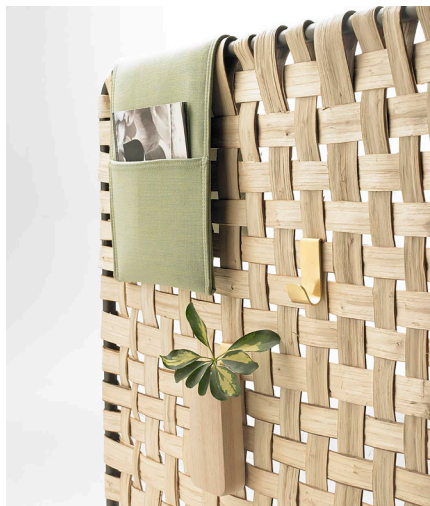


Fig. B21. Manpara entretrejida con tira plana de madera de castaño. Colección Zumitz de Alki (2016). Diseñado por Irazoki-Lizaso y confeccionado por los cesteros Azurmendi Anaiak

Catalán Ocón. Un workshop realizado en 2019 en Ghana permitió a los artesanos del lugar actualizar su cestería tradicional integrando las botellas de PET, que son un problema real y constante en el lugar (Fig. B20).

Si se analiza la situación de la cestería en Euskal Herria, es evidente que cada día existe menos rastro de la actividad. Aunque, debido al ámbito geográfico, la madera de castaño ha sido el elemento vegetal más usado en la cestería del País Vasco; a día de hoy, el oficio está a punto de extinguirse.

La aparición masiva de productos confeccionados con fibras plásticas viene poniendo en crisis los talleres artesanales de cestería, una industria rural y urbana que ha tenido gran importancia hasta pocos años atrás (Amorós Oskoz, 1998). Como consecuencia, existen muy pocos cesteros tradicionales vascos en activo.

Entre los artesanos cesteros más destacados se encuentran los guipuzcoanos Azurmendi anaiak⁶⁸ y la duranguesa Beatriz Unzueta⁶⁹, que trabajan la cestería de flejes de castaño de manera tradicional, tal y como lo han aprendido por tradición familiar. También colaboran en proyectos donde aplican sus conocimientos tradicionales a otros ámbitos, como el diseño contemporáneo de mobiliario. Recientemente, han colaborado con artistas y diseñadores como Martín Azúa (Fig. 60) o los diseñadores industriales Irazoki-Lizaso (Fig. B21).

Aprender cestería en el País Vasco no es tarea fácil. No hay escuelas que ofrezcan dicha enseñanza y, además, existe escasa bibliografía especializada en el tema. La persona interesada en aprender cestería del País Vasco debe recurrir a los artesanos locales, que prácticamente no quedan, o ha de realizar algún cursillo que se ofrece esporádicamente en algún punto del territorio⁷⁰.

De vez en cuando, se realizan ponencias, actividades y pequeñas

68 Azurmendi anaiak: Hermanos Azurmendi, en vasco. Joxe y Patxi Azurmendi de Matxinbenta (Gipuzkoa). Son unos de los últimos cesteros de Gipuzkoa que siguen trabajando la cestería de castaño.

69 Beatriz Unzueta: Cestera de Durango. La última cestera en Bizkaia que trabaja la cestería tradicional vasca, la de madera de castaño. Beatriz es hija de Juan Unzueta (1924-2017), reconocido cesterero vasco.

70 El profesor y cesterero Carlos Fontales esporádicamente ofrece cursos de cestería de madera de castaño en diferentes puntos de la Península y en el extranjero, a través de su Escuela Nómada_ www.carlosfontales.blogspot.com

exposiciones en torno a la cestería, como la reciente exposición en el Museo San Telmo⁷¹ de San Sebastián. Existe una reivindicación de los productos artesanales y naturales, prestando más atención a aspectos como la sostenibilidad. De modo que, en los últimos años, en el País Vasco se ve un crecimiento de ofertas de cursillos donde se trabaja con fibras vegetales, principalmente el mimbre. Se puede decir que, actualmente, el tema de la cestería de castaño es un oficio que parece haber caído en el olvido para los vascos.

2.5 Futuro

Cada vez es más habitual ver a cesteros que experimentan con nuevas formas y materiales, para producir nuevas texturas, combinar colores y jugar con yuxtaposiciones de materiales. Investigar nuevos materiales en profundidad, para descubrir sus características, flexibilidad, tensión y angulosidad, es un tema de reciente actualidad.

La tendencia de grandes marcas de moda y diseño que apuestan por colaborar con artesanos y diseñadores particulares va creciendo. La marca Loewe⁷², por ejemplo, trabaja actualmente en proyectos que exploran las tradiciones de la cestería en todo el mundo mediante el uso del cuero característico de sus diseños (Fig. B22).

Al mismo tiempo, la diseñadora holandesa Dienke Dekker⁷³ colabora con la marca de textiles Kuadrat. Realiza proyectos textiles experimentales mediante la aplicación de técnicas tradicionales y su adaptación a diseños actuales. Dienke estudia entretejidos tridimensionales y escultóricos que se centran en la interacción del color, los patrones y las técnicas de tejido. Se puede ver la utilización de técnicas de cestería en los entretejidos de tiras de algunas de sus colecciones (Fig. B23).

Se realizan proyectos e investigaciones, incluso encuentros y talleres,



Fig. B22. Jiro Yonezawa trabajando el cuero para Loewe con técnicas de cestería japonesa

71 La exposición “De ayer y de hoy: Cestería” se celebró en San Telmo Museoa de Donostia (abril del 2021). El museo tiene en sus fondos una importante colección de cestos y cestas de diversos materiales, formas y funciones_ www.santelmomuseoa.eus

72 Loewe colabora con artesanos reconocidos, como Idoia Cuesta o Jiro Yonezawa, referentes a nivel mundial en el proyecto. Los maestros artesanos combinan las técnicas tradicionales con las nuevas tecnologías, reevaluando constantemente la relación entre la forma y el material para crear artículos de belleza duradera_ www.loewe.com

73 Dienke Dekker (1989): artista holandesa_ www.dienkedekker.com

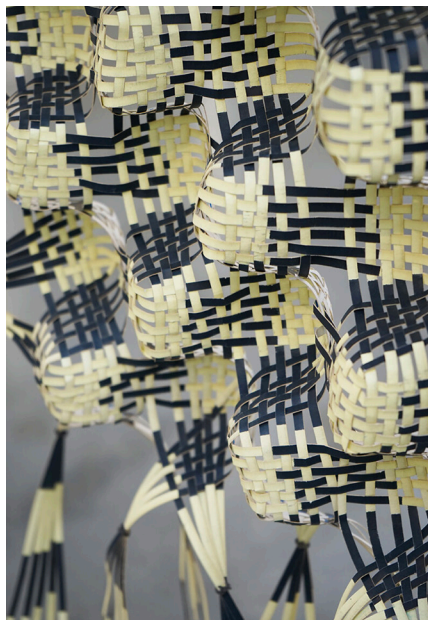


Fig. B23. Tejido tridimensional entretelado con tiras de papel. Proyecto "Intersection". Autora: Dienke Dekker

en torno a la cestería en países como Inglaterra, Escocia, Irlanda o Dinamarca. En la Península Ibérica también son progresivamente más conocidos los encuentros de cestería que se realizan en Cataluña y Galicia, principalmente. De la misma forma, se organizan cursos donde se enseñan diferentes técnicas de cestería, tal como ocurre en la Escuela Nómada del cesterero Carlos Fontales⁷⁴.

La cestería se va transformando y adaptando a la nueva era y se intuyen nuevos escenarios. Aparecen nuevas tendencias que investigan la cestería a través de otras disciplinas, y en muchos casos, con grupos multidisciplinares.

El proyecto de investigación británico "Forces in Translation"⁷⁵, actualmente en marcha, explora entre los límites de la cestería, las matemáticas y la antropología. El grupo multidisciplinar, coordinado por la antropóloga Stephanie Bunn⁷⁶, se compone, entre otros, por mujeres cesteras, referentes en el panorama mundial de la cestería contemporánea, entre ellas se puede encontrar a Mary Crabb⁷⁷, Hilary Burns⁷⁸ o Geraldine Jones⁷⁹, y el matemático Ricardo Nemirovsky⁸⁰. El grupo apoya todas las formas de aprendizaje, desde lo práctico hasta lo digital. Sin embargo, una creciente preocupación es que con los avances en la digitalización se han dejado de lado muchas habilidades manuales, pensando que ya no son relevantes para el aprendizaje y la cognición humana. Proponen que las habilidades manuales

74 www.carlosfontales.blogspot.com

75 Forces in Translation: proyecto británico que combina la cestería (Geraldine Jones, Hilary Burns & Mary Crabb), las matemáticas (Ricardo Nemirovsky) y la antropología (Stephanie Bunn). Explora cómo el conocimiento corporal en la cestería mejora la comprensión espacial y geométrica a través de los movimientos gestuales que se hacen y las habilidades corporales que se utilizan_ www.forcesintranslation.org

76 Stephanie Bunn: Dra. Antropóloga. Profesor titular en el Departamento de Antropología Social en el "Centre for Archaeology, Technology and Cultural Heritage" de "University of St Andrews"_ www.st-andrews.ac.uk Participa en el proyecto Woven Communities en colaboración entre un grupo de cesteros escoceses y la asociación "Scottish Basketmakers Circle"_ www.wovencommunities.org

77 Mary Crabb: reconocida cesterera contemporánea inglesa. Explora la conexión entre la cestería y los textiles con materiales naturales y artificiales_ www.crabbaskets.com

78 Hilary Burns: cesterera contemporánea inglesa_ www.basketryandbeyond.org.uk

79 Geraldine Jones: cesterera contemporánea inglesa_ www.basketryandbeyond.org.uk

80 Ricardo Nemirovsky: matemático. Profesor e investigador de Manchester Metropolitan University_ www.mmu.ac.uk

sean un complemento esencial para otras formas de aprendizaje, y que en un futuro sirvan para realizar trabajos de diseño, ingeniería y matemáticas. El proyecto explora cómo, al tejer, el conocimiento corporal mejora la comprensión espacial y geométrica a través de los movimientos gestuales que se van realizando y las habilidades corporales que se van utilizando. Se han realizado diferentes sesiones prácticas, entre las que se encuentra el taller, coordinado por el grupo de investigación de antropología y geometría, que enlaza cestería y matemáticas⁸¹. Se trabajan iniciativas universitarias con alumnos que unen prácticas artesanales con las matemáticas, como ha sido el caso del taller “Tinkering with Curves” (2018)⁸², donde la idea central fue utilizar materiales y técnicas de cestería para crear curvas de diferentes tipos e investigar sus variaciones. Entre los participantes había antropólogos, artistas, arquitectos y estudiantes de posgrado.

Los últimos años están aumentando los proyectos e investigaciones docentes que aplican estrategias del diseño paramétrico a lo análogo y artesanal. Un ejemplo que experimentó con diseños de sistema y modos de producción del mimbre es el ejercicio Paracrafting N2 realizado en la Universidad de Chile⁸³ (Fig. B24).

En este ámbito, es de destacar el trabajo de la investigadora Alison Grace Martin⁸⁴, que explora el potencial del tejido como método de construcción y búsqueda de formas geométricas (Fig. B25). Experimenta con técnicas de cestería con el objetivo de crear formas fuertes a partir de materiales frágiles (Ayres et al., 2018), y le apasiona la estabilidad estructural que ofrece el tejido sin necesidad de pegamento u otro material de unión. Actualmente, dirige cursos en universidades británicas y europeas en los que se exploran los



Fig. B24. Paracrafting N2. Ejercicio docente que experimenta con mimbre como material autoportante

81 Proyecto Knowing From the Inside: Antropología, Arte, Arquitectura y Diseño (KFI) fue un proyecto de investigación de 5 años, financiado por el ERC y dirigido por el profesor Tim Ingold en el Departamento de Antropología de la Universidad de Aberdeen, que se desarrolló entre junio de 2013 y mayo de 2018_ www.forcesintranslation.org/from-knowing-from-the-inside-to-anthropology-and-geometry

82 “Tinkering with Curves”: taller organizado en la Universidad de St. Andrews, en abril de 2018, por el matemático Ricardo Nemirovsky, en colaboración con cuatro cesteros profesionales: Geraldine Jones, Hilary Burns, Mary Crabb y Tim Johnson_ www.making-maths.net/post/tinkering-with-curves-16-17-apr-2018

83 Paracrafting N2: ejercicio de tercer año en la Escuela de Diseño de la Universidad de Chile, desarrollado por los arquitectos de gt2P y Rodrigo Díaz en el 2016_ www.plataformaarquitectura.cl, mimbre como material autoportante.

84 Alison Grace Martin: investigadora independiente. Mathematical Art Galleries_ www.gallery.bridgesmathart.org/exhibitions/2013-bridges-conference/alison-martin

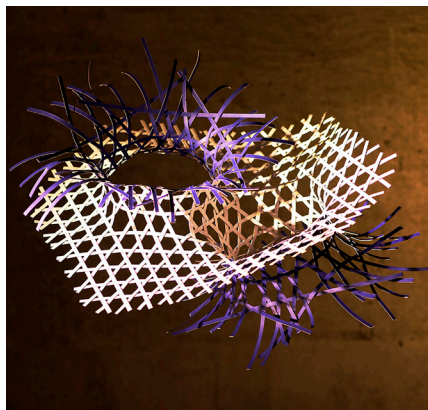


Fig. B25. Particiones. Estudio de superficies, 25 x 40 x 35 cm. Tiras de papel bicolor. 2013. Alison Grace Martin

principios geométricos y las reglas matemáticas que subyacen a la creación de tejidos y mallas 3D (Ayres et al., 2021). En los últimos años investiga en la traducción del conocimiento tradicional de tejido con herramientas de diseño computacional (Martin, 2015). Junto al arquitecto danés Phil Ayres⁸⁵ explora en la transformación de las reglas del tejido a una escala arquitectónica (Ayres et al., 2020). Martin utiliza la cestería como una forma de visualizar la geometría compleja, tal y como sugirió en 1979 el astrofísico Jean-Pierre Petit en su cómic titulado *Le Topologicon*⁸⁶ (Petit, 1985).

Durante el lento proceso de construcción manual, de modelos físicos a partir de elementos regulares, y al pasar un largo periodo trabajando en una pieza, tengo la oportunidad de reflexionar y comprender mejor las posibilidades de una forma. No tengo claro si esto ocurriría si pudiera seguir el camino de la alta tecnología, el diseño digital y las impresoras 3D, que prefieren muchos diseñadores”.⁸⁷ (Alison Grace Martin)



Al margen de los ejemplos que investigan el aspecto puramente técnico de la cestería, es de destacar la propiedad terapéutica que se le atribuye a la actividad. El proceso de tejer cestos manualmente, tiene numerosos beneficios potenciales y se ha comenzado a utilizar como herramienta terapéutica en numerosos ámbitos. Se hallan ejemplos de su uso en la psiquiatría, la geriatría, la neurología, la reumatología o la pediatría, así como para mejorar problemas sensoriales y para ayudar a personas en situación de marginación social, entre otros. A principios del siglo XX se reconoció el potencial de la cestería como forma de terapia y fue reconocida como una nueva forma de tratamiento⁸⁸ (Bunn & Mitchell, 2020). Muestra de ello, y un ejemplo cercano, es el trabajo que realiza la asociación guipuzcoana *Aspace* que, con el objetivo de la integración social, vende cestos realizados por personas afectadas de parálisis cerebral

⁸⁵ Phil Ayres: arquitecto y profesor asociado en la escuela Architecture and Technology de la Royal Danish Academy_ www.royaldanishacademy.com

⁸⁶ *Le topologicon* es un cómic publicado en 1979 que trata sobre topología. El autor del cómic es el astrofísico francés Jean-Pierre Petit (1937)_ www.savoir-sans-frontieres.com

⁸⁷ Entrevista a Alison Grace Martin en el blog *Art The Science*, en el apartado de *Creators*, por Julia Krolik, 29/11/2017_ www.artthescience.com

⁸⁸ Artículo “Basketry as a therapeutic activity” de Florence Cannavacciuolo. Artículo nº 20 del libro *The material culture of basketry*, editado por Stephanie Bunn y Victoria Mitchell, referenciado como (Bunn & Mitchell, 2020) en la presente tesis.

en la red⁸⁹. Según el terapeuta Florence Cannavacciuolo, la cestería es una actividad manual, espacial, constructiva, estructurante, interactiva y socializadora que puede ayudar en diferentes procesos terapéuticos⁹⁰ (Fig. B26).

El compromiso de trabajar con las manos, de perfeccionar un oficio durante años, de entender un material como un viejo y querido amigo, brilla y me conmueve, como creo que le ocurre a mucha gente. (Elizabeth Crawford)⁹¹

Cada vez es más frecuente encontrar cursos online relacionados con la cestería. La cestera contemporánea Idoia Cuesta, por ejemplo, colabora en la enseñanza a través de los cursos básicos de cestería que ofrece una plataforma de internet llamada Domestika⁹². De este modo, cualquiera, desde cualquier parte del mundo, puede acceder al curso y ponerlo en práctica desde casa. Como consecuencia de la pandemia de la covid-19, ha surgido un fenómeno que hasta ahora no era habitual: los artesanos cesteros que se dedicaban a la enseñanza de cursos particulares se han visto empujados a realizar cursos online, en directo, desde su taller (Fig. B27). Recientemente, el cesterero Eric Tylor⁹³ ha compartido en las redes sociales su primera experiencia de clase virtual por videoconferencia⁹⁴, describiéndola como positiva.

La cestería tiene un aspecto sencillo y práctico que recurre a la inteligencia de las manos y a una mirada ingeniosa y buscadora para realizar un artículo innatamente funcional. Sin embargo, en esta colaboración utilitaria entre la voluntad humana viva y los materiales silvestres seleccionados y recolectados, puede surgir la belleza. (Elizabeth Crawford)



Fig. B26. Nido. Proyecto del terapeuta ocupacional Florence Cannavacciuolo (Foto Julien Humbert)



Fig. B27. Eric Tylor realizando su primer taller virtual por videoconferencia, 15/09/21_ www.thebasketmakerswife.com

89 La asociación guipuzcoana Aspace, dentro del proyecto “Made in Aspace”, construye y vende artefactos de cestería, con el objetivo de la integración social_ www.aspacegi.org

90 Florence Cannavacciuolo: terapeuta ocupacional con experiencia en la aplicación de la cestería en diferentes terapias_ www.florencecannavacciuolo.com

91 Elizabeth Crawford: cestera inglesa licenciada en Medicina Herbal. Trabaja con materiales fácilmente disponibles y accesibles en el paisaje_ www.foragedfutures.co.uk

92 Domestika: plataforma de internet que ofrece una amplia gama de cursos para creativos impartidos por profesionales_ www.domestika.org

93 Eric Tylor: cesterero profesional americano. Lleva tejiendo cestos desde 1983 y ha sido muy galardonado_ www.2020.ericaylorbasketry.com

94 Eric Tylor publicó en Facebook su primer taller virtual realizado el 15/09/2021_ www.facebook.com/taylorbasketry

3

3	GEOMETRÍAS DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS	77
3.1	CESTERÍA. MATERIALES	78
3.2	TÉCNICAS	79
3.3	LÍNEAS GEODÉSICAS	80
3.4	TRAMAS	81
3.5	CESTERÍA FORMAS BÁSICAS	84
	Cilindro	85
	Cono	86
	Combinación: cono y cilindro	91
	Poliedros	91
3.5	CESTERÍA MODELADO	98
	Modelado de la trama	98
	Parametrización	103
	Análisis de curvatura	106

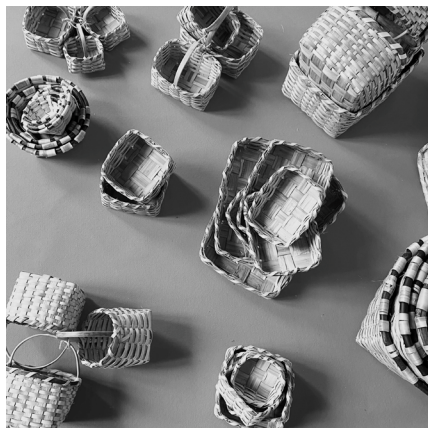


Figura C01. Cestos de distintas formas, realizados con madera de castaño realizados por el cesterero vasco Iñaki Aguirrezabala (exposición "Atzokoak Gaur: Saskigintza", San Telmo Museoa 2021)

3. GEOMETRÍAS DE SUPERFICIES ENTRETEJIDAS

En este apartado se pretende realizar un acercamiento a la geometría de la cestería. Tal y como se ha venido viendo, la cestería contiene aspectos como el material, la técnica y la forma, que son fundamentales a la hora de analizar y entender la geometría de una superficie entretejida.

Se va a comenzar con el análisis general de la geometría de los materiales, las técnicas, las tramas y las formas más significativas que se encuentran en la cestería (Fig. C01). A continuación, se va a mostrar la importancia que tienen las líneas geodésicas en la cestería, mientras se profundiza en la cestería de tira plana, que es la técnica en la que se centra la presente investigación. Finalmente, se van a estudiar diferentes generaciones de tramas, o superficies entretejidas, y sus aplicaciones en diferentes formas básicas. Todo ello, acompañado de infografías⁹⁵ realizadas específicamente para la presente tesis.

Las materias vegetales que se emplean en la cestería suelen tener formas cilíndricas y, en algunos casos, como en la cestería de castaño, para obtener materiales planos hay que seccionarlas mediante técnicas precisas que permitan transformar las fibras en objetos cesteros. (Amorós Oskoz, 1998)

95 Infografías realizadas con el programa de modelado 3D *Rhinoceros* 6.0_ www.rhino3d.com

3.1. Cestería y materiales

La cestería es un proceso de confección mediante tejido o arrollamiento de materiales longitudinales, naturales o artificiales. Los materiales se pueden clasificar por su geometría y sus propiedades mecánicas en los siguientes tipos (Fig. C02):

- Cilíndricos duros (varas): entre los materiales naturales, se encuentran las varas de mimbre, avellano, fresno o abedul, por poner unos ejemplos. Entre los materiales fabricados, se encuentran las varillas de fibra de vidrio, de fibra de carbono o de acero, entre otros. Este tipo de material, trabaja a tracción, flexión y compresión. El pandeo se evita mediante el entrelazado con fibras contiguas. Para adoptar radios de curvatura pequeña, a la hora de entretejer, el material puede necesitar ser calentado o mojado.
- Cilíndrico tubular (tubos): entre los materiales naturales destacan el bambú, junco, paja o la caña. Al flexionar, si la curvatura es suave, se doblan regularmente. Si se fuerza la flexión, se comprime y se aplana en un punto. El material natural, comprimido en toda su longitud o cortado longitudinalmente, se asemeja a las pletinas. Entre los materiales fabricados, se encuentran, por ejemplo, los tubos metálicos y sintéticos.
- Cilíndricos blandos (cuerdas): al tratarse de una cuerda, el material trabaja a tracción, sirve de ejemplo, la cuerda esparto.
- Planos duros (tiras planas o pletinas): el material natural más utilizado son las tiras planas de madera que se extraen de árboles como el castaño (Fig. C03), el cerezo, el roble o el avellano, entre otros. Para obtener el material, se cuece el tronco, se raja para extraer la tira y, finalmente, se cepilla. De plantas como el bambú, también se extraen tiras planas. En el caso de los materiales fabricados, se pueden encontrar tiras de tablero de densidad media, láminas metálicas y sintéticas, por nombrar algunas.
- Planos blandos (cintas blandas): son muy flexibles y fáciles de tejer. Entre los materiales naturales, se encuentran el ratán y la rafia, por ejemplo. Las cintas sintéticas continuas o cintas de fleje, sirven de ejemplo de materiales fabricados.

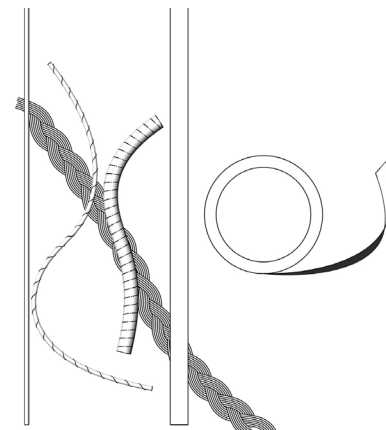


Fig. C02. Diferentes geometrías de los materiales de cestería (autor)



Fig. C03. "Otarra". Cesto vasco elaborado con tira plana de madera de castaño, S.XIX-XX_ www.santelmomuseoa.eus

Por lo que respecta al procedimiento de confección, parece que desde que empezaron a utilizarse los vegetales para hacer recipientes, fue desarrollándose una técnica que, al parecer, se inicia con el tejido en espiral, siendo posterior el entrecruzamiento de fibras, ya que exige unos presupuestos previos más complicados. (Harvey, 1986)

3.2. Técnicas

Existen diferentes técnicas de cestería, entre las que destacan el entrecruzado, el acordonado, la espiral cosida y el trenzado.



Fig. C04. Entrecruzado de dos series de tiras de madera de castaño

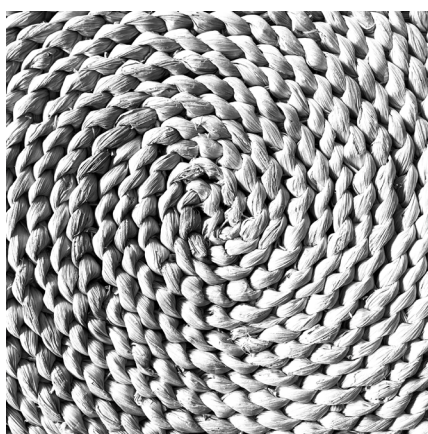


Fig. C05. Técnica espiral cosida

- Entrecruzado: consiste en entretrejer en dos o tres direcciones el material lineal empleado. Cada serie pasa por encima y por debajo de la otra. En ocasiones, una de las series suele tener carácter estructural, que se denomina urdimbre, igual que en el telar, y puede ser incluso de otro material. La serie que teje el cerramiento sobre la estructura toma la denominación de “trama”. Cuando el entrecruzado se realiza ortogonalmente con tiras de misma anchura, la técnica de entrecruzado se denomina de “damero” (Fig. C04).
- Espiral cosida: consiste en arrollar un cordón o un trenzado para formar un círculo, una forma plana (Fig. C05) o una forma espacial generalmente de revolución. El cordón suele ir cosido y los hilos se suelen ver como una segunda trama.
- Acordonado: técnica que surge cuando en el entrecruzado ortogonal, llamado damero, los elementos se cruzan entre sí en una de las direcciones.
- Trenzado: se construyen trenzas que luego se unen para crear superficies.
-

Las fibras vegetales empleadas en la cestería no son absolutamente sumisas y, aun teniendo todas ellas mayor o menor flexibilidad, siempre oponen resistencia ya que tienen la tendencia natural a “volver a su estado recto” o, lo que es lo mismo, estas fibras vegetales tienen la capacidad innata de volver al sentido, a la dirección del crecimiento orgánico. (Amorós Oskoz, 1998).

3.3. Líneas geodésicas

La línea geodésica es la línea más corta entre dos puntos de una superficie. En superficies convexas, la geodésica se consigue tensando una cuerda entre dos puntos. Al tensar la cuerda tiende a quedarse en la misma posición y comprime la superficie ortogonalmente.

Las líneas geodésicas tienen mucha importancia en cestería. Las tiras y cintas deben seguir las líneas geodésicas para que la cinta se adapte a la superficie. Cuando se entrecruzan dos cintas, ambas tienen que tener el mismo plano tangente para que una cinta se pegue a la otra.

En superficies que tienen partes cóncavas y convexas, la cuerda pasa del exterior al interior de la superficie por el punto de inflexión (Fig. C06).

Las líneas geodésicas tienen dos propiedades muy útiles en cestería. Las propiedades son aplicables a las líneas geodésicas de cualquier superficie y se muestran en la forma geométrica de la esfera (Fig. C07), por ser el caso más elemental. Se muestran el plano osculador y el plano tangente:

- El plano osculador de la línea geodésica es perpendicular a la superficie en un infinitésimo de superficie. En una esfera, la línea geodésica es plana, tiene el mismo plano osculador a lo largo de todos sus puntos y pasa por el centro de la esfera. Es por ello que las geodésicas son las líneas ideales para realizar atados. Cuando se tensa la cuerda en una línea geodésica, la superficie se comprime sin desgarrarse.
- El plano tangente a la línea geodésica por un punto es tangente a la superficie que la contiene. La superficie tangente a otra superficie de doble curvatura se llama superficie circunscrita y siempre es desarrollable. Es por ello que, sobre una línea geodésica de una superficie, se puede colocar una cinta de desarrollo recto.

A continuación, se muestran las líneas geodésicas aplicadas a las formas geométricas más comunes en la cestería, como son el cilindro, el cono y el diedro (Fig. C08):

- Cilindro: las líneas geodésicas son hélices cilíndricas AC, circunferencias AA o rectas AB. Para llegar de A a C, se admiten

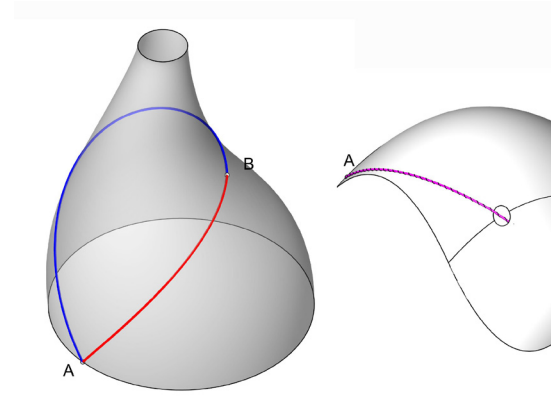


Fig. C06. Izda.: línea geodésica en superficie convexa. Dcha.: línea geodésica en superficie con parte cóncava y parte convexa

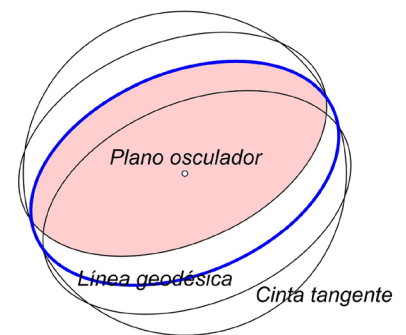


Fig. C07. Línea geodésica, plano osculador y cinta tangente en una esfera

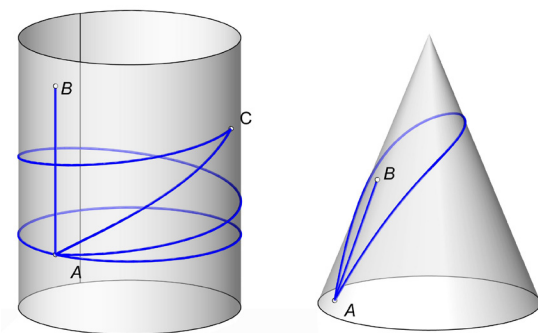
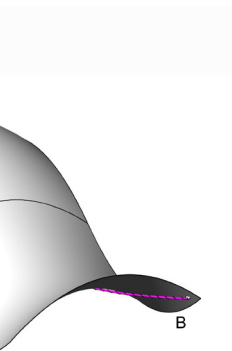


Fig. C08. Líneas geodésicas en cilindro, cono y diedro



más caminos dando vueltas al cilindro.

- Cono: las líneas geodésicas pueden ser rectas AB (dirección de la generatriz del cono), pero no circunferencias.
- Diedro: El ángulo de entrada de un plano es igual al de salida del otro plano.

Tras haber estudiado las características de las líneas geométricas más comunes, se pueden estudiar y plantear distintas opciones de tramas que puedan utilizarse para generar diferentes formas geométricas.

3.4. Tramas

Las tramas se crean mediante el entretendido de tiras. A continuación, se estudia la generación de las tramas básicas y sargas, la creación de diferentes patrones y su relación con diferentes técnicas. El entretendido se denomina sarga si los cruces de las tiras no son alternos, es decir, no son de tipo damero y siguen otra pauta.

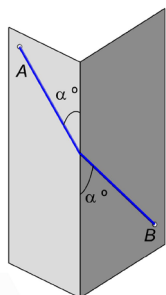
TRAMAS BÁSICAS Y SARGAS

Trama de dos series

Esta trama se compone de dos series de tiras paralelas, generalmente perpendiculares, que se entrelazan para formar un entramado, es decir, un tejido. Esta es la trama más utilizada en cestería, se aplica en muchas técnicas diferentes y con distintos materiales.

En el caso de que la trama sea compacta, es decir, que no tenga agujeros, en cada punto de la superficie se cruzan dos cintas. El entrecruzado más sencillo se crea alternando una tira de una serie con la tira contigua de la otra serie. Pero se pueden seguir otras pautas y alternar más de una tira.

Cuando la trama es de dos series, el tejido en sargas permite muchas posibilidades. Si se cambia el ángulo entre series, el tejido resulta menos compacto. Lo mismo ocurre cuando en el entramado



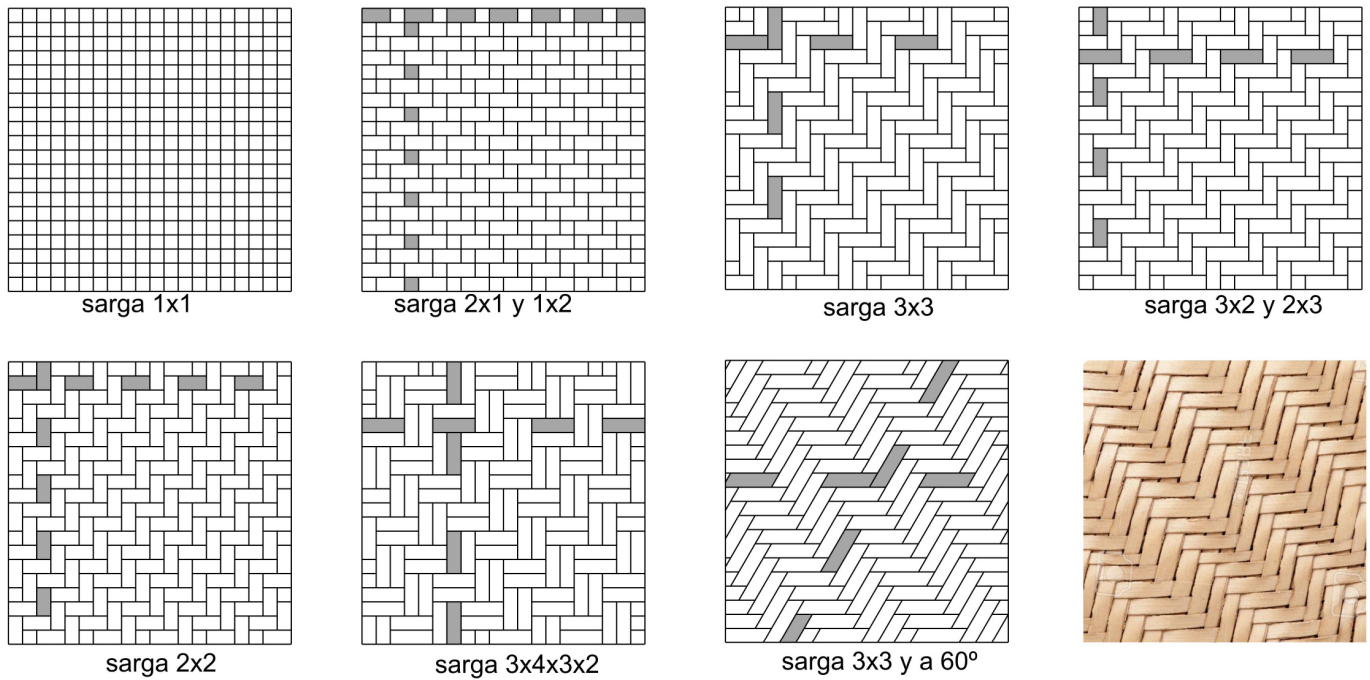


Fig. C09. Trama de dos series. Sargas

se alternan tiras muy separadas. En las figuras⁹⁶ se muestran algunas sargas (Fig. C09).

Trama de tres series

Las tramas de tres series tienen una inclinación de 60° entre ellas y, componen una malla de triángulos equiláteros. Poseen un diseño más complejo que la de dos, por tanto, su confección es más difícil. Este tipo de tramas, ofrecen menos posibilidades en cuanto a la generación de sargas.

Uno de los tejidos de tres series más habitual es el que se denomina *anyam gila* o *mad wave* (Fig. C10). Por cada punto de la superficie de este tejido, se superponen tres cintas. La confección del entrecruzado es complicada, pero ofrece muchas posibilidades a la hora de crear formas espaciales.

Otro tejido de tres series es el llamado *kagome*⁹⁷ (Fig. C10). El entramado se compone de cintas entrecruzadas que crean agujeros

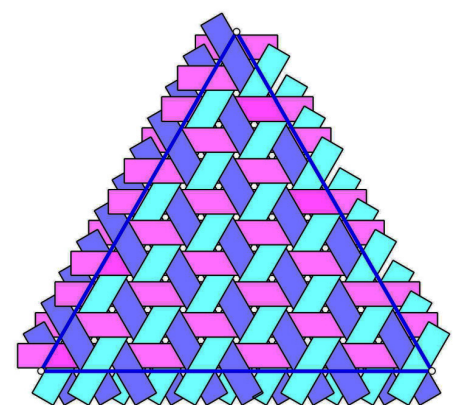


Fig. C10. Tejidos de tres series.
Izda.: anyam gila o mad wave.
Dcha.: kagome

⁹⁶ En una sarga 3x2, por ejemplo, el número 3 indica los espacios ocupados en un tramo visto y el 2 en parte oculta. Cuando las dos tramas tienen diferente sarga aparece una “y”, en el caso “3x2 y 2x3” las tiras horizontales están en orden 3x2 y las verticales en 2x3.

⁹⁷ *Kagome*: nombre que toma el tejido de tres series y trama hexagonal. El nombre en japonés viene de kago (cesto) y me (ojo).

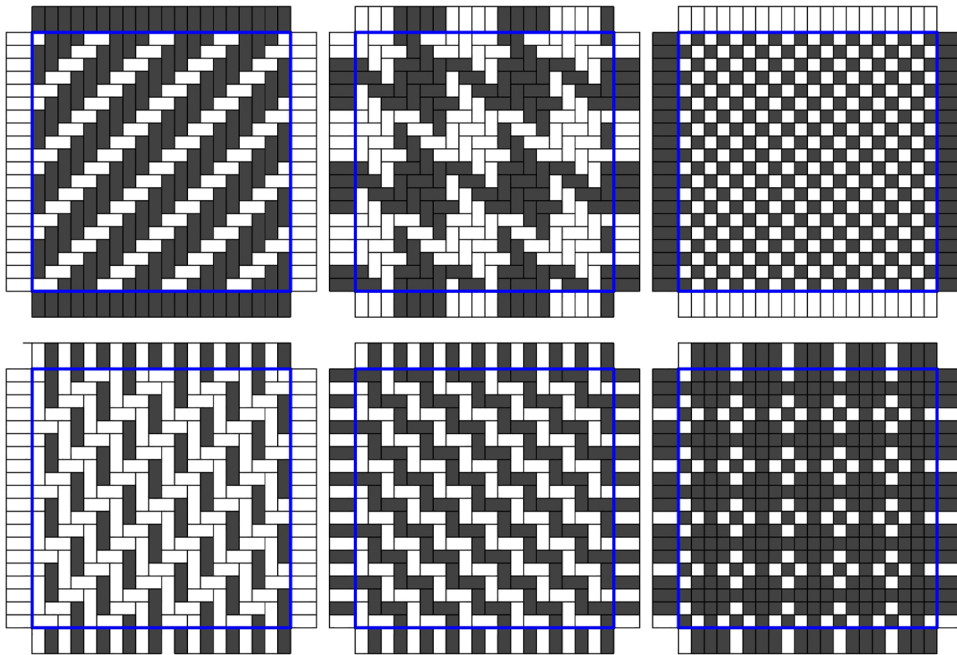
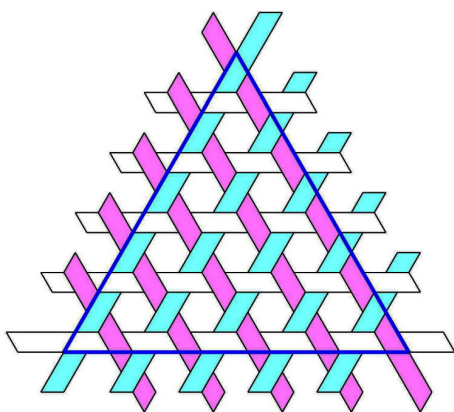


Fig. C11. Diferentes sargas bicolors de dos series

hexagonales. En comparación con los tejidos clásicos de estructura ortogonal, el tejido *kagome* es una estructura perfecta para productos sometidos a cargas multidireccionales (Zhou et al., 2018).

PATRONES BICOLORES

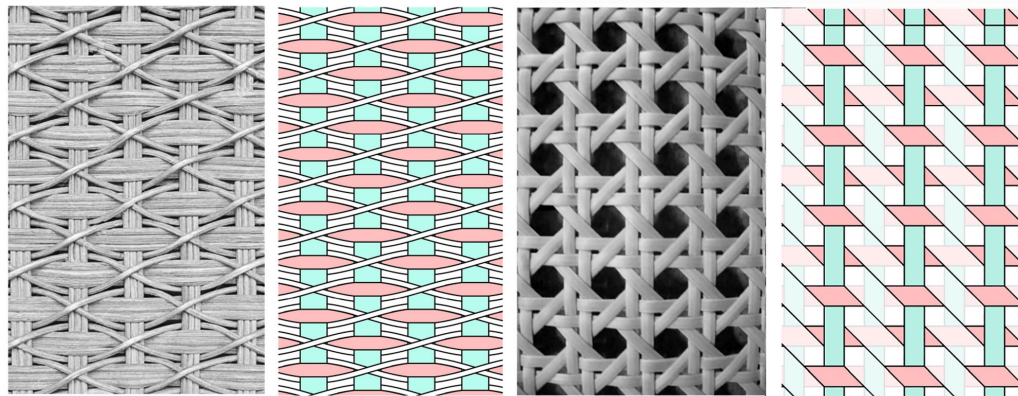
Al colorear las cintas se obtienen patrones muy interesantes que dan mucha variabilidad a una sarga determinada. Alternando blancas y negras en las dos series se obtiene el tablero de ajedrez. Buscando ritmos se consiguen dibujos difíciles de prever. Un *software* de modelado digital que permita un diseño paramétrico, como por ejemplo *Grasshopper 3D*⁹⁸, puede facilitarnos la confección de múltiples opciones introduciendo diferentes parámetros como puede ser el color de las tiras (Fig. C11). Con el programa se pueden combinar diferentes parámetros y crear un sinfín de patrones de sargas.



TRAMAS AÑADIDAS

A las tramas básicas, sean de dos o de tres series, se les pueden añadir nuevas series que entren y salgan por los agujeros de la

⁹⁸ *Grasshopper 3D*: *software* que permite explorar nuevas formas utilizando algoritmos generativos, *Grasshopper*® es un editor gráfico de algoritmos vinculado a las herramientas de modelado 3D de *Rhinoceros 3D*_ www.grasshopper3d.com



trama existente para crear nuevos entramados. Un ejemplo muy característico de este tipo de tejido es la trama de cuadrados que se convierten en octógonos, muy empleado en las sillas confeccionadas con ratán (Fig. C12).

Fig. C12. Ejemplos de tramas añadidas a tramas básicas

TÉCNICAS ASOCIADAS A TRAMAS

Hay varias técnicas que se pueden asociar a las diferentes tramas; la trama cuadrada de dos series es la que más opciones permite (Fig. C13). La forma que se genera con una trama se puede construir mediante diferentes técnicas. De modo que se puede realizar una gran cantidad de combinaciones de técnicas y tramas. Las propiedades mecánicas de los materiales empleados pueden facilitar o dificultar el proceso constructivo del entramado.

3.5. Cestería. Formas básicas

La forma básica tridimensional de la cestería entretejida, es el cono. Aunque no sea habitual ver cestas con forma de cono, en este apartado se muestra cómo el cono está muy presente en los cestos.

Tal y como se ha visto anteriormente, una de las características más importantes de la cestería es que la trama se teje sin necesidad de ningún tipo de armazón. Mientras se teje, la trama puede tomar un aspecto espacial. Los entretejidos⁹⁹ pueden adquirir forma de cilindro, de cono, o de otras superficies desarrollables, como pueden ser las superficies poliédricas, tangenciales, convolutas, superficies de igual pendiente, rectificantes y polares, entre otras.

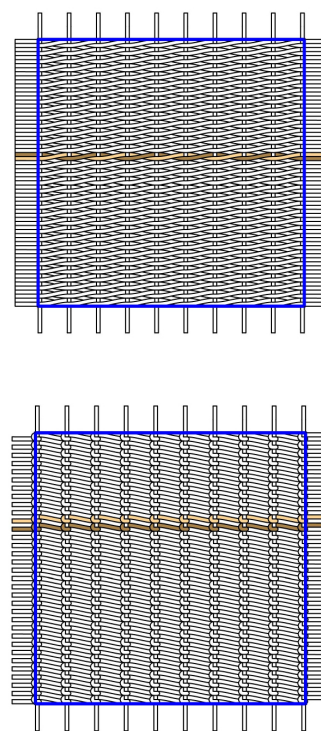


Fig. C13. Entramado de dos series con diferentes técnicas. Sup.: tejido tipo mimbre. Inf.: acordonado tipo mimbre

⁹⁹ En las formas asociadas a la trama que se analizan en este capítulo, se consideran que las tramas son rígidas. De modo que los elementos, las distancias y los agujeros mantienen las dimensiones. Por lo tanto, las tramas forman una superficie laminar desarrollable.

3.5.1 CILINDRO

A la hora de aplicar la trama, se tienen que tener en cuenta las trazas de las líneas geodésicas del cilindro. El desarrollo del cilindro tiene forma rectangular y es por ello que el cilindro requiere que dos de los bordes del rectángulo tejido conecten sus tramas, sargas y patrones de coloreado.

Si las series que componen la trama del cilindro son de diferente material, cada material conecta consigo mismo. Tal y como se analizará en el siguiente apartado, en el caso del cono, cada material no conecta consigo mismo.

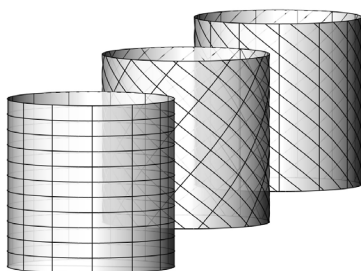


Fig. C14. Ejemplos de variaciones de ángulos de trama y urdimbre en cilindro

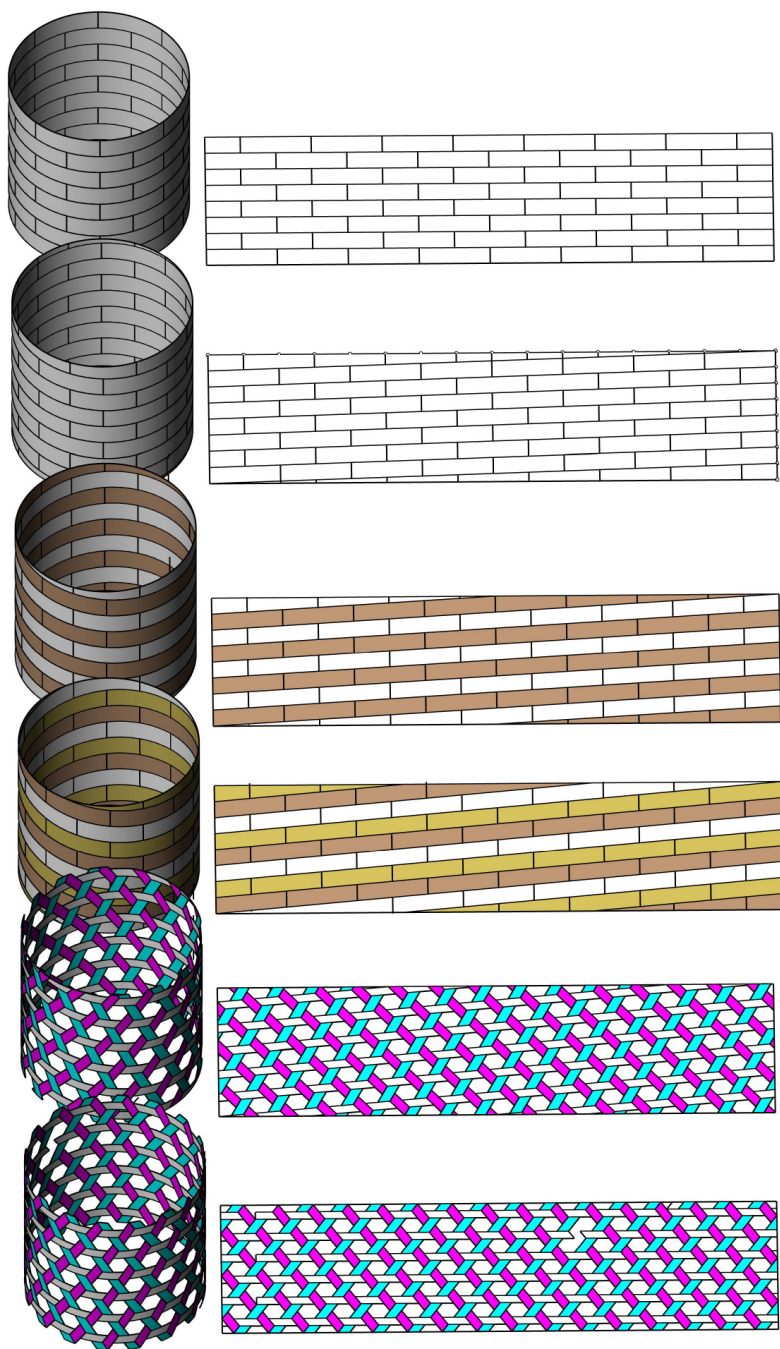


Fig. C15. Aplicación de diferentes tramas, de dos y tres series en cilindro (de arriba a abajo: a,b,c,d,e,f y g)

Los montantes pueden permanecer verticales o inclinados. Trama y urdimbre pueden variar sus ángulos (Fig. C14).

La trama puede estar formada por cintas que se cierran al formar el círculo de la geodésica (Fig. C15-a).

El cilindro también puede admitir conexiones en espiral, con una o varias cintas paralelas (Fig. C15-b, c y d).

Las tramas triangulares, *kagome* y *anyam gila*, se pueden adaptar al cilindro, incluso se pueden girar (Fig. C15-e y f). Una de las series puede construirse con una sola cinta en espiral o con más de una, tal y como se ha podido ver en la trama cuadrada. Las tramas *kagome* y *anyam gila* son más rígidas que la trama cuadrada. La trama *kagome*, por ejemplo, no admite variar demasiado la anchura de las tiras, ni tampoco la distancia de separación entre cintas.

3.5.2 CONO

El cono es muy usado en la creación cesterá. Se genera con un sector circular de la trama, de manera que se conecten bien series, sargas y patrones. Cada trama tiene diferentes posibilidades a la hora de generar los conos.

TRAMA CUADRADA

Para que los conos particulares puedan conservar la regularidad del entramado, sus sectores circulares tienen que ser múltiplo de 90° . Consecuentemente, los conos de sector 90° , 180° y 270° pueden desarrollarse con un entramado cuadrado (Fig. C16). Si se añaden más sectores circulares de 90° al desarrollo del sector 360° , se generan superficies cónicas (Fig. C17-e). Se crea una curvatura negativa concentrada en el vértice del cono, en este caso, negacono¹⁰⁰. Si los materiales de las dos series son diferentes, no se pueden generar conos de sector 90° ni de sector 270° , porque en la unión se juntan elementos de trama con elementos de urdimbre (Fig. 85-a).

A continuación, se muestran los diferentes conos y sus

¹⁰⁰ El término posicono se refiere al cono con curvatura positiva y el de negacono al cono con curvatura negativa. Los términos posicono y negacono aparecen en el cómic El agujero negro, del astrofísico francés Jean-Pierre Petit_ www.savoir-sans-frontieres.com

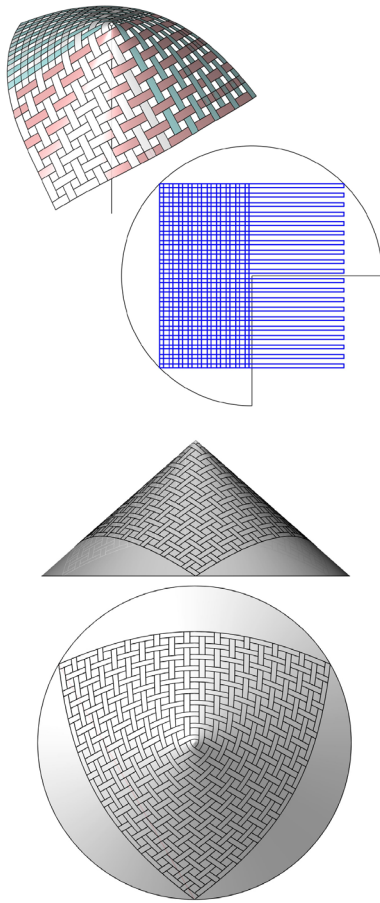


Fig. C16. Aplicación de la trama cuadrada al cono de sector 270°, de ángulo 270° (o posicono de $\theta= 90^\circ$)

correspondientes sectores circulares o desarrollos, siendo θ el ángulo que se le resta a la circunferencia¹⁰¹ y $-\theta$ el que se le suma a la misma (Fig. C17).

- Sector 90° (o posicono de $\theta = 270^\circ$): cada cinta se cruza consigo misma. El cono generado es muy apuntado.
- Sector 180° (o posicono de $\theta = 180^\circ$): en la unión del desarrollo se unen parte de las tiras de una serie con las tiras de la otra parte de la misma serie. En el vértice se cruzan dos tiras entre sí.
- Sector 270° (o posicono de $\theta = 90^\circ$): en el cono se distinguen tres series diferentes, aunque la trama sea de dos. Su contorno corresponde a un triángulo que tiene tres ángulos rectos. Este cono encaja perfectamente en el vértice de un cubo, ya que la suma de las tres caras del cubo es de 270° .
- Sector 360° (o posicono de $\theta = 0^\circ$): el cono es un círculo plano.
- Sector 450° (o negacono de $\theta = -90^\circ$): se genera una superficie con cierto parecido a la silla de montar. Su contorno corresponde a un pentágono que tiene cinco ángulos rectos. El borde del cono crece conforme se van añadiendo sectores circulares, sin embargo, las generatrices no crecen. El borde se adapta en una esfera y, conforme se añaden sectores, la esfera queda más definida.

¹⁰¹ En el caso de los conos con trama cuadrada, si $\theta > 90^\circ$, las líneas geodésicas se cierran, es decir, la cinta se cruza consigo misma. Si $\theta < 90^\circ$, las líneas geodésicas no se cierran. El ángulo límite en que las líneas geodésicas no se cierran está en $\theta = 90^\circ$.

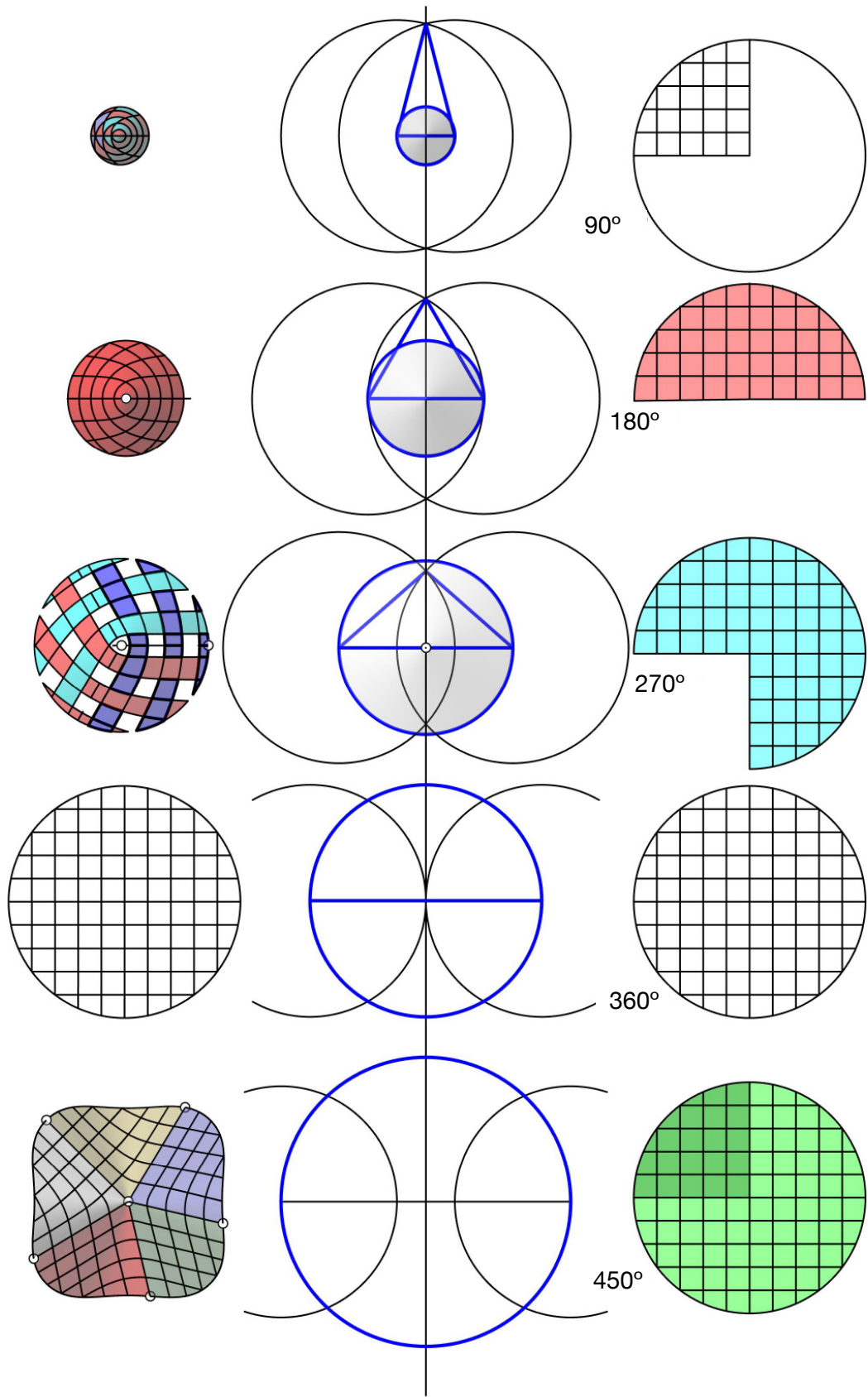


Fig. C17. Aplicación de la trama cuadrada a diferentes sectores de conos (de sup. a inf.: a, b, c, d y e)

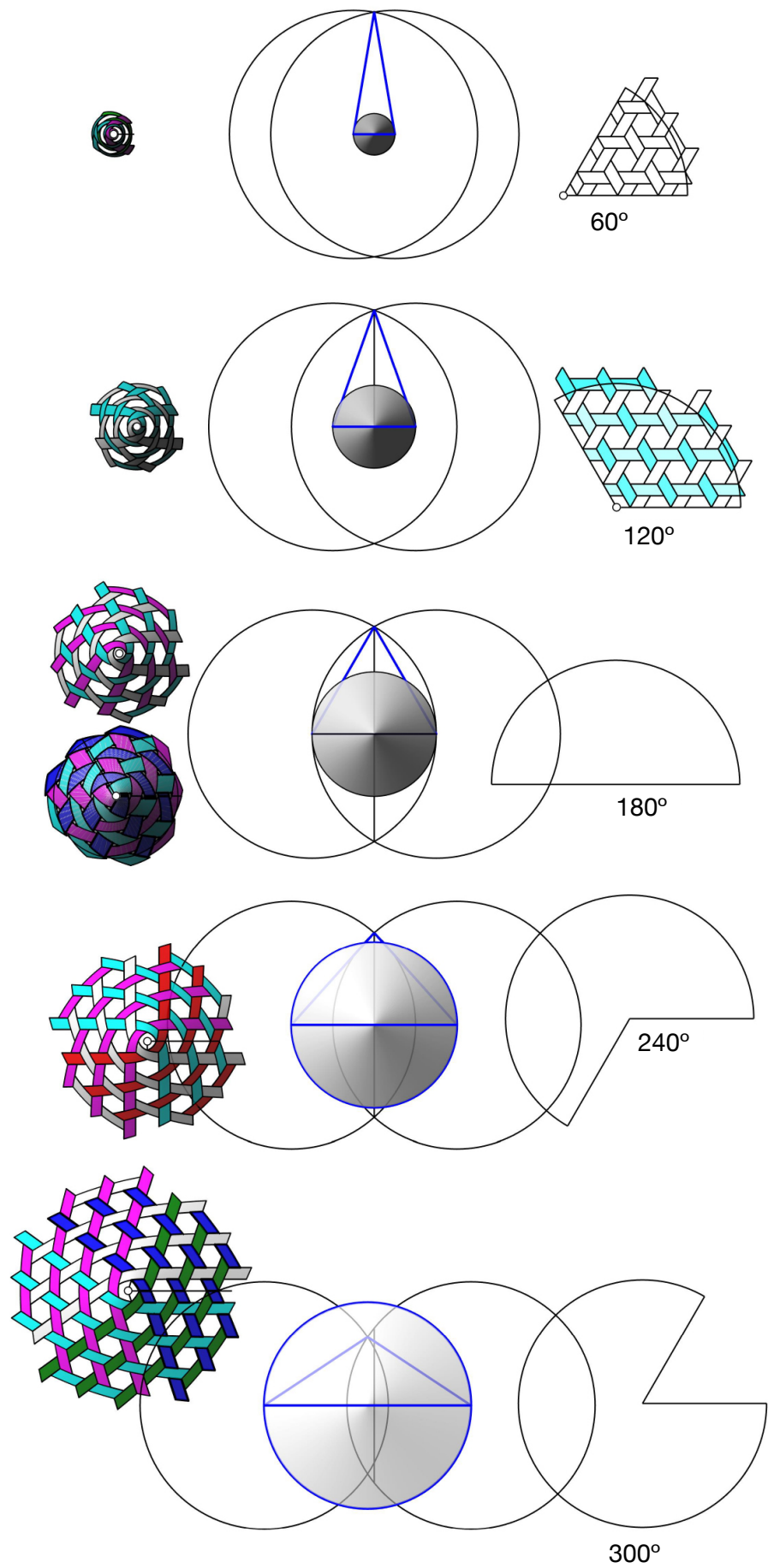


Fig. C18. Aplicación de la trama triangular a diferentes sectores de conos

Con la trama triangular *kagome*, los conos particulares que puedan conservar la regularidad del entramado tienen que ser conos cuyos sectores circulares sean múltiplo de 60° . De modo que las tramas de triángulos equiláteros permiten crear conos con ángulos de 60° , 120° , 180° , 240° y 300° .

Como en el cono de trama cuadrada, si se añaden más sectores circulares de 60° al desarrollo del sector 360° , se generan superficies cónicas o, lo que es lo mismo, si se añaden sectores de ángulo θ a un sector de 360° , se crea una curvatura negativa $-\theta$, concentrada en el vértice del cono, en este caso, negacono. A continuación, se muestran los diferentes conos y sus correspondientes sectores circulares o desarrollos, siendo θ el ángulo que se le resta a la circunferencia (Fig. C18):

- Sector 60° (o posicono de $\theta = 300^\circ$): los conos son muy apuntados. Cada cinta se cruza consigo misma. Funciona con los dos tejidos de tres series, *kagome* y *anyam gila*.
- Sector 120° (o posicono de $\theta = 240^\circ$): las cintas se cruzan sobre sí mismas. Los conos son bastante apuntados. Funciona con los dos tejidos, *kagome* y *anyam gila*. En el vértice se cruzan dos cintas.
- Sector 180° (o posicono de $\theta = 180^\circ$): las tres series siguen manteniéndose y en el vértice se cruzan tres cintas. Este cono encaja perfectamente en el vértice de un tetraedro, ya que la suma de las tres caras del tetraedro es de 180° .
- Sector 240° (posicono de $\theta = 120^\circ$): las tres series se convierten en cuatro, de modo que en el vértice se cruzan cuatro tiras. El ángulo de 240° es la suma de ángulos entre las aristas que llegan a un vértice del octaedro.
- Sector 300° (posicono de $\theta = 60^\circ$): las tres series se convierten en cinco, por tanto, en el vértice se cruzan cinco tiras. El ángulo de 300° es la suma de ángulos entre las aristas que llegan a un vértice del icosaedro.
- Sector 420° (negacono de $\theta = -60^\circ$): las tres series se convierten en siete. El ángulo de 420° es la suma de ángulos entre las aristas que llegan a un vértice y crean una curvatura negativa.

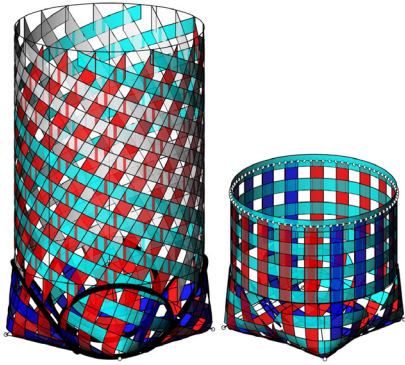


Fig. C19. Combinación de conos y cilindro en modelado de cestas con trama cuadrada inclinada y recta



Fig. C20. Combinación cono-cilindro en cesto de tira plana de madera de castaño, realizado con trama cuadrada recta

3.5.3 COMBINACIÓN: CONO Y CILINDRO

El cilindro cesterío combina mal con otros cilindros, sin embargo, el cono combina bien tanto con otros conos como con cilindros.

El cono es una superficie muy útil a la hora de crear formas con cestería (Fig. C19 y C20). Mediante la combinación de diferentes conos, se pueden construir, por ejemplo, todos los poliedros básicos.

3.5.4 POLIEDROS

En este apartado se analiza la construcción de los poliedros mediante conos entretejidos con tiras. En cestería es muy común que, en el encuentro entre caras planas, realizadas con entramados de fibras naturales, las aristas se suavicen, se redondeen y surjan conos. Consecuentemente, el poliedro, elaborado con técnicas de cestería, se redondea manteniendo el carácter cónico de los elementos que lo componen. Si el material lo permite, en las aristas se pueden juntar caras planas, que también se analizarán.

En todos los casos de los poliedros que se exponen, cada modelo tiene las cintas de igual longitud.

Las tramas triangulares de tres series se ajustan bien a los poliedros de caras triangulares. Las tramas *anyam gila* y *kagome* tienen la estructura parecida y es lógico que, lo que se pueda construir con una trama, se construya también con la otra. Se analizan los siguientes poliedros:

- Tetraedro.
- Cubo.
- Octaedro
- Icosaedro

Cabe destacar que, en el conjunto de los poliedros no se analiza el dodecaedro porque sus caras pentagonales no son compatibles con las tramas de dos o tres series.

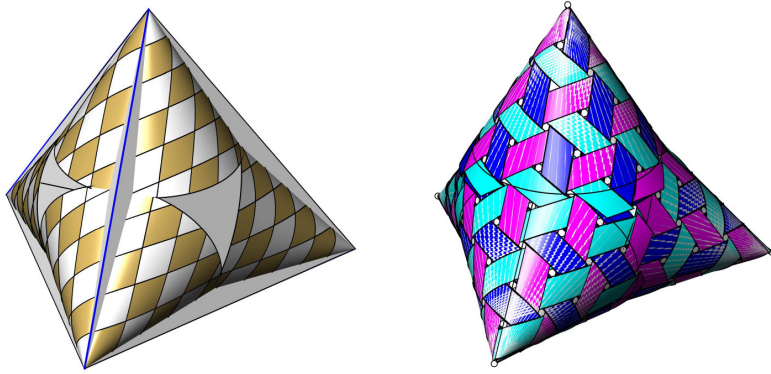


Fig. C23. Izda.: tetraedro con trama de dos series. Dcha.: tetraedro con trama anyam gila

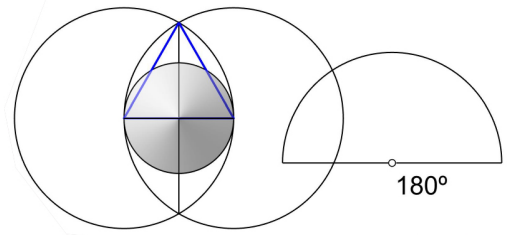


Fig. C21. Cono de sector 180° (posicono de $\theta = 180^\circ$)

TETRAEDRO

Con cuatro conos de sector 180°, se puede construir un tetraedro completo que, como se ha visto, conserva las tres series. A cada vértice del poliedro le corresponde un cono cuyo desarrollo es un sector circular de 180°¹⁰² (Fig. C21). Todas las cintas tienen la misma longitud.

Con la trama cuadrada, o de dos series, girada a 60°, también se puede construir un tetraedro (Fig. C22), aunque haya menos planos de simetría. Esta trama se parece a una trama *anyam gila* a la que se le haya restado una de sus tres series. Se muestra un tetraedro con trama triangular *anyam gila* (Fig. 23) y otro con la trama *kagome* (Fig. C24).

Todas las tramas presentadas en este capítulo se pueden girar. A la hora de trabajar con el giro de tramas, es mejor partir del modelo de poliedros de caras planas.

En caras triangulares se puede aplicar el proceso de triangulación con series giradas¹⁰³ (Fig. C25). El triángulo y su trama casan al juntarlas con otras caras triangulares de poliedros, como el tetraedro, el octaedro y el icosaedro (Fig. C26).

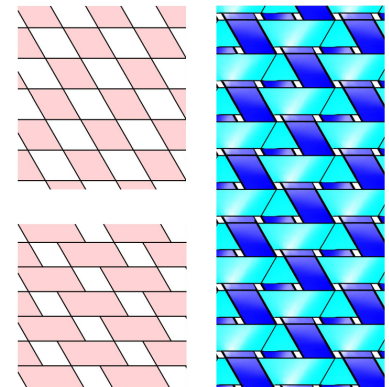


Fig. C22. Diferentes ejemplos de tramas de dos series

¹⁰² Los grados del sector del desarrollo del cono son equivalentes al ángulo poliedro.

¹⁰³ Proceso de triangulación de caras triangulares con series giradas: se dividen los lados del triángulo en a , b y $a+b$ partes. Al unir las divisiones, como muestra la figura, se obtiene una trama de triángulos equiláteros. Las partes a y b son números enteros, incluido el cero. El proceso sirve también para las cúpulas geodésicas giradas.

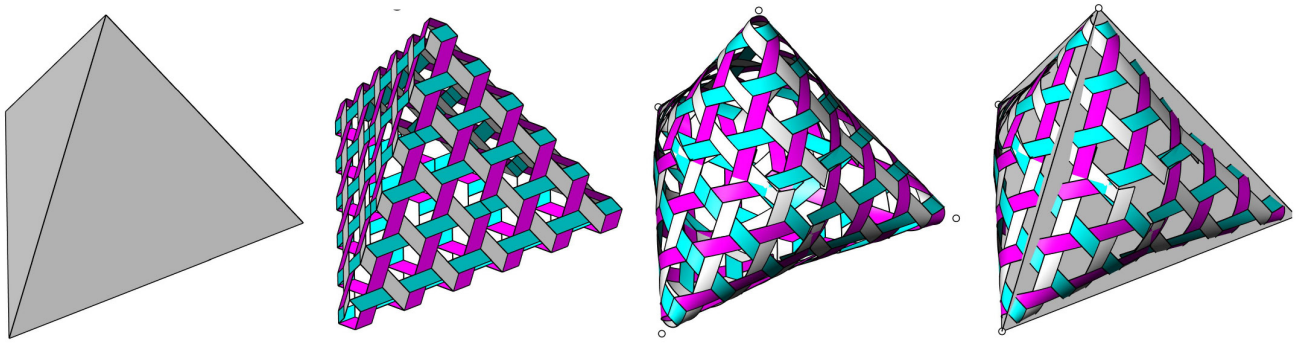


Fig. C24. Confección de tetraedros con trama de tres series kagome. Ejemplo de tetraedro con caras planas y ejemplo de poliedro redondeado con vértices cónicos

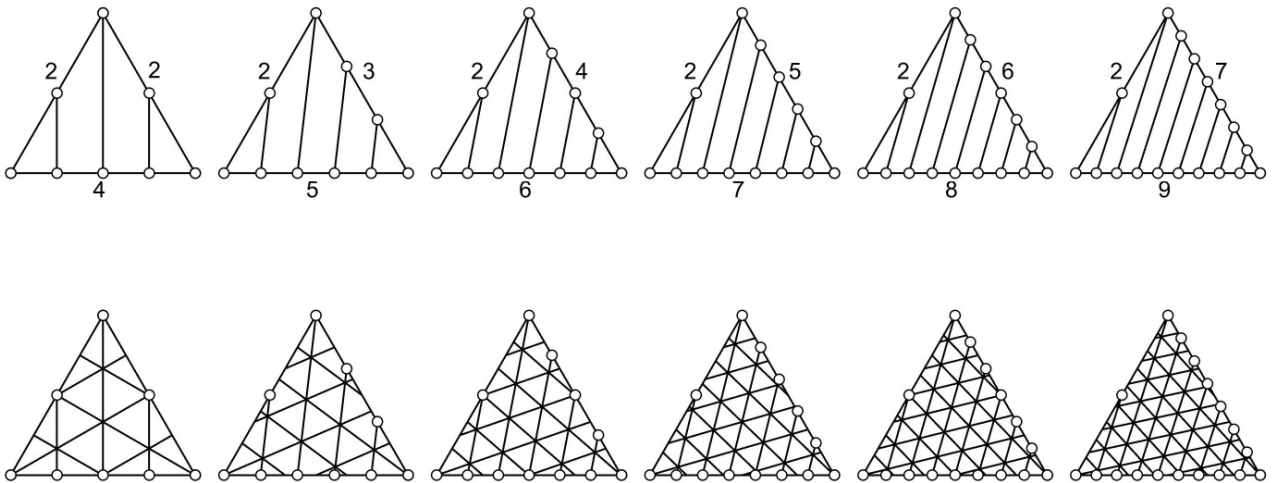


Fig. C25. Ejemplos de triangulación de caras planas triangulares con series giradas

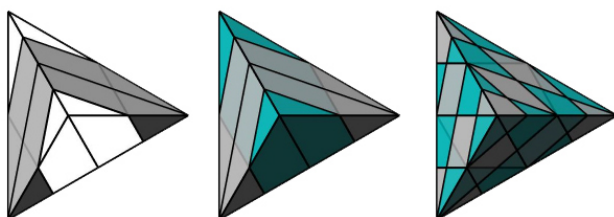
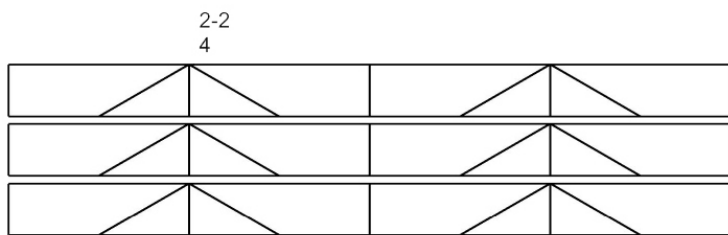


Fig. C26. Tetraedro de caras planas confeccionado con trama de dos series a 60°. Y desarrollo de las tiras

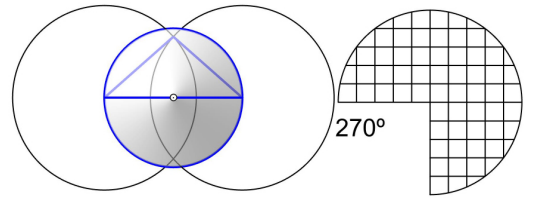


Fig. C27. Cono de sector 270° (posicono de $\theta=90^\circ$)

CUBO

Se genera con una trama plana ortogonal de dos series. Es la forma básica más habitual en cestería entretejida. El cubo y el prisma tienen las mismas generaciones.

El cono de partida corresponde a un sector circular de 270° (Fig. C27). Ocho conos componen el cubo, uno por vértice. Los ejes de revolución pasan por el centro del poliedro (Fig. C28).

En la trama cuadrada, las posibilidades en cuanto a sargas y patrones de coloreado son infinitas y, por tanto, se podrían aplicar al cubo, aunque en algunos casos haya limitaciones para que casen tramas, sargas y patrones (Fig. C29).

Las tramas triangulares tienen menos posibilidades en este sentido, pero construyen más formas espaciales. Admiten cinco conos diferentes (60°, 120°, 180°, 240°, 300°) frente a los tres (90°, 180°, 270°) de la trama cuadrada.

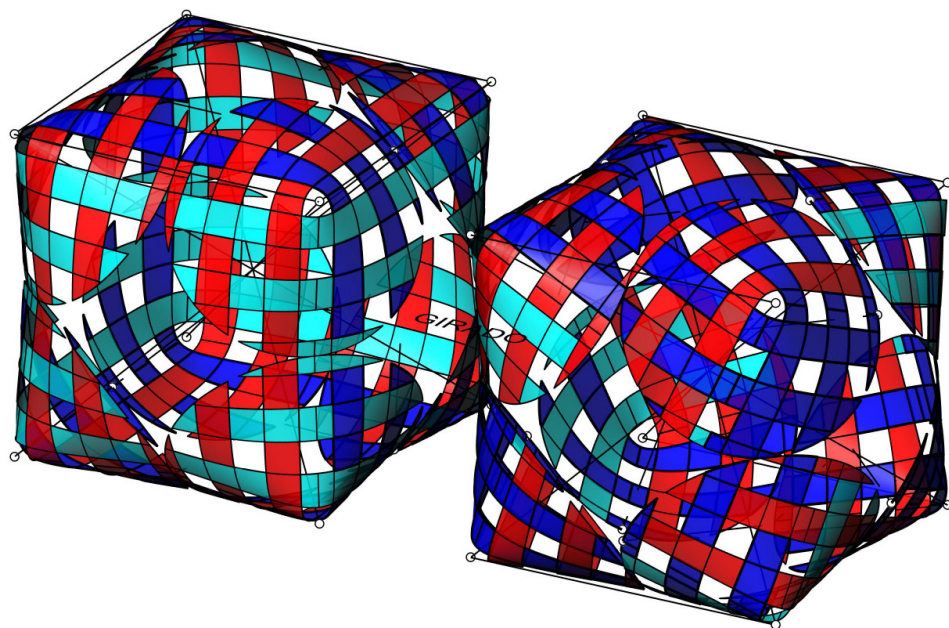


Fig. C28. Cubo entretejido con trama de dos series. Izda.: trama cuadrada. Dcha.: trama cuadrada girada

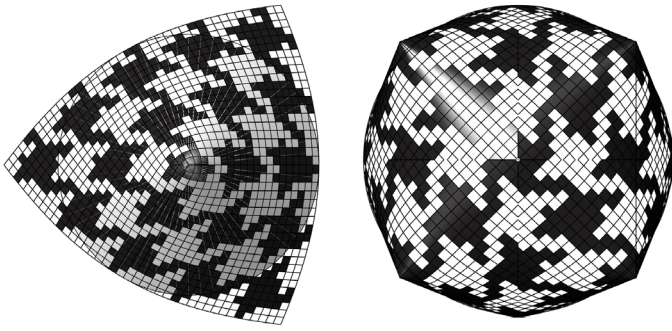
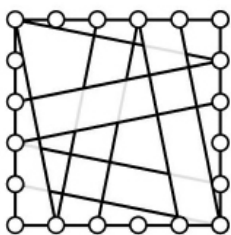


Fig. C29. Vértice de cubo entretelado con trama cuadrada y patrón bicolor tipo “pata de gallo”

Se muestra un método de división para entretelar el cubo: Los giros de la trama respecto al modelo se pueden tratar con los conos, pero es más fácil entenderlos trabajando con caras planas. Si se dividen las aristas en partes iguales, las cintas pasarían por los puntos de división. Dependiendo de los puntos elegidos, hay un número de cintas que entretelen el cubo, cuatro en la imagen (Fig. C30). En el cubo anterior, construido sin giros habría quince cintas (Fig. C28).

Cuando los cuerpos son cerrados con tramas giradas, igual que en el caso de los conos muy apuntados¹⁰⁴, no se puede hablar de series porque lo normal es que una cinta se cruce consigo misma y eso rompe con el concepto de serie. Por tanto, en los poliedros cerrados resulta más adecuado analizar el número de cintas que componen la figura¹⁰⁵.



104 En este caso, “conos apuntados” se refiere a conos de sector circular menor de 180°

105 La construcción real del poliedro cerrado tiene su dificultad. Cuando una cinta se cruza consigo misma en un punto determinado, es probable que no esté tejida en el momento que se tenga que cruzar. Resulta más fácil trabajar con cintas más cortas y añadir otras cuando se necesiten. Si el poliedro tiene alguna abertura, como es habitual en cestería, surgen menos problemas porque las cintas, al ser más cortas, no tienen continuidad.

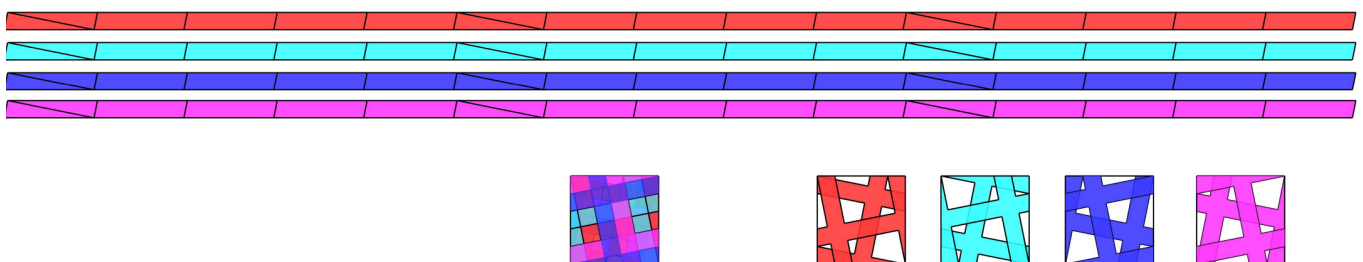


Fig. C30. Desarrollo de las cintas que entretelen el cubo de caras planas con trama cuadrada girada

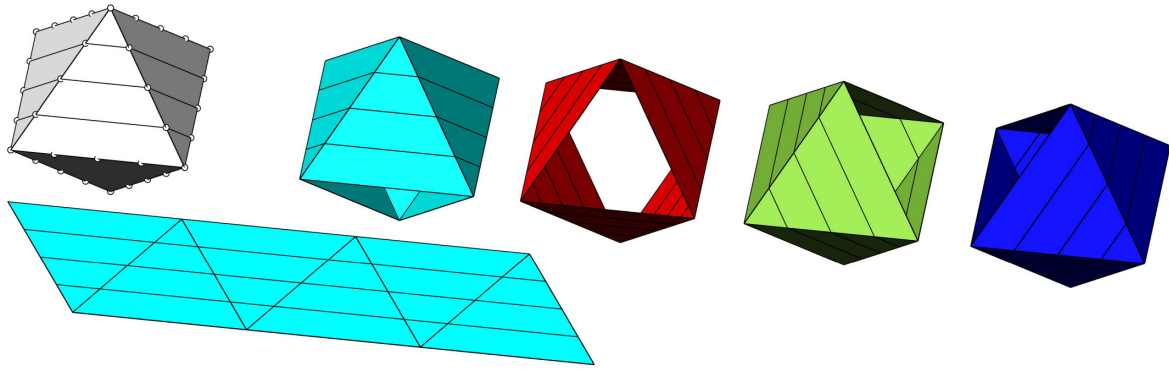


Fig. C34. Ejemplo de despiece del recorrido de las cintas que entretrejen el octaedro con la trama anyam gila

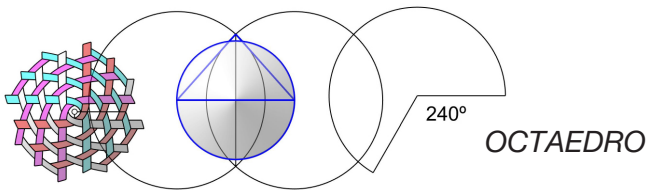


Fig. C31. Cono de sector 240° .
(posicono de $\theta = 90^\circ$)

El octaedro, en cestería, se genera a partir de conos con un desarrollo de 240° (Fig. C31). Lo componen seis conos, uno por cada vértice. Los tejidos de trama triangular, *kagome* y *anyam gila*, se adaptan bien al octaedro (Fig. C32). Las tres series que necesita el tejido plano, en el octaedro, se transforman en cuatro. En los vértices, los agujeros de la trama *kagome* son cuadrados en lugar de hexagonales.

Los casos resueltos con muy pocas cintas son interesantes (Fig. C33). Se muestran los recorridos de cada una de las cuatro series de cintas. En el caso de *anyam gila*, cada cara queda recubierta por tres series de cintas. Cada serie de cintas ocupa las caras laterales de un antiprisma triangular (Fig. C34).

Las posibilidades de giro planteadas en otros poliedros son también factibles en el octaedro. Se resuelven, como en el tetraedro, por el método explicado de divisiones.

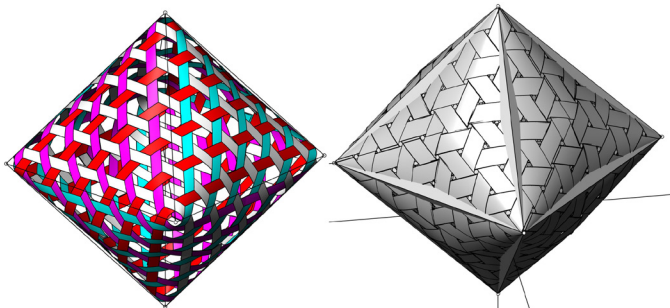


Fig. C32. Octaedro entretrejido con trama triangular. Izda.: *kagome*. Dcha.: *anyam gila*

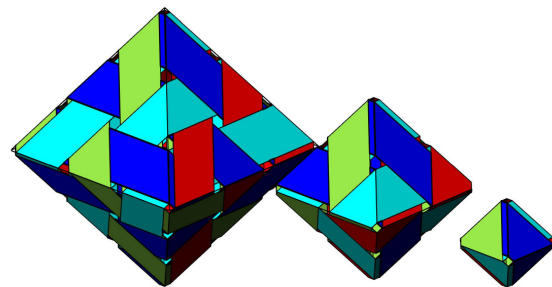


Fig. C33. Tres ejemplos de tetraedro entretrejido resueltos con pocas cintas. La figura mayor tiene 12 cintas, la siguiente 8 y la menor 4, el mínimo construible en *anyam gila*

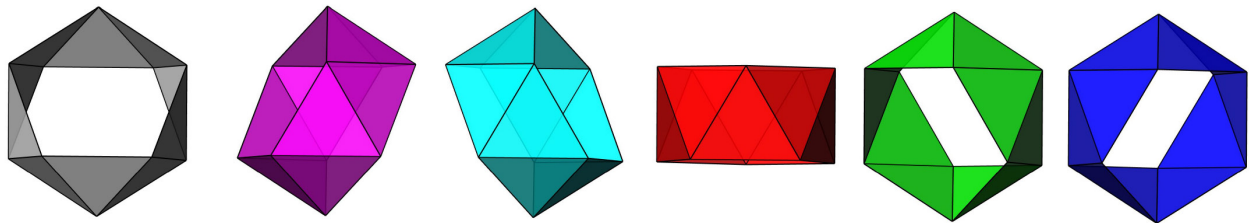


Fig. C37. Despiece de cintas mínimo del icosaedro entretelado con trama anyam gila

ICOSAEDRO

El icosaedro, en cestería, se genera a partir de conos de sector circular de 300° (Fig. C35). El poliedro lo componen doce conos, uno por vértice. Se construye bien con tejidos de trama triangular. Necesita seis series de cintas.

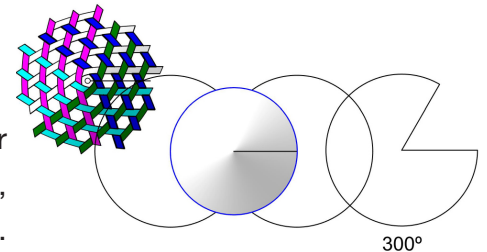


Fig. C35. Cono de sector 300° .
(posicono de $\theta = 60^\circ$)

Como en los demás casos vistos, el icosaedro también admite el giro de la trama del cono. Cuantas más cintas tenga el poliedro, las posibilidades de giro son mayores¹⁰⁶. Al girar los conos, unas cintas se enganchan con otras y crean cintas más largas que recorren el poliedro (Fig. C36). Las cintas de todas las series tienen la misma longitud. Cada serie recorre un antiprisma, como ocurre con el octaedro, pero, en este caso, el antiprisma es pentagonal. Las seis cintas de la figura cubren tres veces el poliedro, de modo que en cada punto de la superficie hay tres cintas. Plegándolas se obtiene el mínimo icosaedro construido con *anyam gila* (Fig. C37). En la figura se muestran dos icosaedros *kagome* de pocas cintas¹⁰⁷ (Fig. C38).

¹⁰⁶ El estudio del giro se puede tratar con la regla de divisiones de aristas explicada con el tetraedro.

¹⁰⁷ El menor tiene seis cintas una por cada serie. La cara está compuesta por tres rombos; todos los agujeros son pentagonales. El poliedro mayor es la siguiente opción con pocas cintas, concretamente doce (dos por serie) y tiene los agujeros hexagonales.

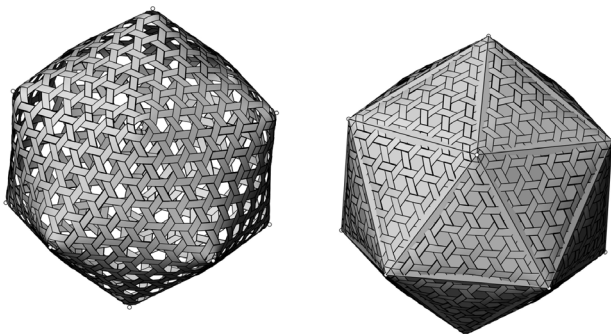


Fig. C36. Icosaedro entretelado con trama triangular kagome. Izda.: Poliedro entretelado con cestería

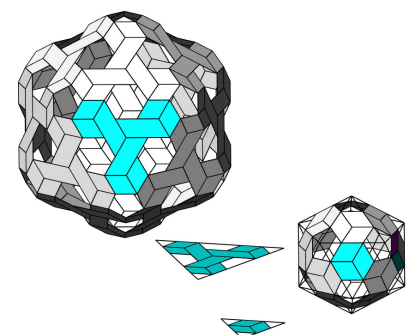


Fig. C38. Ejemplos de icosaedros entretelados con trama kagome de cintas mínimas

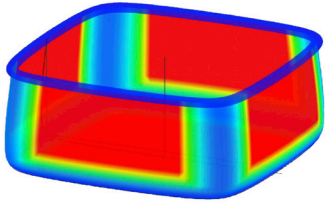


Fig. C39. Cesto de TPMC y análisis de la curvatura del modelo realizado con el software Rhinoceros

3.5 Cestería. Modelado

La cestería tradicional tiene limitaciones por varias razones. Entrelazar requiere definir un patrón o trama para el tejido de las fibras naturales que ha de adaptarse a una forma geométrica. Este proceso está condicionado por las características mecánicas del material que le permitirán el curvado y la plasticidad necesaria para adaptarse y mantener la forma inicial deseada sin clavos ni colas. Las formas y tramas existentes en la cestería se han creado siguiendo el método de prueba-error, testando materiales naturales de la zona. Si el artefacto existe es porque ese material ha sido capaz de mantener esa forma ensayada con las manos. No se partió de un ensayo científico de las propiedades del material, ni de sus límites elásticos ni de su resiliencia. Sólo hay técnicas ancestrales de inmersión en agua o de calentado del material que el artesano sabe que permiten mejorar las cualidades del material para curvarse más y mantener la forma durante más tiempo (Casado et al., 2021).

Los *softwares* digitales de modelado 3D permiten gestionar diversa información, como por ejemplo la curvatura que tiene cada punto de la trama en la forma geométrica diseñada. Si se ensayan las propiedades mecánicas de ese material concreto, el modelo 3D podría simular y optimizar una geometría que permita que el material se adapte y mantenga esa forma incluso con nuevas tramas nunca antes confeccionadas. *Softwares* como *Rhinoceros*, utilizado en esta investigación, permiten colorear la trama en función de los radios mínimos y las curvaturas máximas de la forma geométrica diseñada. Los colores van del rojo en las caras planas (puntos más favorables) al azul oscuro, que refleja los puntos más críticos con el menor radio de curvatura (Fig.C39).

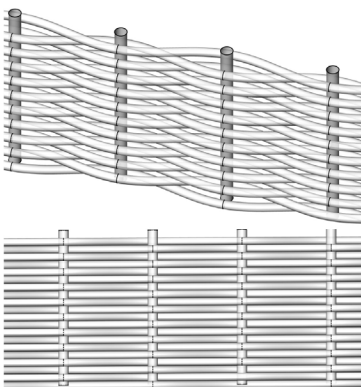


Fig. C40. Ejemplo de trama de ondulado de una serie. Axonometría y vista frontal

3.5.1 MODELADO DE LA TRAMA

Existen diversas técnicas y muchos materiales que han de adaptarse a multitud de curvaturas, es por ello que en este apartado se analizarán algunos ejemplos significativos que ayuden a entender el proceso de generar modelados de diferentes tramas entreteljadas¹⁰⁸. Para una definición precisa de la trama, se requiere un estudio detallado que ayude a entender el comportamiento los materiales.

¹⁰⁸ Todos los modelados que se presentan en este capítulo se han confeccionado con el *software* de *Rhinoceros*.

ONDULADO DE UNA SERIE

El ondulado de una serie se da cuando una de las series se mantiene rígida y la otra se ondula. La serie rígida, denominada urdimbre, hace la función de estructura y la serie ondulada es la trama. Los montantes están separados y la trama se ondula entre ellos. Los elementos de la trama se tocan y no se ven agujeros en una vista frontal (Fig. C40). Esta trama es muy típica, por ejemplo, en la cestería de mimbre y en la de castaño.

Para el modelado, hay que espaciar adecuadamente la estructura de los montantes y buscar la curva-eje de los mimbres de la trama. En este caso, se ha empleado una curva senoidal, la cual cambia su curvatura¹⁰⁹ de forma continua (Fig. C41). Dependiendo de la distancia entre montantes se obtienen tejidos adaptables a los diversos materiales.

Otro ejemplo de modelado es el entretejido de tiras planas, como el de la cestería de castaño. La ondulación de la trama varía dependiendo de las características mecánicas del material¹¹⁰ (Fig. C42). En el modelado digital, aunque se puede matizar mucho, siempre se realizan simplificaciones con respecto a los modelos físicos que se acaban confeccionando finalmente.

En este caso, los montantes se han modelado rígidos y se mantienen en el mismo plano, además, la curvatura no afecta transversalmente a las tiras y algunas piezas se intersecan un poco.

109 La curvatura muestra la intensidad de cambio de dirección de una curva. La curvatura de un segmento de circunferencia es mayor cuanto menor sea su radio.

110 Tanteos de aproximación a las características mecánicas del material en figura 110:

- Mismo centro de curvatura para el interior y el exterior. El material conserva el grosor y solo se curva en una pequeña zona.
- Misma curvatura en interior y exterior. El material muerde al montante, puede ser admisible en el modelado.
- y d) La curvatura externa cambia, la interna no. El grosor del material no se mantiene continuo, pero puede ocurrir algo parecido en la realidad.

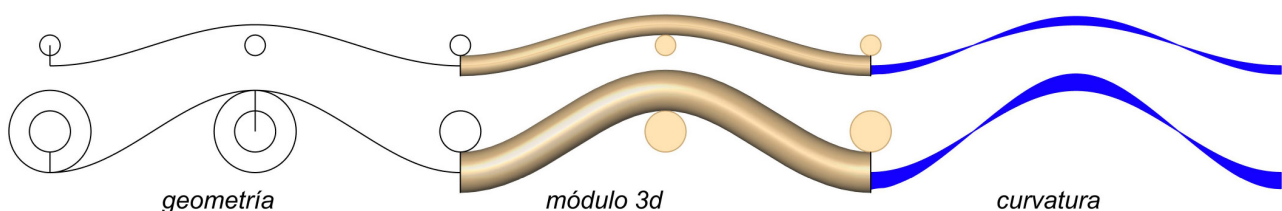


Fig. C41. Ejemplo de entramado de ondulado de una serie de dos materiales diferentes. El modelo superior se refiere al entramado cesterero de mimbre

ONDULADO DE DOS SERIES

En este caso, se ondulan las dos series de elementos que componen la trama (Fig. C43). Este ondulado se da en materiales finos, como las tiras de ratán o la rafia. La ondulación de dos series también se da en la cestería donde no se distingue trama y urdimbre, como puede ser la tira fina de bambú, incluso la tira fina de castaño, entre otros.

En el ejemplo de modelado se ha optado por una misma ondulación senoidal, tanto para la serie horizontal, como para la vertical, y se resuelve con un giro de las cintas. Posteriormente, se le han aplicado varias transformaciones con el fin de matizar el modelado tridimensional¹¹¹. Las transformaciones se pueden aplicar a la trama completa o a cada elemento de la trama (Fig. C44). Una vez aplicada la trama, conviene analizar el resultado, estudiando las secciones de elementos, intersecciones resultantes o vacíos creados¹¹².

111 a) Modelo de origen (3a). Cada cinta es una senoide extruida. Las verticales se obtienen girando las horizontales. Los ejes de todas las sinusoides son coplanares.

b) Estrechar el espesor (escala 1d) (3b). Las sinusoides disminuyen la amplitud de onda, pero la ondulación es siempre correcta en el tejido, las cintas no se cortan entre sí.

c) Estrechar el ancho de cada cinta (escala 1d) (3c). Se pueden estrechar las cintas y dejar agujeros en la trama.

d) Dar espesor a las cintas (extruir) (3d y 2). Conviene extruir todas las cintas en el mismo sentido, la superficie vista será la correcta en ambas caras, aunque las cintas se corten mínimamente.

112 Conviene analizar las secciones del material a utilizar y “barrerlas” adecuadamente por la curva de ondulación. Las fibras redondas son “tuberías” resueltas en la misma curva.

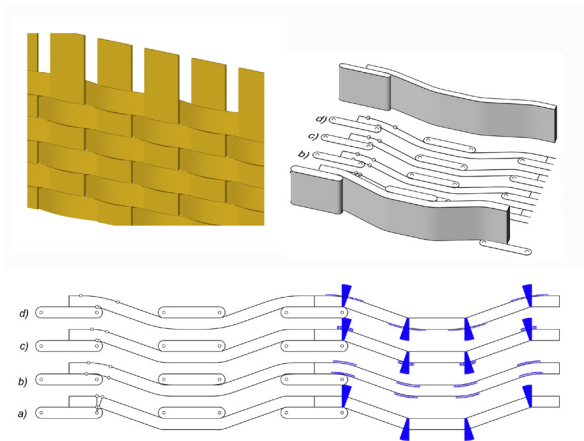


Fig. C42. Modelado de entramado de tira plana de una serie y diferentes tanteos de aproximación a las características mecánicas del material

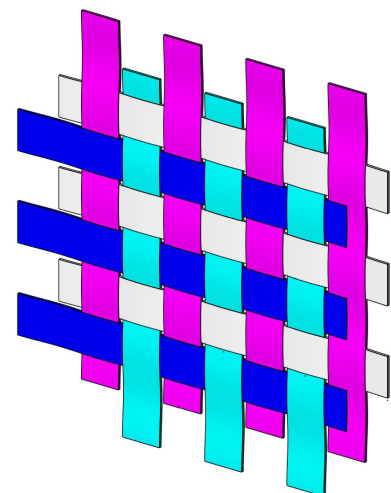


Fig. C43. Modelado trama de tira plana y ondulado de dos series

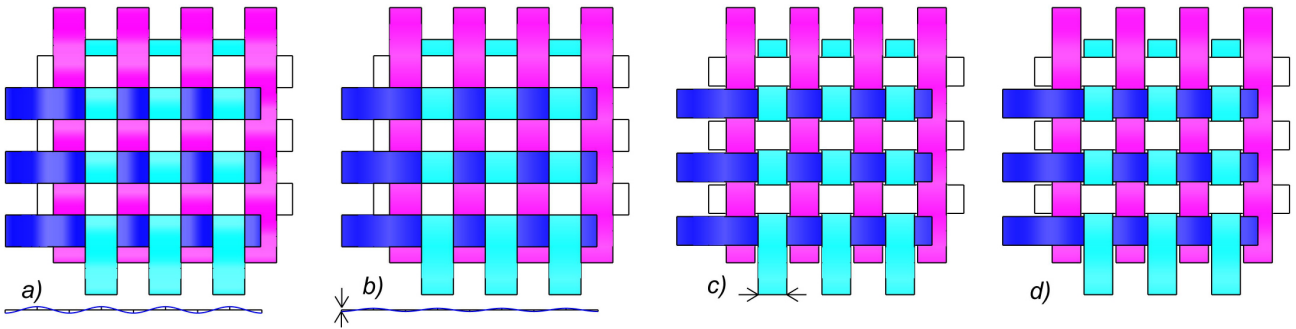


Fig. C44. Ejemplos de modelado de la trama cuadrada con diferentes transformaciones aplicadas

ONDULADO DE TRES SERIES

El modelado de tres series onduladas es más complejo que los anteriores. Se analizan dos de las tramas más comunes utilizadas en cestería, *anyam gila* y *kagome*.

Anyam gila (mad wave)

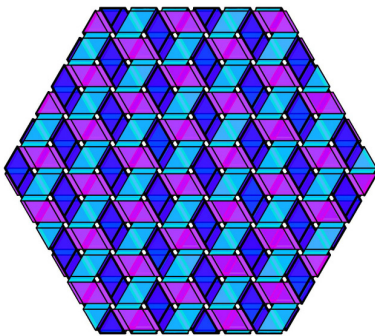


Fig. C45. Trama de tres series, anyam gila

La trama *anyam gila* (Fig. C45) se entiende como un tejido cerrado que en cada punto de la superficie tiene tres cintas superpuestas. Las cintas se van entretejiendo a lo largo de tres niveles: superior, medio e inferior. El módulo se compone, en principio, de cuatro piezas¹¹³ (Fig. C46). Esta trama, en cestería, se suele construir con tiras de poco espesor. La generación propuesta admite la extrusión con el fin de modelar el espesor de la fibra¹¹⁴ (Fig. C47 y C48).

¹¹³ La superior "1" e inferior "3", en rojo, son planas. Las otras son alabeadas (paraboloides reglados) y juntan el nivel superior con el inferior. Al rodear los bordes de estas superficies se crea una superficie más continua, que se genera por la red de curvas indicada.

¹¹⁴ La distancia de extrusión será la misma que la distancia entre niveles.

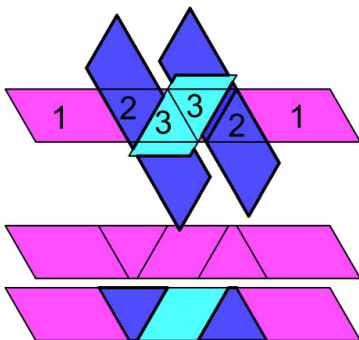


Fig. C46. Proceso de entretejido de los tres niveles de cinta

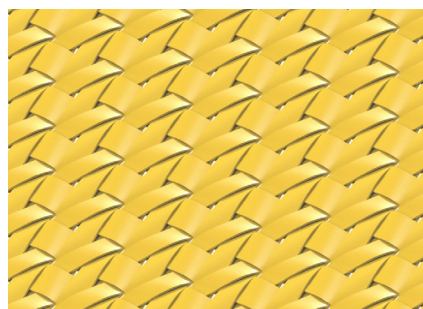


Fig. C47. Modelado y renderizado de anyam gila

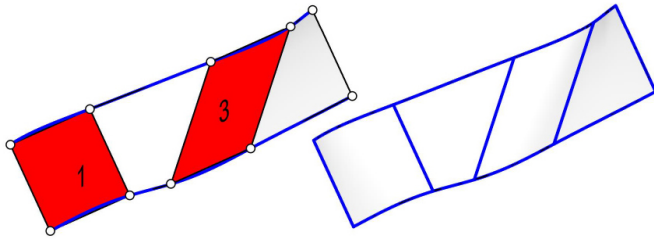
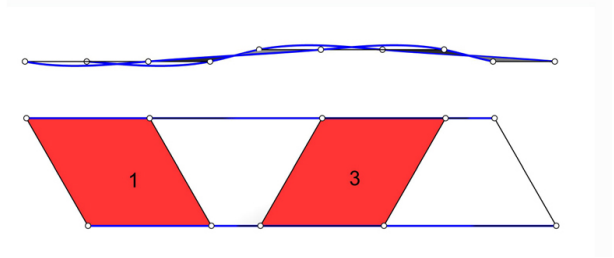


Fig. C48. Módulo elemental anyam gila y bordes redondeados en diédrico



Kagome

La trama *kagome* tiene tres series de cintas, pero a diferencia de la anterior trama, esta se compone de dos niveles (Fig. C49).

El módulo es parecido al caso anterior. Parte de dos piezas planas, las rojas, y se juntan con las piezas alabeadas blancas (Fig. C50).

Es conveniente albear las cintas, para que el tejido no quede demasiado plano y se cree una textura correcta en cuanto a forma y brillos (Fig. C51).

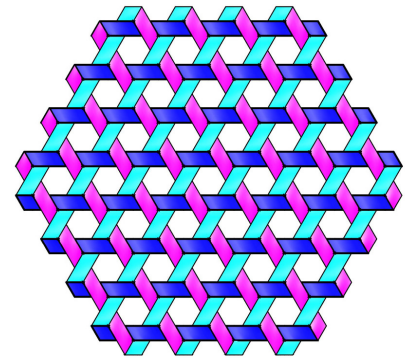


Fig. C49. Trama de tres series, kagome

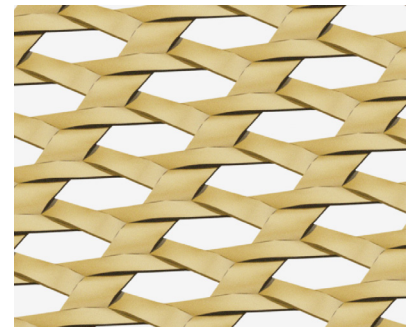


Fig. C51. Modelado y renderizado de kagome

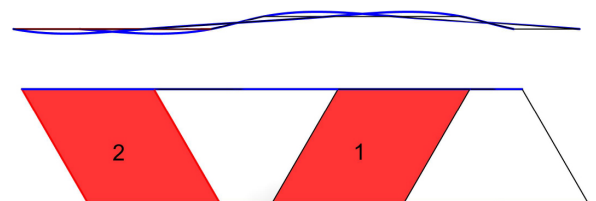


Fig. C50. Módulo y ondulación de kagome en diédrico

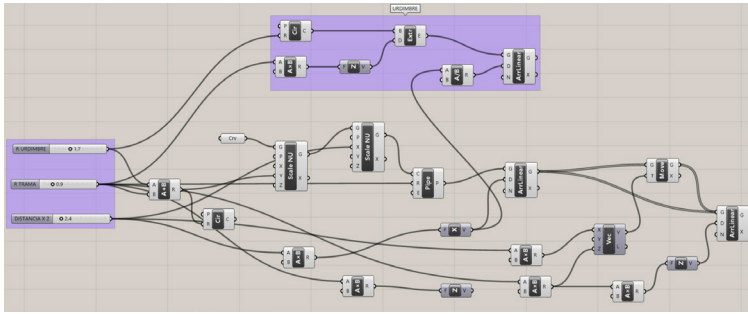


Fig. C52. Diseño de parametrización de un modelo de mimbre o materiales análogos en Grasshopper3D

3.5.2 PARAMETRIZACIÓN

Se realizan dos ejemplos de parametrización con el fin de mostrar la multitud de posibilidades que ofrece su aplicación en la cestería.

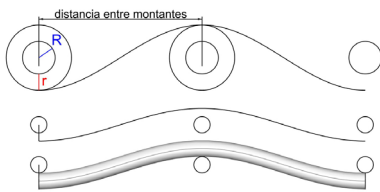


Fig. C53. Parametrización de la serie ondulada

PARAMETRIZACIÓN DE MIMBRE

Se muestra la parametrización¹¹⁵ del entretejido de cestería de mimbre o similar (Fig. C52). El entramado se compone de una serie ondulada, la trama. Como urdimbre, o estructura, se plantean cilindros verticales rígidos con dos datos paramétricos: el radio de la varilla y la distancia entre montantes.

La serie que se ondula tiene parametrizado su radio (Fig. C53 y C54). Longitudinalmente, se curva rítmicamente y hay que partir de una curvatura satisfactoria. Dependiendo del material, la curvatura puede ser continua o puede curvarse solo en algunas zonas. Una curvatura continua puede ser la curva senoidal¹¹⁶, que se asemeja a la

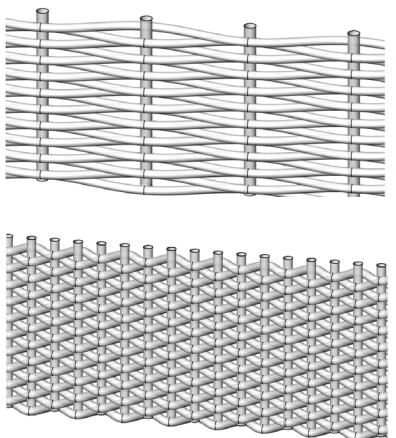


Fig. C55. Axonometría de dos resultados realizados con diferentes parámetros

115 La parametrización se realiza con el software *Grasshopper_www.grasshopper3d.com*

116 Para dibujar la curva senoidal con el software *Rhinoceros*, se puede obtener gráficamente proyectando una hélice cilíndrica sobre un plano paralelo al eje. A partir de la curva obtenida se consiguen las demás por dos simples escalas unidimensionales, referentes a la longitud de onda y a la amplitud.



Fig. C54. Planta del entramado de mimbre

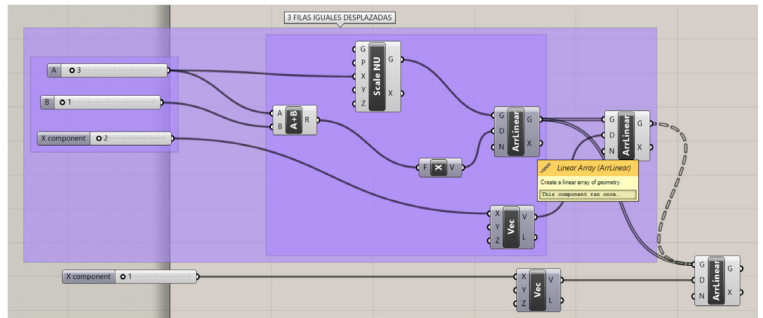


Fig. C56. Diseño de parametrización de sargas en Grasshopper3D

ondulación que toma el tejido de mimbre y algunos otros materiales análogos (Fig. C55).

PARAMETRIZACIÓN DE SARGAS

Aunque la parametrización ofrece infinidad de posibilidades para generar sargas, en este apartado se muestran dos maneras de generar sargas mediante algoritmos generativos que parametrizan las dos series que componen el entramado cuadrado.

Para conseguir patrones bicolors (Fig. C56), se parametriza la serie horizontal que se representa en blanco, mientras la serie vertical, de color cian, es el resultado de los vacíos que se forman en la horizontal (Fig. C57).

Cada cinta queda representada por las partes vistas. La parametrización atiende a¹¹⁷:

- Rectángulo visto de una cinta (1, 2, o 3 cuadrados).
- Separación entre rectángulos (1, 2, o 3 cuadrados).
- Desplazamiento de las dos siguientes filas.

Superponiendo el resultado con la serie vertical cian, queda definida la trama¹¹⁸.

El coloreado de las diferentes sargas tiene muchas posibilidades y se puede trabajar paramétricamente (Fig. C58).

117 Los tramos vistos u ocultos no conviene que sean demasiado largos, aquí llegan hasta los 3 cuadrados.

118 El código empleado en la imagen penúltima (Fig. 120) es el siguiente:
 - (3x2-2-1) En la una fila horizontal, hay 3 cuadrados vistos y 2 ocultos. La siguiente fila se desplaza 2 cuadrados y la siguiente uno más.
 - (2x2x1x2x1x2) La segunda línea del código se refiere a la serie vertical y es resultado de la horizontal.

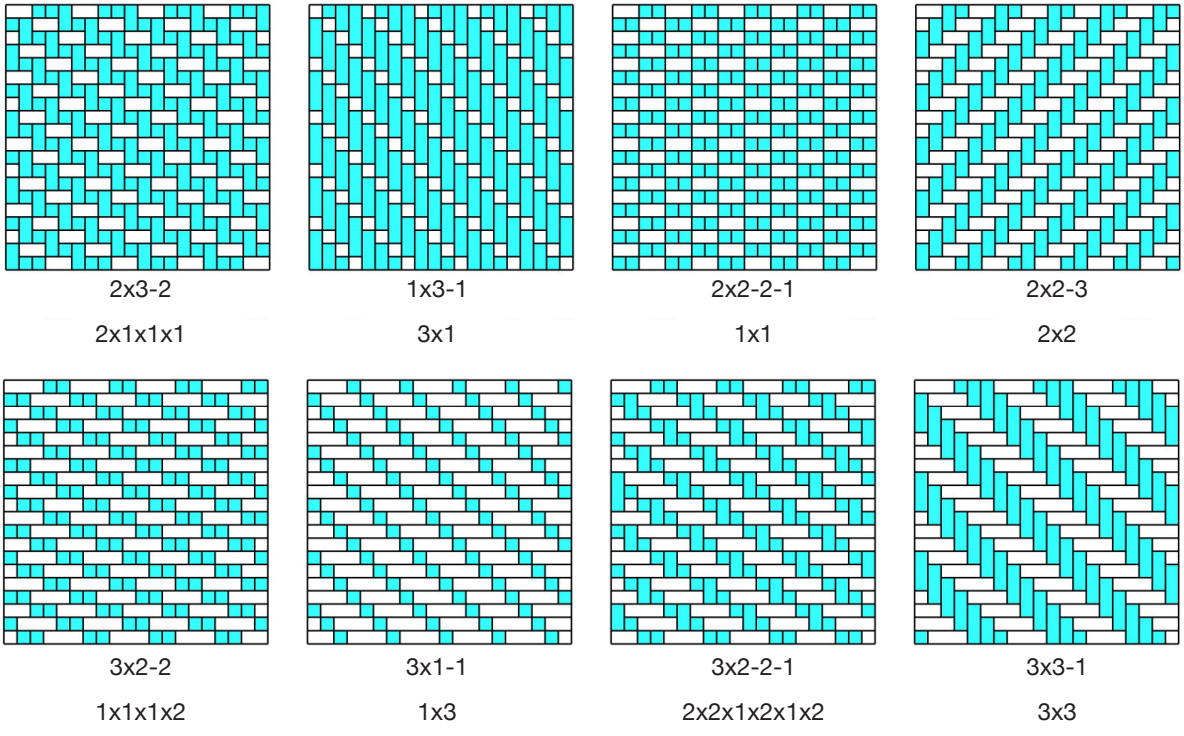


Fig. C57. Diversos resultados de tipos de sargas

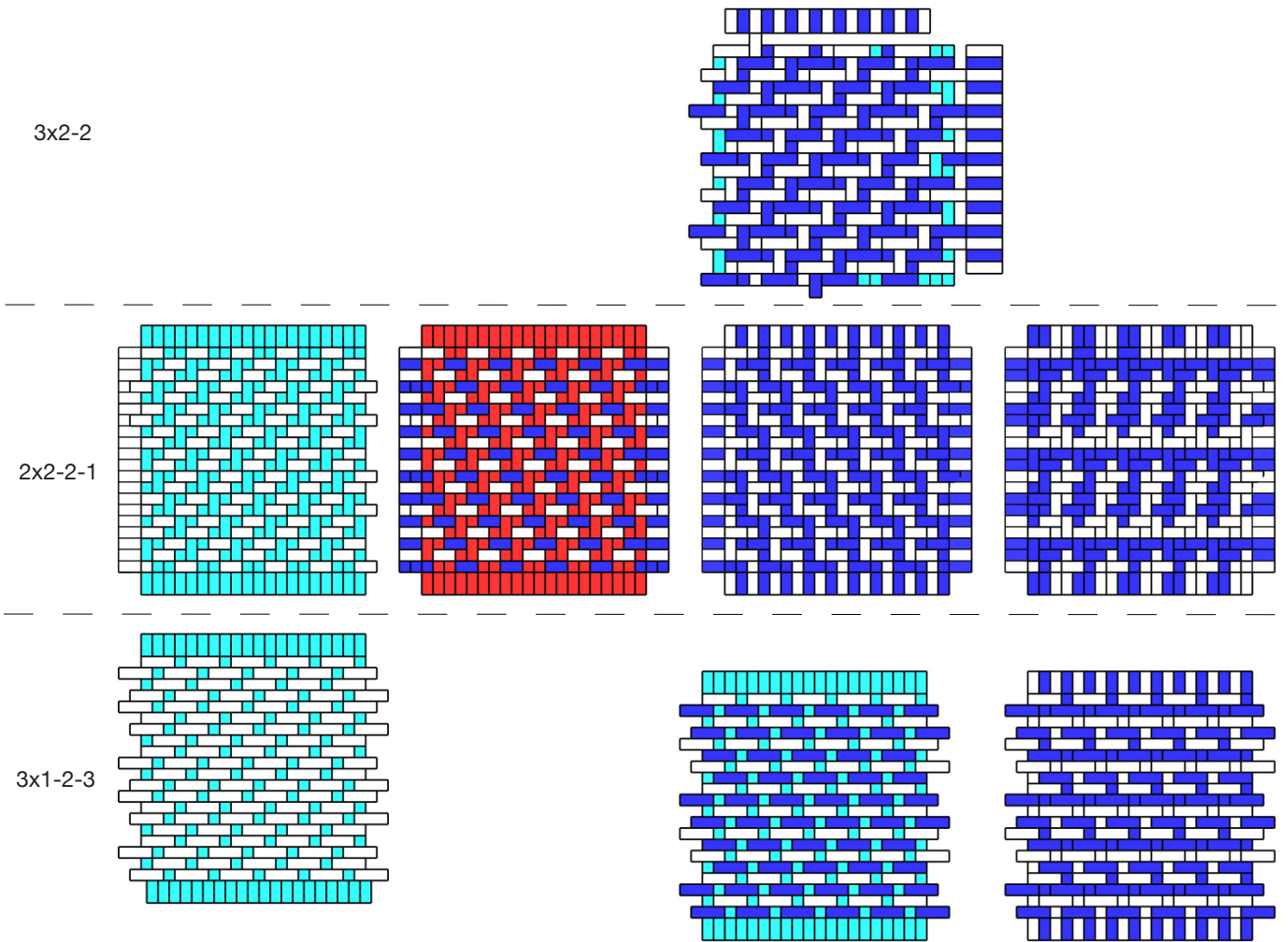


Fig. C58. Parametrización del coloreado de sargas

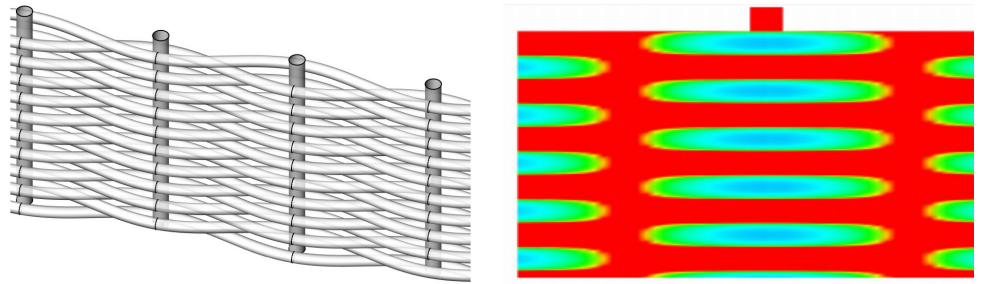


Fig. C59. Modelado y análisis de curvatura del entretejido de mimbre

3.5.3 ANÁLISIS DE LA CURVATURA

El software *Rhinoceros* permite obtener el radio de curvatura en cada punto del modelo. Este recurso permite visualizar por medio de colores los puntos críticos donde los radios de curvatura no van a poder ser absorbidos por el material¹¹⁹ (Fig. C59 y C60). En función de las características mecánicas del tipo de material, se podrá ejecutar esa forma o no. A la inversa, si se quiere forzar la ejecución de una forma habrá que elegir el material apropiado.

El caso de esta investigación, la tira plana de castaño, tiene mayor complejidad que el entrelazado con mimbre. Las tiras planas permiten infinidad de tramas con 2, 3 o más tiras. Primero, hay que parametrizar diferentes tramas con Grasshopper y, después, se puede hacer una evaluación inicial de la curvatura de esa trama para el material elegido. La parte más crítica se produce cuando la trama ha de adaptarse a la forma geométrica deseada. Con Grasshopper se puede llevar a limitar las curvaturas para que la forma se adapte a las características mecánicas del material (Fig. C61).

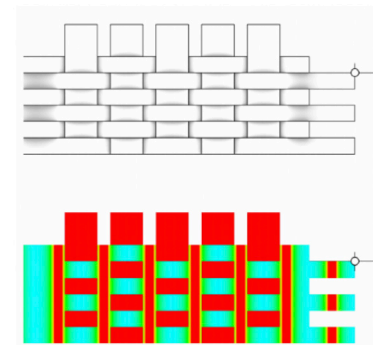


Fig. C61. Análisis de curvatura de un entretejido con TPMC

¹¹⁹ El color rojo indica zonas donde la curvatura es nula, y por tanto cualquier material es apropiado. El color va cambiando a amarillo, verde, azul claro (Fig. C59 y Fig. C61) y hasta a azul oscuro (Fig. C60), donde se da la curvatura máxima que marca las zonas más críticas para el material.

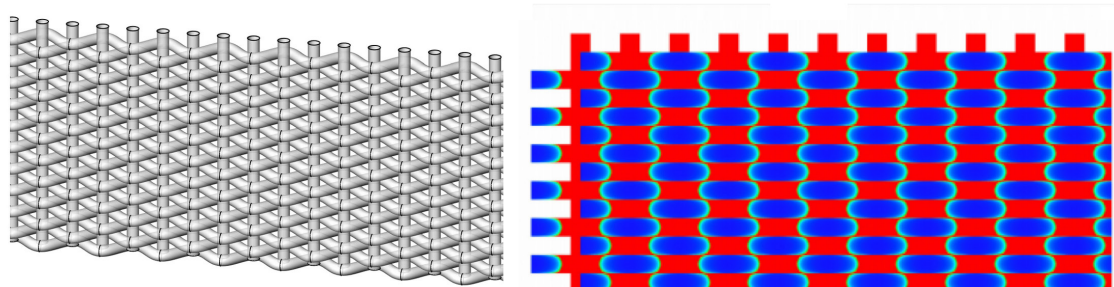


Fig. C60. Modelo entretejido con material de máxima flexibilidad, por ejemplo, materiales sintéticos

4

4	ARTEFACTOS. ESTUDIO DE CASOS	109
4.1	MATERIAL	109
	Tira plana de madera de castaño (TPMC)	109
	Ensayo del material	110
4.2	FORMAS GEOMÉTRICAS ENTRETEJIDAS	120
	Estructura árbol:	114
	Rama 01: Plano (tramas)	117
	Rama 02: Cilindro	118
	Rama 03: Cono	119
	Rama 04: Esfera	122
	Rama 05: Poliedros	123
	Rama 06: Combinados	124
	Rama 07: Otras formas referentes	125
4.3	ELECCIÓN DE CASOS PARTICULARES DE ESTUDIO	126
4.4	MÉTODO SECUENCIAL	130



Fig. D01. Juan Zabaleta “Txistu”, uno de los últimos cesteros vascos. Nuarbe 2012. Foto.: Javier Carballo Berazadi

4. ARTEFACTOS. ESTUDIO DE CASOS

En este capítulo, se van a construir un conjunto de artefactos entretejidos con tira plana, con el objetivo de experimentar, estudiar y entender la manera de entretejer diferentes formas geométricas con diversas tramas, para poder crear nuevas formas entretejidas.

El estudio de las arquitecturas entretejidas, la cestería y la geometría de superficies ha sido tratado en los tres capítulos primeros de la tesis. Dichos capítulos representan los tres pilares sobre los que se apoya el estudio de los artefactos que se estructuran en el presente capítulo.

4.1. Material

TIRA PLANA DE MADERA DE CASTAÑO (TPMC)

El material utilizado en este estudio es la tira plana de madera de castaño. La cestería de TPMC, ha sido la más representativa de Euskal Herria, pero, a su vez, es una actividad que prácticamente ha desaparecido (Fig. D01). Se opta por este material porque, además de ser un material local y adecuado para generar formas entretejidas tradicionales, desde el punto de vista de la preservación patrimonial, resulta también interesante plantear el uso actualizado de la TPMC en el estudio y confección de los artefactos que se quieren investigar en la presente tesis.

Este material es empleado en un contexto más amplio en otras partes del mundo, como en Turquía, Inglaterra o Chile. En España, el libro de Carlos Fontales, basado en investigaciones etnográficas, realiza un interesante análisis de la cestería. Clasifica las técnicas por los materiales empleados, y a la técnica desarrollada en Euskal Herria

la llama “madera rajada”, por la técnica de obtención y tratamiento previo del material (Fontales, 2013).

La cestería en Euskal Herria ha servido para construir muchas partes de los edificios tradicionales, como tabiques, cierres y mobiliario, al menos desde el Neolítico. Pero uno de los grandes problemas es que este “saber hacer” está al borde de la extinción. El conocimiento y las técnicas se han transmitido de generación en generación y no hay registro documental suficiente para preservar íntegramente este Patrimonio. En la actualidad esta cestería se basa principalmente en el entrecruzamiento de tiras planas de castaño (Amorós Oskoz, 1998). Esta madera, fuerte y resistente, aguanta perfectamente la humedad; por ello, ha sido empleada para postes o piezas que tengan que estar sumergidas. En condiciones extremas de humedad, este material puede llegar a corroer el hierro clavado en él.

Desde el estado natural del árbol hasta la obtención del artefacto entrelazado construido, el artesano pasa por tres fases principales. Estas fases serían: el corte, el procesado hasta obtener las tiras planas y, por último, los cuidados y las técnicas para la construcción del objeto. El corte del castaño para la cestería entrelazada se realiza en intervalos de 6-7 años, cuando ha alcanzado unos 12-15 cm de diámetro. Tras ello se sumerge en un pozo de agua durante unos tres años. Una característica destacable del castaño que lo hace especialmente interesante para la cestería es su capacidad de rebrotar de cepa. Puede mantenerse, aproximadamente, hasta los ochenta años. Igual que otras fibras naturales como el bambú, no se ha de cortar en el período de crecimiento. Para obtener las tiras planas de castaño, se extraen las ramas de castaño sumergidas en el pozo de agua y se raja la madera en diversas tiras (Fig. D02). Para facilitar la tarea se suele usar la técnica al fuego o en caliente en el mismo horno donde se hace el pan. La madera se va cociendo gracias a la humedad que va desprendiendo por medio del vapor. Esta cocción suele dejarse entre 20 y 40 minutos. Tras ello, el artesano va sacando de una en una las tiras de castaño, accionándolo a modo de palanca. Después cepilla cada tira para dejarla perfectamente lisa (Fig. D03). En la última fase, para construir el objeto entrelazado, es recomendable sumergir previamente las tiras de castaño en agua. De esta manera, el material es más flexible en la manipulación y mantiene mejor la curvatura impuesta para obtener la forma geométrica deseada.



Fig. D02. Madera rajada, Juan Unzueta



Fig. D03. Juan Unzueta, cestero de Durango

Aunque los artesanos tienen unas formas de manipulación del material basadas en técnicas de prueba-error, es recomendable conocer las características mecánicas del material para calcular las curvaturas máximas y los radios mínimos a los que se va a poder manipular la tira sin romperse. Con estos datos, se puede prever y simular, en un modelo digital previo, si la nueva forma entretejida propuesta va a poder confeccionarse sin problemas.



Fig. D04. Ejemplo de rotura de algunas probetas del sistema

ENSAYO DEL MATERIAL

Aunque el castaño tiene unas propiedades mecánicas reconocidas (REF de GOB VASCO, y otras de Sustainability). La TPMC, extraída con técnicas tradicionales en función de su espesor y grosor, tiene unas propiedades mecánicas que se han analizado previamente para este estudio concreto (Casado et al., 2021).

Además de conocer su capacidad de curvado en condiciones naturales, como se ha podido observar a los artesanos, parece que el material funciona mejor cuando se calienta y se moja. Como esta práctica que realizan los artesanos no tiene una base científica, se ha realizado un ensayo para probar si es cierto que calentar o mojar el material permite trabajar mejor con él.

Por un lado, se ha calentado a diferentes temperaturas para ver como varían sus propiedades mecánicas a tracción. Se trata de probar que al calentar la madera esta se convierte en más rígida y se puede rasgar más fácil, lo que favorecería su manipulación al extraer la tira de la rama de castaño. Por otro, se han mojado las tiras de castaño para demostrar que el material mojado es más flexible y permite adaptarse a menores radios de curvatura para facilitar la confección de nuevas formas.

Los ensayos han constado de dos etapas: una primera experimental en laboratorio, para analizar las propiedades mecánicas a tracción, y una segunda donde se han ensayado la flexibilidad, la curvatura, y la capacidad para mantener la forma impuesta.

Para realizar los ensayos, se han utilizado tiras planas de castaño de la zona. Las tiras de madera natural se confeccionan por artesanos locales en producciones reducidas. Suelen tener un grosor y un ancho variables. Las dimensiones de trabajo de las tiras habituales en los modelos 3D se acercan a un ancho de 20 mm y un espesor

aproximado de 1 mm. La longitud de la tira y la forma va a variar con el tipo de ensayo a realizar.

No existe una norma específica para ensayar este material concreto. Por ello, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en las principales colecciones de artículos científicos (Web of Science, Scopus y Google Scholar). No se ha encontrado un artículo que se ajuste a las condiciones de esta investigación, donde se analicen las propiedades mecánicas de tiras planas de madera con tratamientos de inmersión en agua y calentamiento. Hay muchos artículos que analizan las propiedades mecánicas de la madera en relación con la humedad y la temperatura, pero en la mayoría de los casos son ensayos para elementos estructurales de mayor sección. Tampoco hay artículos que analicen la flexibilidad y el radio de curvatura mínimo de este tipo de muestras.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos del ensayo de propiedades mecánicas¹²⁰, se ha podido prever las curvaturas de las tiras en los modelos que se van a estudiar a continuación.

4.2. Formas geométricas entreteljadas estudiadas

Tras analizar previamente las características del material a utilizar, se ha estructurado la casuística asociada a unas formas geométricas concretas, lo que permitirá estudiar diferentes formas geométricas entreteljadas. Se va a comenzar analizando el entreteljado de las formas geométricas básicas. A continuación, se analizarán el entreteljado de diferentes poliedros y las combinaciones entre diferentes figuras básicas. Finalmente, se estudiarán otras formas referentes en cestería.

a) Formas geométricas básicas:

- Plano
- Cilindro
- Cono
- Esfera
- Poliedros (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro, icosaedro)

¹²⁰ El método y los resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa se incluyen de manera pormenorizada en el Anexo de esta tesis.

b) Combinaciones de formas geométricas

- Cono-cilindro
- Cono- cono

c) Otras formas referentes

- Shikainami (Japón)

Teniendo en cuenta que esta tesis tiene un carácter docente en el área de Expresión Gráfica Arquitectónica, la estructura y organización de los casos estudiados se ha plasmado en un formato gráfico. Se ha planteado una estructura con forma de árbol con silueta de *Castanea Sativa*¹²¹ (Chanes, 2002) (Fig. D05).

La estructura-árbol que se ha ilustrado¹²² representa la estructura de las geometrías finalmente utilizadas para la generación de los 19 artefactos que se han construido con entretrejido de TPMC. Las ramificaciones de la estructura de casos que se plantea quedan claramente definidas en este esquema gráfico.

A su vez, la ilustración del árbol muestra el ámbito que abarca la investigación de la tesis. Las arquitecturas entretrejidas, la cestería y la geometría de superficies, que corresponden a los tres capítulos primeros de la tesis, son las tres raíces donde se sustenta la estructura del árbol. El tronco crece verticalmente, hacia la docencia en el grado de fundamentos en arquitectura, enfocado a crear nuevas formas entretrejidas para la arquitectura.

Los artefactos que se han realizado para esta investigación se han clasificado y se han agrupado en diferentes ramas siguiendo una lógica ascendente.

Las ramas más bajas, es decir, las primeras, corresponden a las formas geométricas básicas: plano, cilindro, cono y esfera.

La rama siguiente muestra las figuras de los poliedros regulares. Las

121 *Castanea Sativa* o castaño: árbol caducifolio que forma parte de los bosques autóctonos de Euskal Herria y que ha servido de material a la cestería vasca, gracias a su capacidad de rebrotar de cepa.

122 Al final del capítulo introductorio, se muestra la ilustración de la estructura-árbol a mayor escala.

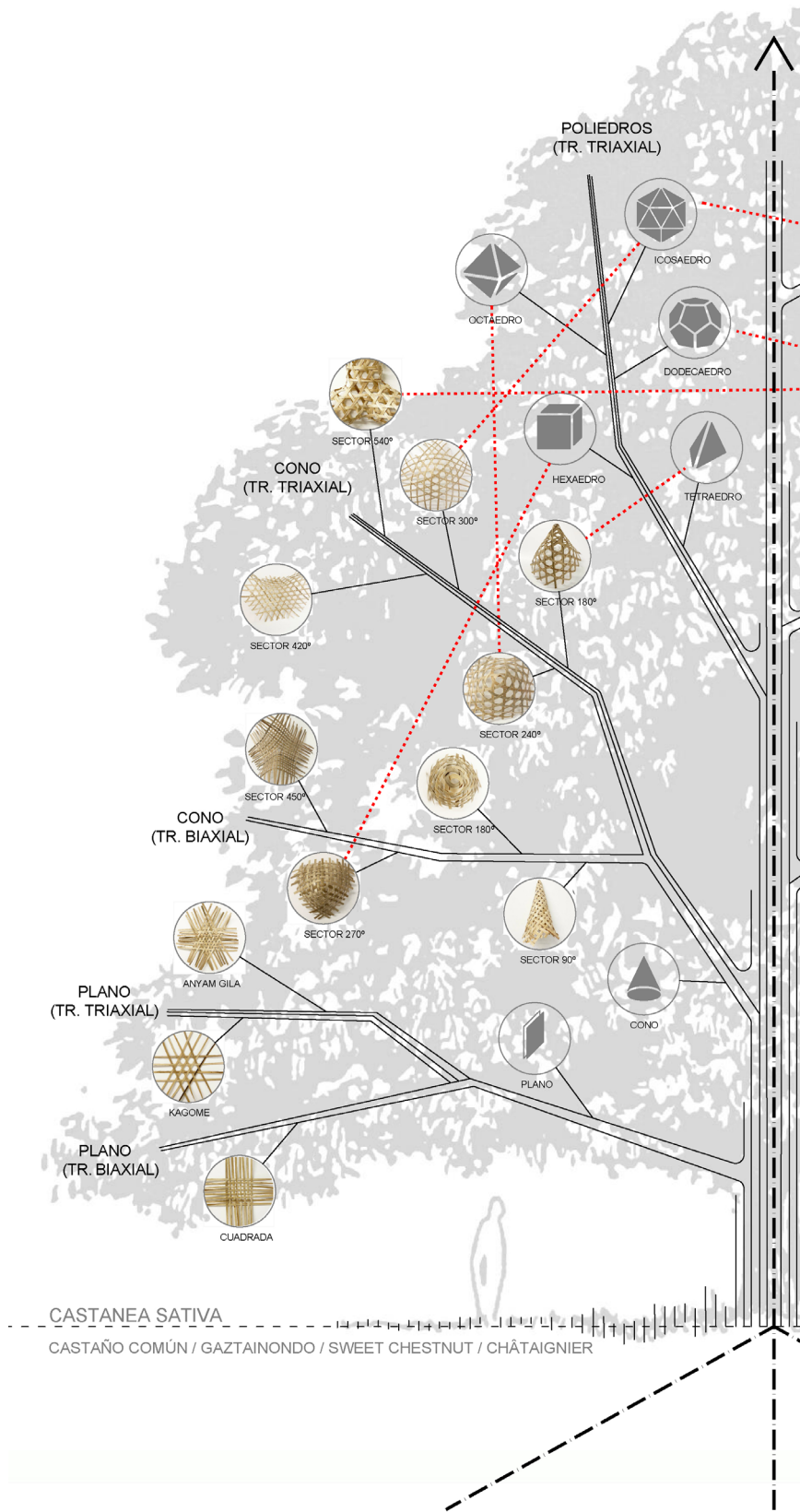
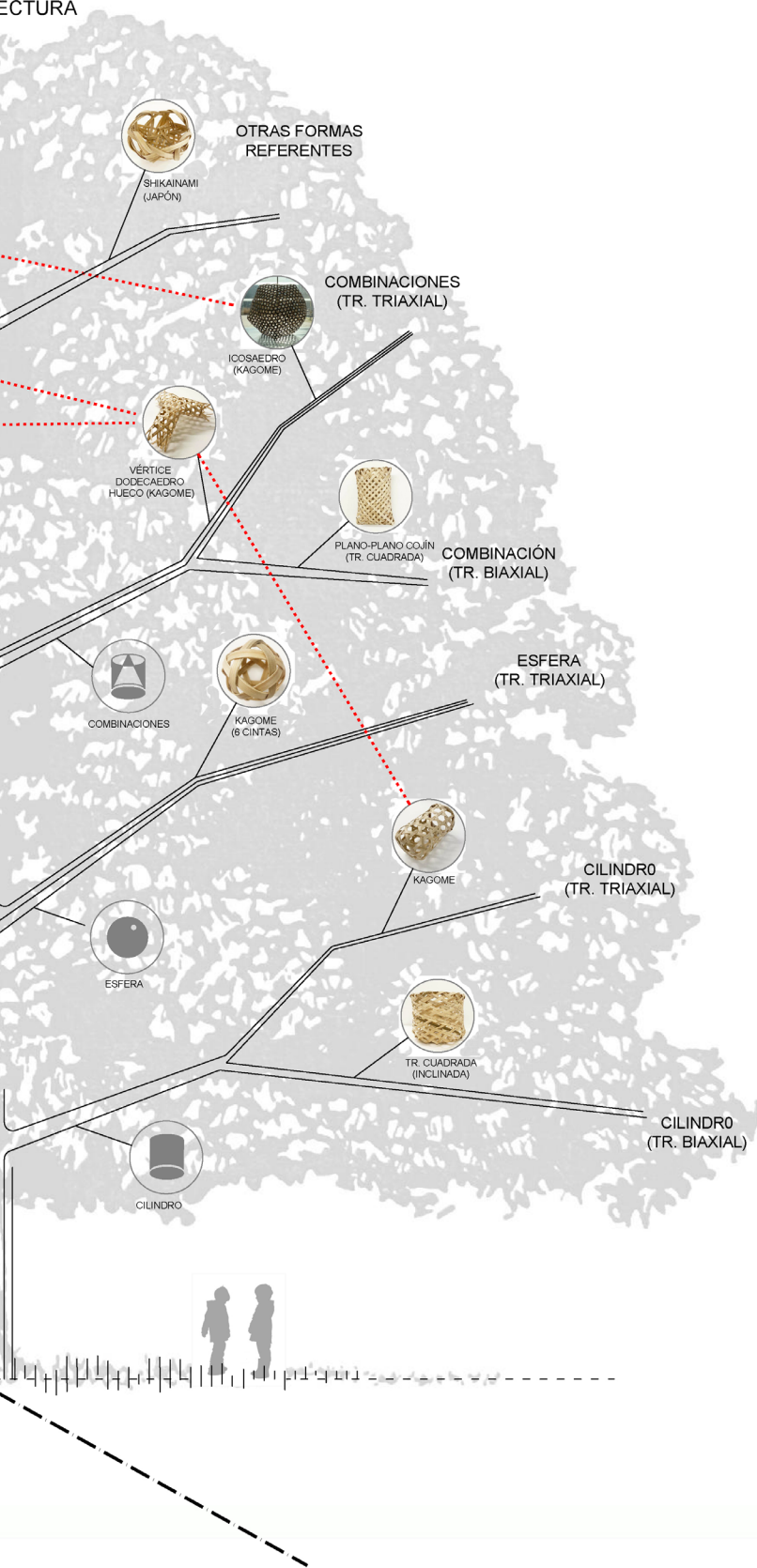


Fig. D05. Estructura árbol. Esquema gráfico que muestra el ámbito de la tesis

01
ARQUITECTURAS
ENTRETEJIDAS

02
CESTE
PASADO, PRESEN



OTRAS FORMAS
REFERENTES

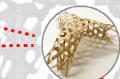


SHIKAINAMI
(JAPÓN)

COMBINACIONES
(TR. TRIAXIAL)



ICOSAEDRO
(KAGOME)



VÉRTICE
DODECAEDRO
HUECO (KAGOME)



PLANO-PLANO COJÍN
(TR. CUADRADA)

COMBINACIÓN
(TR. BIAxIAL)



COMBINACIONES



KAGOME
(6 CINTAS)

ESFERA
(TR. TRIAXIAL)



KAGOME

CILINDRO
(TR. TRIAXIAL)



ESFERA



TR. CUADRADA
(INCLINADA)

CILINDRO
(TR. BIAxIAL)



CILINDRO

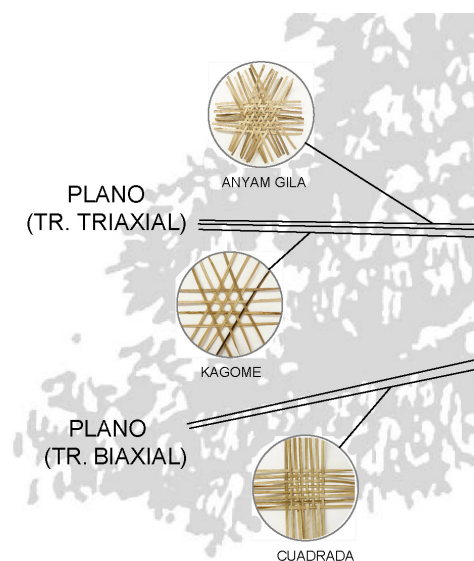


ramas más altas corresponden a la agrupación de “combinación de formas básicas” y “otras formas referentes”.

Tal y como se muestra en la ilustración, existen conexiones entre ramas¹²³. Por ejemplo, en cestería, la mayoría de los poliedros regulares se generan mediante la combinación de diferentes conos¹²⁴. Por tanto, los diferentes vértices de los poliedros entretejidos se vinculan con diferentes conos (Fig. 126). Por ejemplo, con el cono de sector 300° se puede construir un icosaedro, es por ello que, en la ilustración de la estructura-árbol, la figura del icosaedro aparece conectada con dicho cono.

A continuación, se va a pormenorizar la descripción de la casuística estudiada, comenzando por las formas planas y ascendiendo hasta formas más complejas. Todas ellas organizadas por números de ramas:

- Rama 01: PLANO (TRAMAS)
- Rama 02: CILINDRO
- Rama 03: CONO
- Rama 04: ESFERA
- Rama 05: POLIEDROS
- Rama 06: COMBINADOS
- Rama 07: OTRAS FORMAS REFERENTES

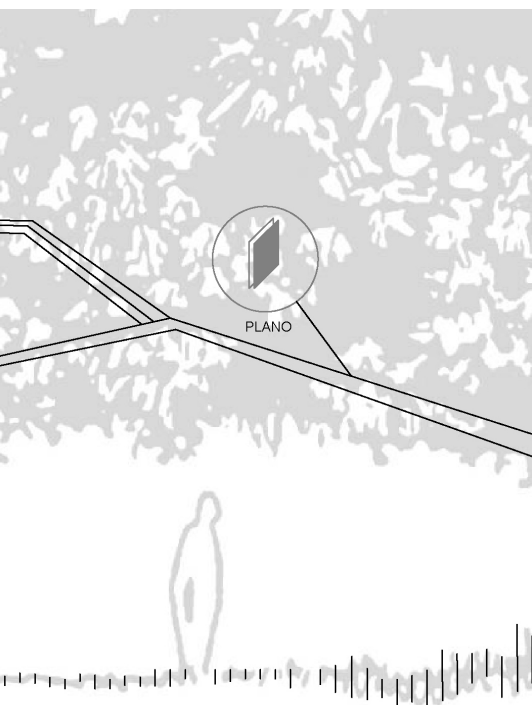


¹²³ Las conexiones entre ramas se indican con líneas rojas discontinuas.

¹²⁴ Como se ha podido comprobar en el capítulo anterior, en cestería, en los vértices de los poliedros se crean formas cónicas, consecuentemente, una manera de generación de los poliedros se basa en la combinación de conos.



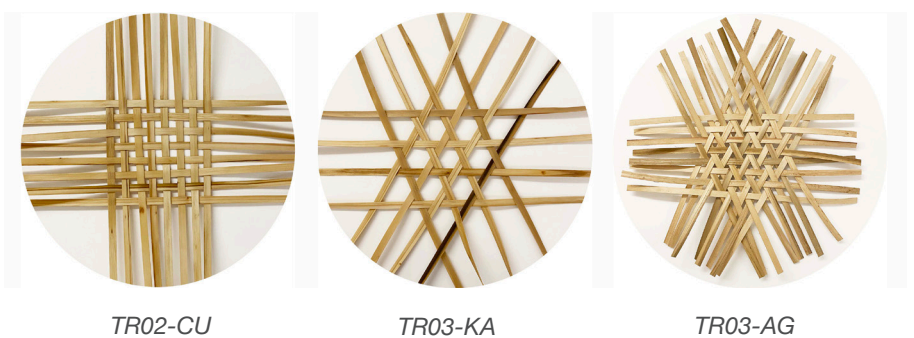
Rama 01: PLANO (TRAMAS) - - - - -



Esta rama agrupa diferentes ejemplos de entretejido plano muy utilizados en cestería de tira plana. Se han construido tres artefactos planos que representan las tres tramas que se han mostrado anteriormente.

La trama cuadrada de dos series es la más sencilla. La trama *kagome* y la *anyam gila* son de tres series, y es esta última la más complicada de ejecutar y representar.

- TR02-CU: Trama cuadrada (trama biaxial)
- TR03-KA: Trama *kagome* (trama triaxial)
- TR03-AG: Trama *anyam gila* o *mad wave* (trama triaxial)



TR02-CU

TR03-KA

TR03-AG



Rama 02: CILINDRO-----

En esta rama se recogen las formas cilíndricas. Se han construido dos artefactos que representan dos casos significativos de entretejer cilindros con tira plana. Como primer caso, se ha confeccionado un cilindro con una trama de dos series inclinada y, como segundo caso, se ha entretejido con una trama de tres series, *kagome*, con la dirección de los hexágonos paralela al eje del cilindro.

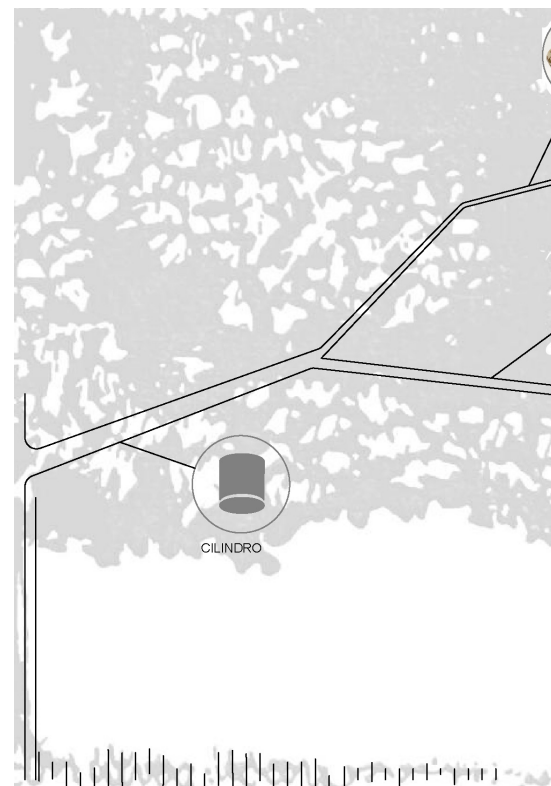
- CI02-CU-01: Trama cuadrada inclinada (trama biaxial)
- CI03-KA-01: Trama *kagome* (trama triaxial)

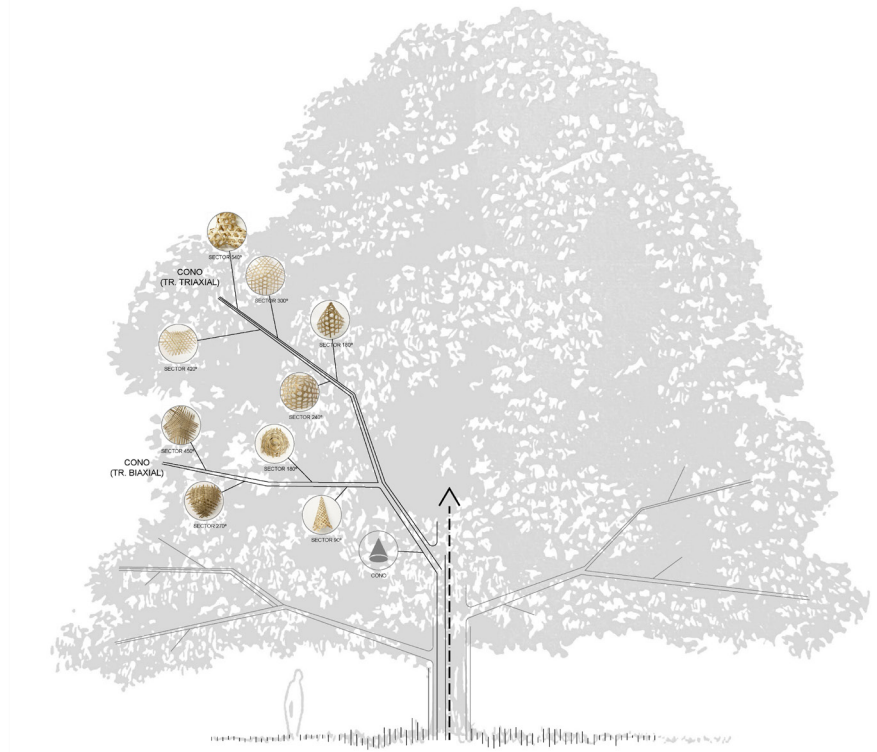


CI02-CU-01



CI03-KA-01



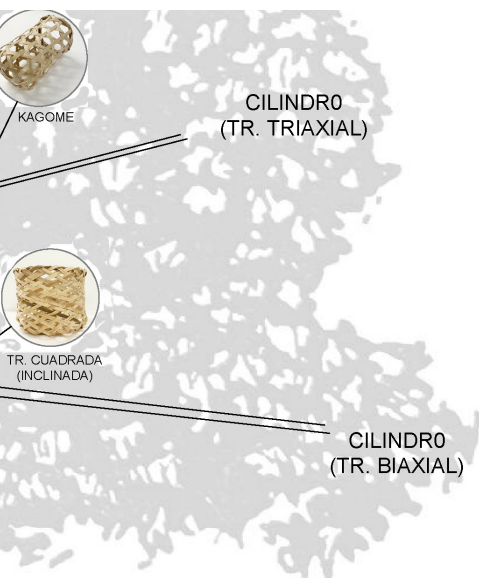


Rama 03: CONO -----

En esta rama se recogen diferentes formas cónicas. En el capítulo tercero, donde se ha tratado la geometría de superficies entretejidas, se ha mostrado que las formas geométricas básicas, al confeccionarlas de manera entretejida, han de construirse con una deformación formal que implica el uso reiterado y habitual del cono. Es por ello que esta rama es la que contiene más ejemplos de artefactos. A su vez, dicha rama se ramifica en dos tipos de entretejidos, uno compuesto por la trama, de dos series y cuadrada, y el otro, por la trama de tres series *kagome*. Cada rama recoge un conjunto de formas cónicas diferente debido a que cada trama permite la construcción de distintos conos.

Se han construido los siguientes nueve conos, cuatro de ellos con trama de dos series y cinco de ellos con trama de tres series. Los cinco conos entretejidos con trama biaxial cuadrada son:

- CO02-CU-01: Sector 90°
- CO02-CU-02: Sector 180°
- CO02-CU-03: Sector 270°
- CO02-CU-03: Sector 450°





CO02-CU-01_90°



CO20-CU_02_180°



CO02-CU_03_270°

Los conos entretejidos con trama cuadrada componen conos de sectores múltiplos de 90°. En el cono de sector 90° las cintas geodésicas se cierran, es decir, una misma cinta geodésica llega a cruzarse consigo misma. En el resto de los conos, las cintas geodésicas no se cierran.

Los conos de sector < 360° tienen curvatura positiva y se les denomina posiconos.

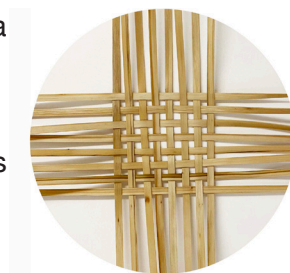
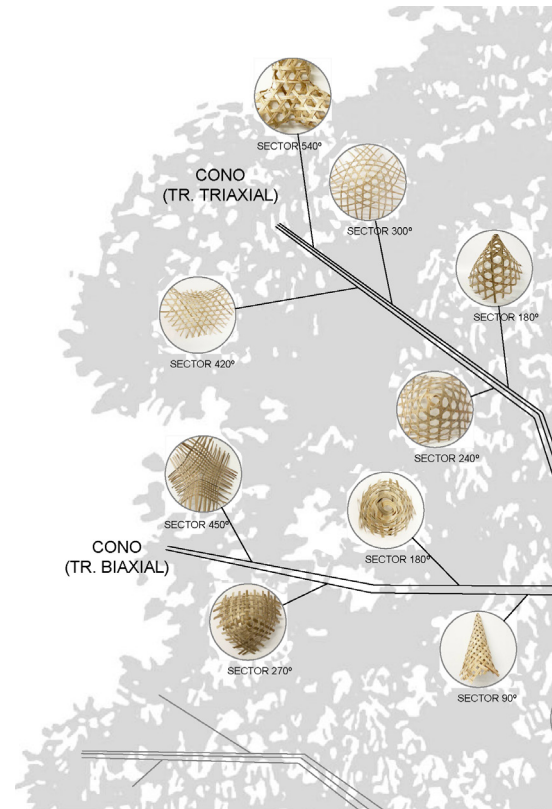
El cono sector = 360° no tiene curvatura¹²⁵, es una superficie plana igual a la trama cuadrada (TR02-CU).

Los conos de sector > 360° tienen una curvatura negativa y se les denomina negaconos.

Los cinco conos entretejidos con trama triaxial *kagome* son:

- CO03-KA-03: Sector 180°
- CO03-KA-04: Sector 240°
- CO03-KA-05: Sector 300°
- CO03-KA-07: Sector 420°
- CO03-KA-04: Sector 540°

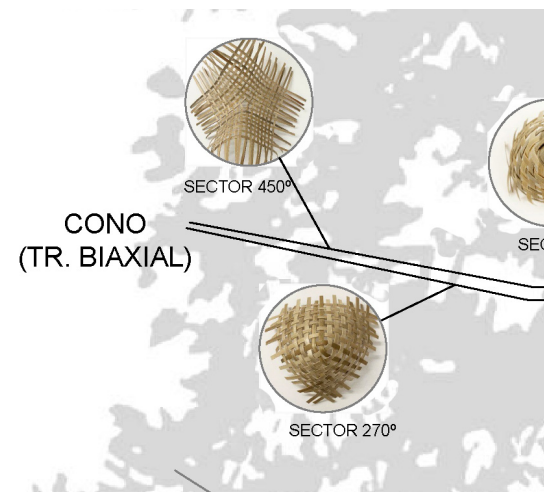
A diferencia de los conos de trama cuadrada, los conos entretejidos con trama *kagome* componen conos de sectores múltiplos de 60°. En la trama *kagome*, igual que en la trama cuadrada, los conos de sector < 360° tienen curvatura positiva y también se denominan posiconos.



CO02-CU-04_360°

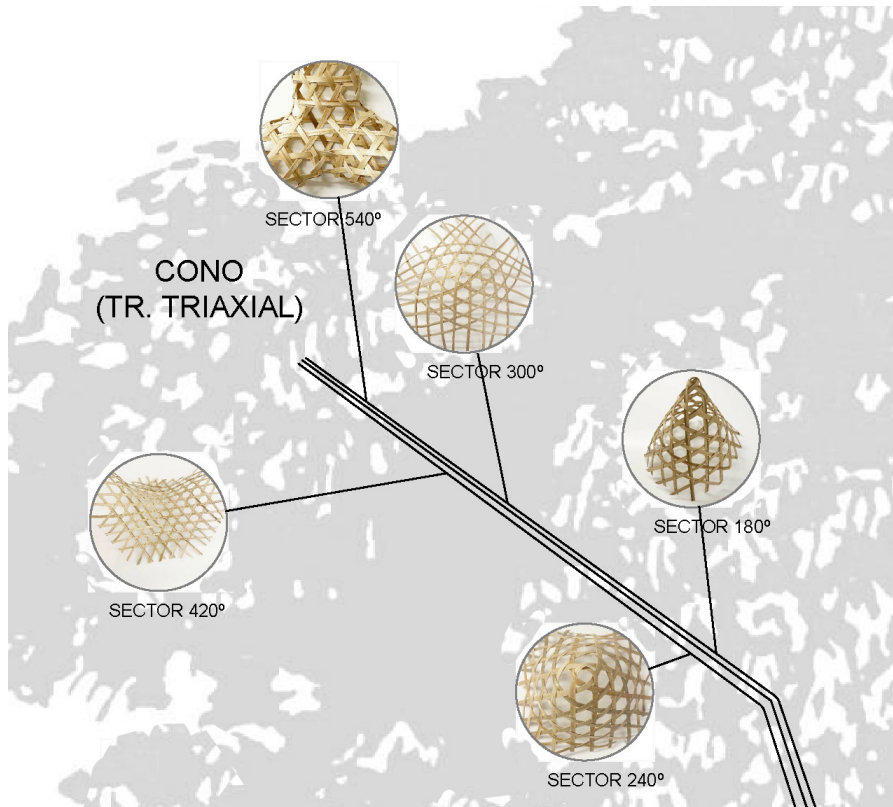


CO02-CU_05_450°



CO03-KA-04_360°

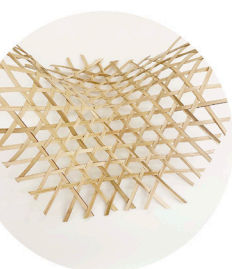
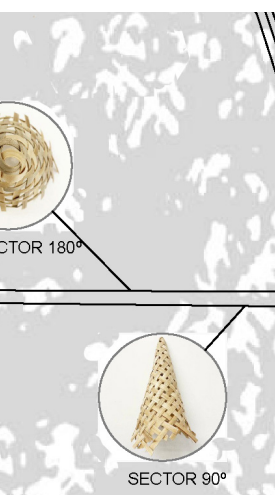
¹²⁵ Al cono de sector 360° de trama cuadrada se le ha denominado CO02-CU-04 y es igual a la trama TR02-CU de la rama 01.



CO03-KA-01_180°

CO03-KA-05_420°

CO03-KA-06_540°



CO03-KA-05_420°



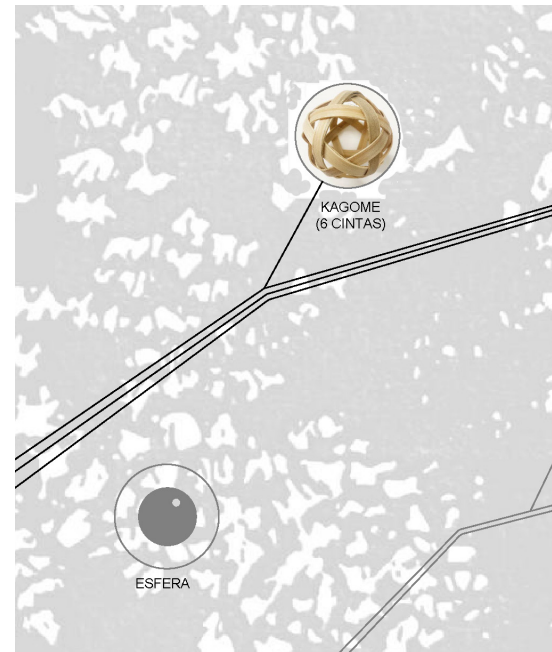
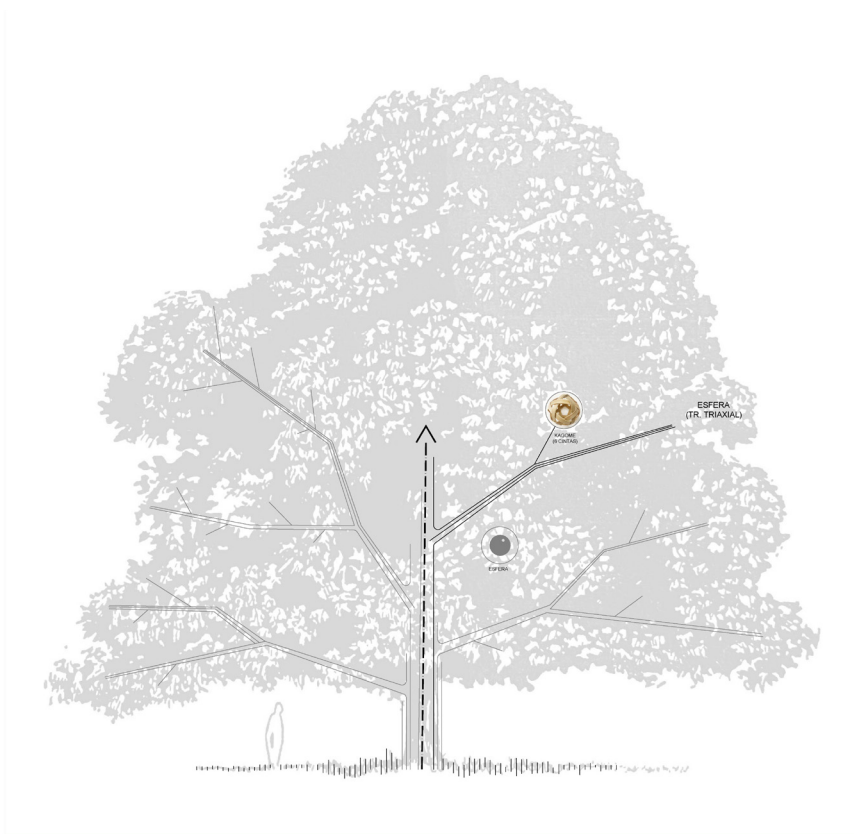
CO03-KA-06_540°

Los conos de sector $> 360^\circ$ tienen una curvatura negativa y se les denomina negaconos.

El cono sector = 360° no tiene curvatura, es una superficie plana igual a la trama *kagome* (TR03-KA)¹²⁶

Entre los conos que se han confeccionado en este apartado, las cintas geodésicas no se cierran, es decir, una cinta no se cruza con ella misma.

¹²⁶ Al cono de sector 360° se le ha denominado CO03-KA-06 y es igual a la trama TR03-KA de la rama 01.



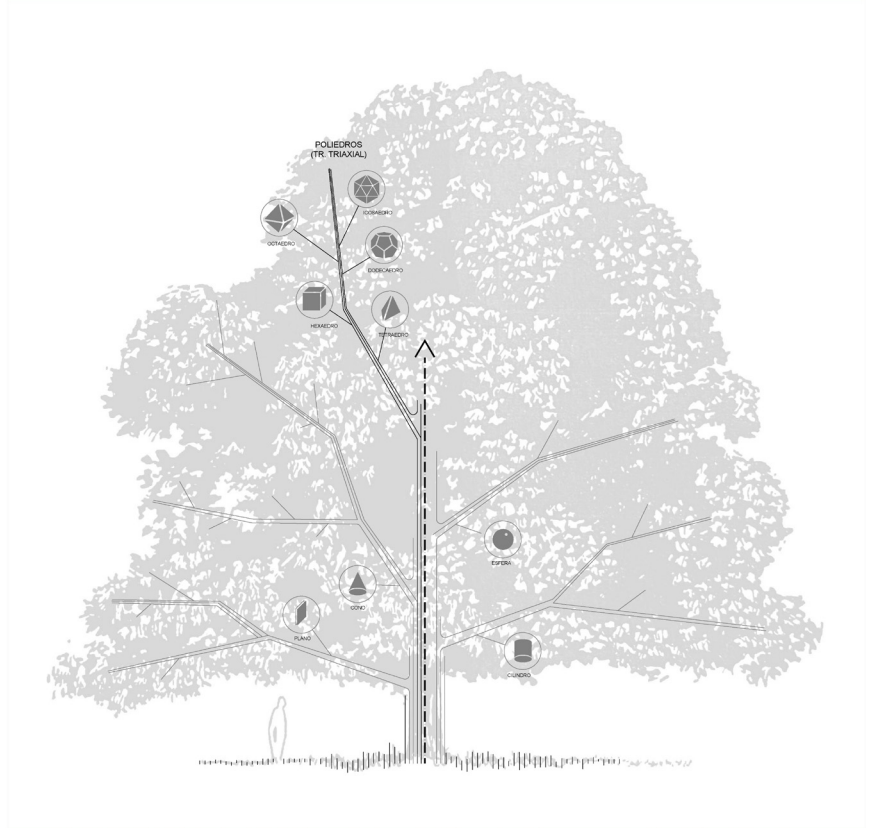
Rama 04: ESFERA -----

La esfera no es una forma muy habitual en cestería y tampoco es fácil de combinar con otras formas geométricas. Por tanto, se ha construido una esfera sencilla, sin gran complicación, para comprobar que la TPMC permite confeccionarlas. La trama de tres series es más adecuada que la de dos series para su construcción, ya que las tres direcciones cubren mejor la superficie esférica. Por tanto, se ha decidido realizar una esfera sencilla con trama *kagome*, que tenga un número de huecos mínimos.

- ES03-KA-01: *Kagome*



ES01-KA-01

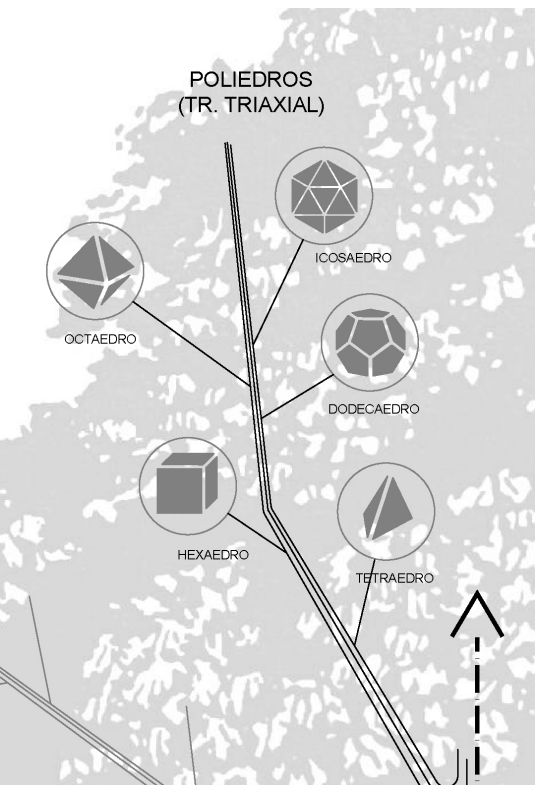


Rama 05: POLIEDROS - - - - -

La rama de los poliedros representa gráficamente los principales poliedros regulares. Dicha rama no muestra artefactos entrelazados, sino que sirve de apoyo para relacionar visualmente los diferentes conos con la generación de diferentes poliedros.

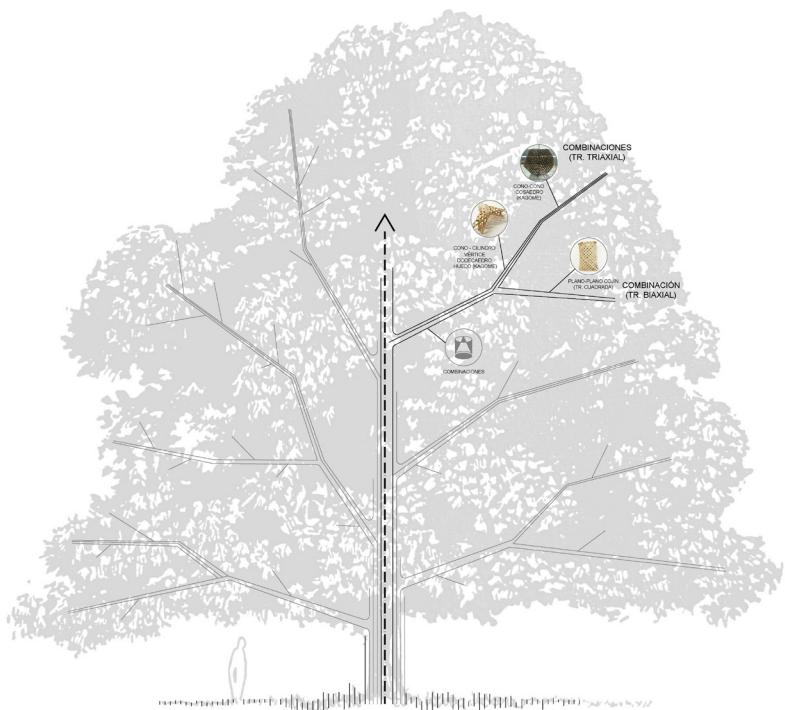
Como se ha podido comprobar en el capítulo 03, cabe destacar que las formas geométricas poliédricas no se componen de conos. Sin embargo, cuando se entrelazan dichas formas, su forma deriva en una combinación de conos. Los poliedros confeccionados con cestería tienen las aristas redondeadas.

Los poliedros regulares que se han plasmado de manera representativa son:



- Tetraedro
- Cubo (Hexaedro)
- Octaedro
- Icosaedro
- Dodecaedro

En las conexiones que se indican en la estructura-árbol, cada poliedro se relaciona con un cono de sector concreto. Las conexiones significan que con el cono que se indica se puede confeccionar el poliedro con que se conecta. El dodecaedro no tiene ningún cono asociado porque sus caras pentagonales no son compatibles con las



Rama 06: **COMBINADOS** -----

La rama de las combinaciones muestra tres artefactos que se han generado mediante la combinación de diferentes formas. Se ha experimentado con una combinación entre planos, con otra entre cono y cilindro y, por último, con una entre conos.

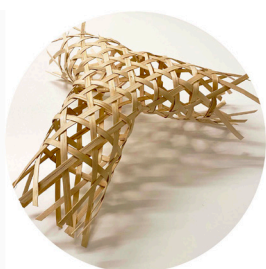
- COM-PP-CU-01: Plano-plano (trama cuadrada)
- COM-COCO-KA-01: Cono-cono (icosaedro *kagome*)
- COM-CICO-KA-01: Cilindro-cono (dodecaedro *kagome*)



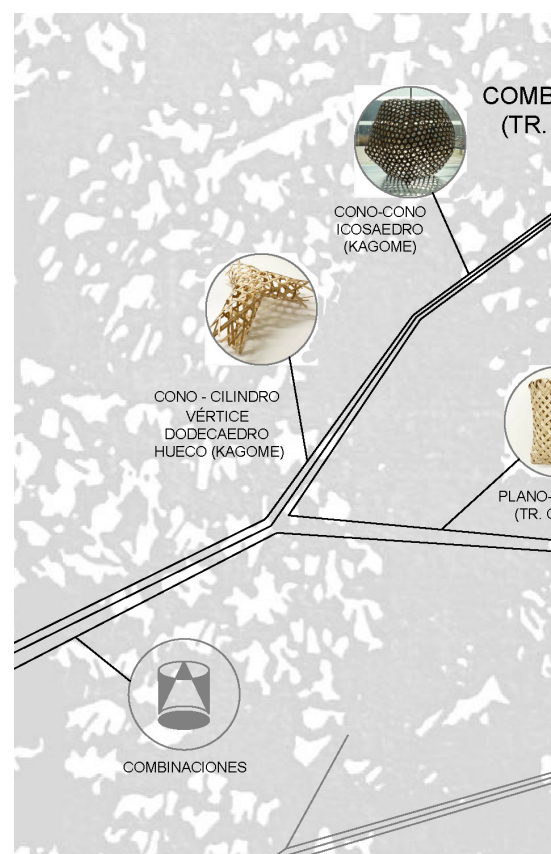
COM-PP-CU-01

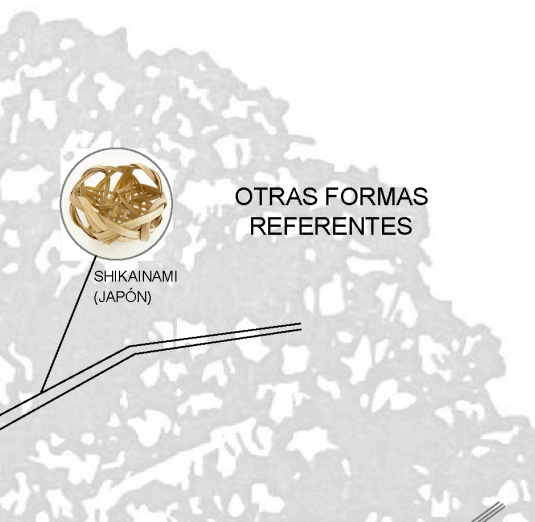


COM-COCO-KA-01



COM-CICO-KA-01





Rama 07: OTRAS FORMAS REFERENTES -----

Como se ha podido ver, Japón es un referente en la evolución de la cestería hacia nuevas formas y, en la mayoría de los casos, la cestería de bambú es la protagonista. La cestería de bambú, igual que la de castaño, se trabaja con tira plana.

Aunque se han estudiado múltiples referencias bibliográficas en todo el mundo, se ha querido confeccionar una adaptación de una forma tradicional japonesa que se entretroje habitualmente con tira plana de bambú. En este caso, la cesta ha sido confeccionada con TPMC, con el fin de comprobar que el material permite una versatilidad que va más allá de las formas tradicionales de la cestería en Euskal Herria. Por tanto, esta última rama de la estructura-árbol se compone por la cesta japonesa shikainami realizada con TPMC:

- JA01-CU-01: Cesta japonesa (shikainami)



JA01-CU-01



4.3. ELECCIÓN DE CASOS PARTICULARES DE ESTUDIO

Tras la investigación previa realizada en los tres primeros capítulos y la experimentación realizada en la confección de los 19 casos indicados, en este apartado se muestra el análisis de cinco casos particulares. Los casos se estudian mediante la aplicación del método que se propone en la presente tesis, y que se describe más adelante, para la confección de nuevas formas con TPMC.

La selección de los casos recoge y profundiza en cinco de los 19 artefactos entretejidos mostrados anteriormente en la estructura-árbol. Se seleccionan cinco figuras representativas con el fin de mostrar diferentes grados de complejidad del proceso de diseño y confección de los diferentes casos estudiados en el ámbito de esta investigación, con cuyo desarrollo se pretende sentar las bases del método a seguir para poder confeccionar otras nuevas formas entretejidas.

Mediante el análisis de los cinco artefactos se podrá mostrar el proceso de diseño y confección de diferentes casos. Se va a comenzar por analizar una de las figuras más sencillas, la trama, y se va a finalizar con el análisis de una figura de una complejidad considerable, un poliedro.

Los casos particulares que se ha decidido estudiar de manera representativa son:

1. TRAMA: Trama triaxial hexagonal, *kagome*.

TR03-KA (plano)

2. POSICONO: Cono de curvatura positiva

CO03-KA-01_180°

3. NEGACONO: Cono de curvatura negativa

CO03-KA-05_420°

4. COMBINADO: Combinado de cono de sector 540° y cilindro.

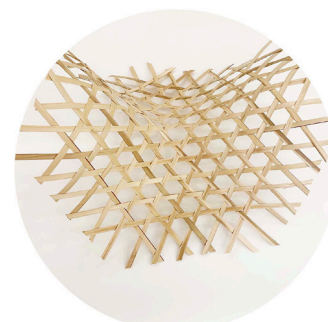
COM-CICO-KA-01 (vértice dodecaedro hueco)



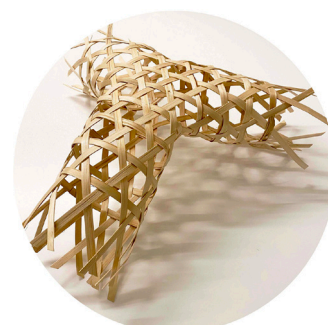
TR03-KA



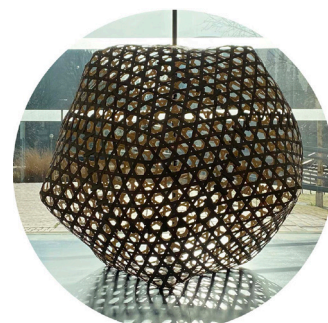
CO03-KA-01_180°



CO03-KA-05_420°



COM-CICO-KA-01



COM-COCO-KA-01

5. COMBINADO: Combinación de conos de sector 300° .

COM-COCO-KA-01 (poliedro: icosaedro)

Se ha realizado un esquema gráfico que muestra, de manera muy visual, la elección realizada para los casos particulares de estudio. En el esquema se observa que los casos seleccionados¹²⁷ se componen por la trama de tres series *kagome*. A su vez, se puede apreciar que los casos son muy diferentes entre ellos y que reflejan diferentes grados de complejidad geométrica en el proceso de confección (Fig. 138).

Los cinco artefactos de TPMC seleccionados para el análisis tienen la misma trama. Están contruidos con la trama triaxial *kagome* porque es una trama resistente y que, en general, casa bien con la construcción de las figuras poliédricas.

Se ha comenzado por la confección de la misma trama *kagome*. La trama es una construcción plana y que, a su vez, corresponde al cono de sector 60° o de curvatura igual a 0.

A continuación, se analizan dos conos totalmente diferentes entre ellos, uno de curvatura positiva, o también denominado posicono, y otro de curvatura negativa, o negacono. Como cono de curvatura positiva, se ha optado por analizar el cono de sector 180° . Como ejemplo de cono de curvatura negativa se analiza el cono de sector 420° .

Para finalizar, se desarrollan dos ejemplos de combinaciones de figuras. Uno de ellos corresponde a un vértice de un dodecaedro hueco. Como se mostrará más adelante, esta figura, en cestería, se convierte en una combinación entre un negacono de sector 540° y tres cilindros. El otro ejemplo de combinación de formas corresponde a un poliedro regular, concretamente a un icosaedro. El icosaedro, en cestería, está formado por la combinación de doce posiconos de sector 300° .

El análisis, paso a paso, de los cinco artefactos se desarrolla en el siguiente capítulo.

¹²⁷ Los casos particulares de estudio están marcados en línea roja discontinua.

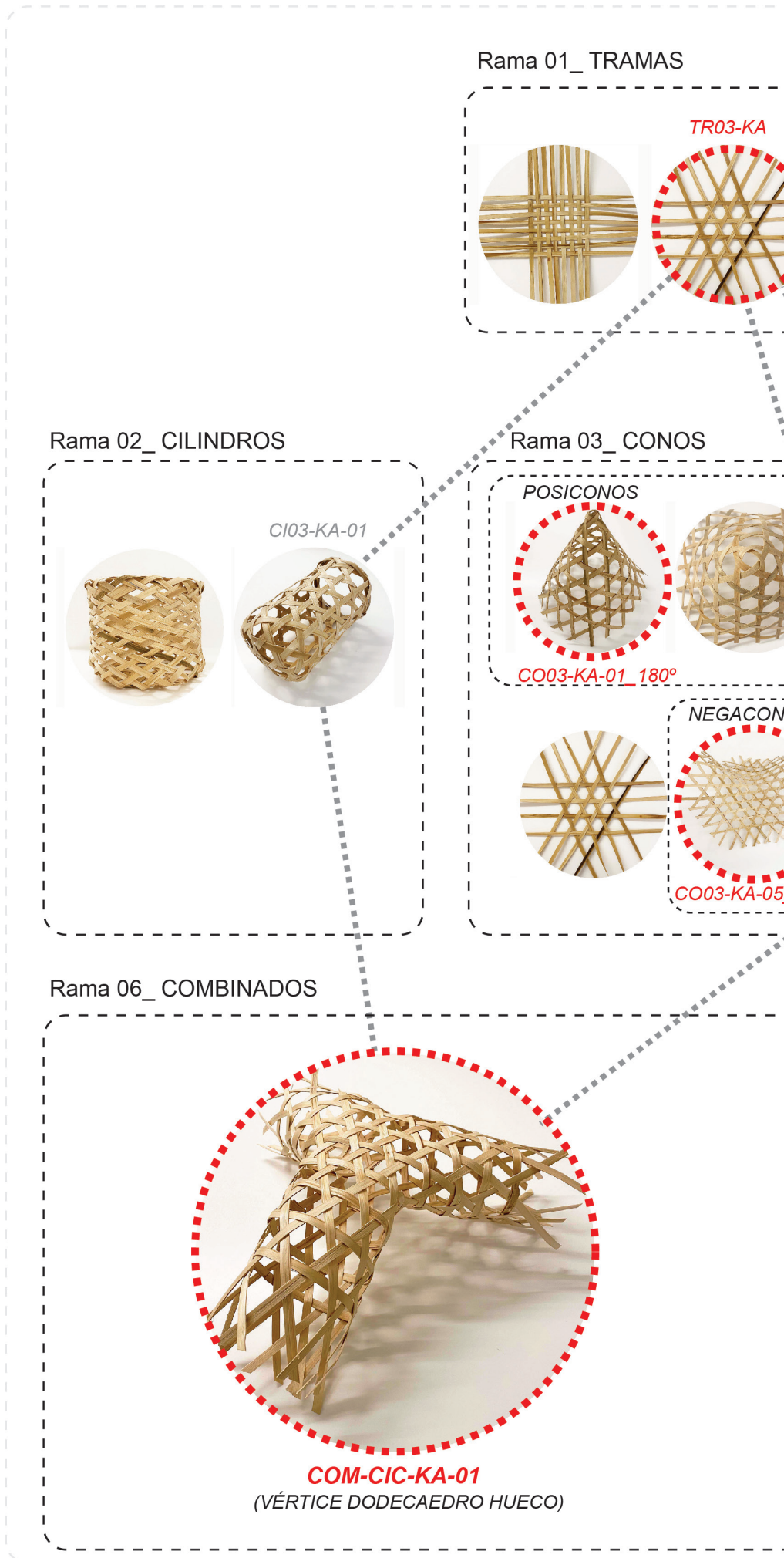
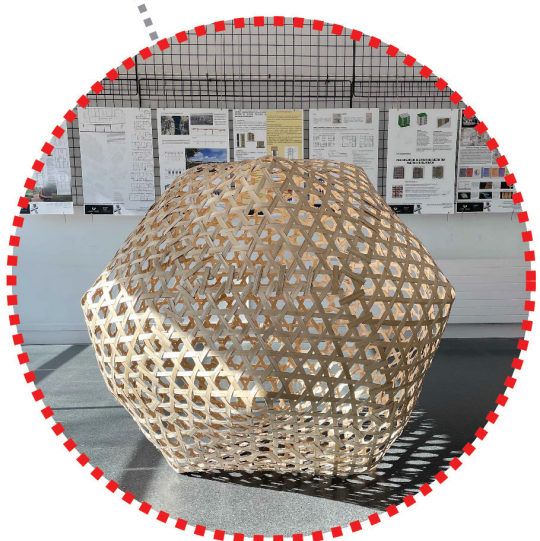
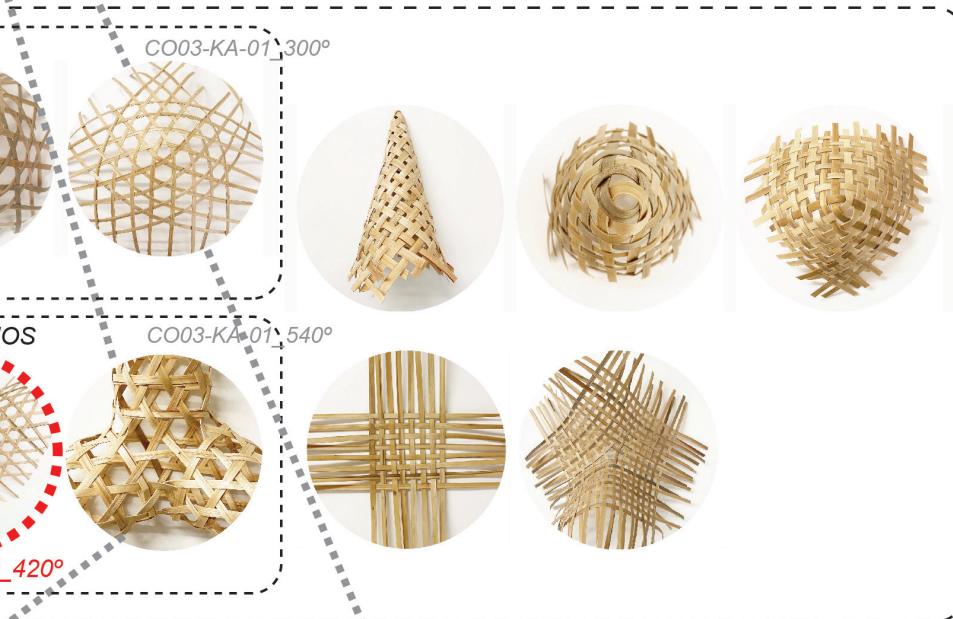
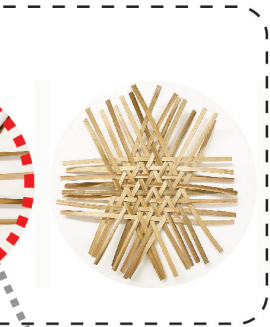


Figura 137. Esquema de los cinco casos particulares estudiados



COM-COCO-KA-01
(ICOSAEDRO)

4.4. MÉTODO SECUENCIAL

Esta investigación se centra en mostrar la aplicación de un método secuencial en cinco de los 19 artefactos entreteljidos con TPMC. La aplicación de la metodología, en estos casos representativos, permite comprender la operativa a seguir para la confección de nuevas formas entreteljidas que, incluso, no están recogidas en este documento, pero pueden seguir la lógica del método propuesto en esta tesis.

A cada artefacto se le ha aplicado un método secuencial. Los pasos del método que se plantea para la construcción de las superficies entreteljidas que se han construido son los siguientes:

1. Análisis geométrico de la forma básica

Se analiza la geometría de la forma que se quiere confeccionar para entender sus propiedades y su desarrollo.

2. Modelado 2D de la trama

Se modela digitalmente en 2D la trama, con un programa tipo *CAD* o *Rhinoceros*, para poder entender cómo se crea la trama.

3. Casar trama a forma-estudio

Se estudia digitalmente la forma de aplicar la trama a la superficie desarrollada, de manera que las tiras queden unidas a lo largo de la superficie. Esta fase, igual que la anterior, se desarrolla en 2D con un programa tipo *CAD* o *Rhinoceros*.

4. Modelo de papel

Se realiza una maqueta de papel con la trama dibujada para demostrar que en el artefacto final las tiras van a casar entre ellas. Se estudian las líneas geodésicas sobre la maqueta.

5. Modelado digital del artefacto

Se modela la figura entrelazada en 3D. Se extraen el número de tiras y las longitudes necesarias para entrelazar el artefacto final. Se realiza el análisis de curvatura de cada tira para detectar posibles puntos de curvatura incompatibles con el material utilizado. Todo ello, mediante el *software* de modelado *Rhinoceros*.

6. Modelo con tiras de papel

Se realiza un acercamiento volumétrico al modelo final a través de la construcción de la forma mediante el entrelazado con tiras planas de papel. Esta construcción sirve para ensayar la estrategia de montaje y detectar puntos problemáticos o aspectos a tener en cuenta en la construcción final.

7. Modelo digital-revisión 1

Se revisa el modelado de la figura entrelazada en 3D con los aspectos detectados en el apartado 6. El modelo se revisa mediante el *software* de modelado *Rhinoceros*.

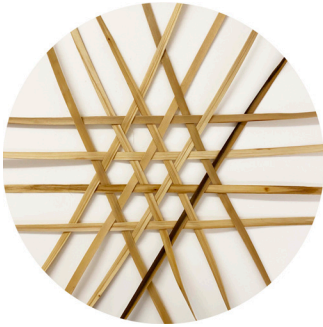
8. Artefacto confeccionado con TPMC-modelo 1

Se piensa en una estrategia de montaje y se confecciona el modelo con tiras planas de madera de castaño. Si en el último paso de la aplicación del método se detectase algún problema, se valoraría la posibilidad de volver al paso 7 y realizar una segunda revisión del modelo digital. Posteriormente, se aplicaría el paso 8, donde se confeccionaría, con otra estrategia de montaje, un segundo modelo con TPMC. Y así sucesivamente hasta llegar al modelo definitivo.

Los 19 casos confeccionados han permitido analizar problemáticas, y con ello se han obtenido destrezas para seleccionar y culminar el desarrollo de las 5 formas en el siguiente capítulo, donde se aplica el método general propuesto en esta tesis para crear nuevas formas entrelazadas con TPMC.

5

5.	IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO SECUENCIAL	135
5.1	ARTEFACTO 01 _ TR03-KA	135
5.2	ARTEFACTO 02 _ CO03-KA-01_180	141
5.3	ARTEFACTO 03 _ CO03-KA-05_420	149
5.4	ARTEFACTO 04_COM-CICO-KA-01	155
5.5	ARTEFACTO 05_COM-COCO-KA-02	163
5.6	REFLEXIONES TRAS LA CONFECCIÓN DE ARTEFACTOS.....	174



TR03-KA

5. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO SECUENCIAL

5.1.ARTEFACTO 01 _ TR03-KA

Figura: PLANO

Objetivo: Construcción de la trama triaxial *kagome* mediante TPMC (tira plana de madera de castaño) de 1 cm de ancho.

APLICACIÓN DEL MÉTODO

.....

01 - Análisis geométrico de la forma básica:

La trama triaxial *kagome* es una trama entretejida de tres series que forma huecos hexagonales¹²⁸. Se dibuja en 2D la trama con la anchura de tira prevista, en este caso, la anchura de TPMC es de 1 cm.

Se observa que el entramado está formado por una red de triángulos de diferentes escalas. El triángulo mínimo, por ejemplo, recoge un hexágono, mientras que el siguiente triángulo, de mayor escala, agrupa tres hexágonos y el siguiente seis.

¹²⁸ En el apartado 3.4 se define la geometría de la trama de tres series *kagome*.

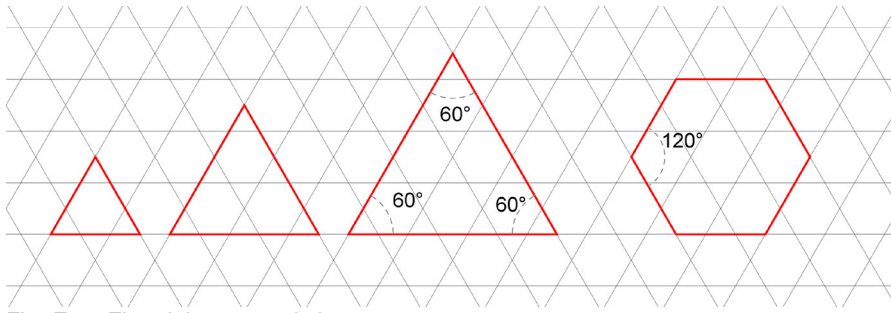


Fig. E01. Ejes del entramado kagome

El entramado *kagome*, a su vez, se compone por hexágonos. En el centro del polígono hexagonal se forma un hueco central hexagonal. Dicho hueco está rodeado por otros seis huecos hexagonales, uno por cada borde diagonal (Fig. E01).

02- Modelado 2D de la trama:

La trama *kagome* es un entretejido compuesto por tres series de cintas. El tejido se compone de dos niveles¹²⁹, es decir, el mayor número de cintas que se cruzan en un mismo punto son dos (Fig. E02 y E03). Aunque el tejido tenga dos niveles, la trama *kagome* se puede considerar un tejido plano.

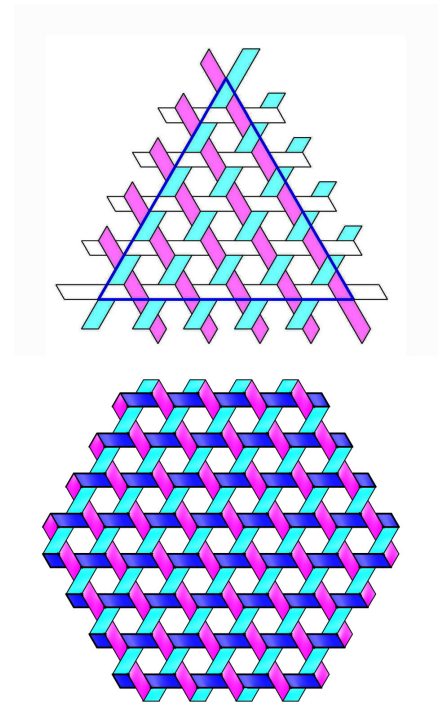


Fig. E03. Tejidos de tres series. Kagome

129 Se extrae del apartado 3.6 la explicación del modelado de la trama de tres series *kagome*.

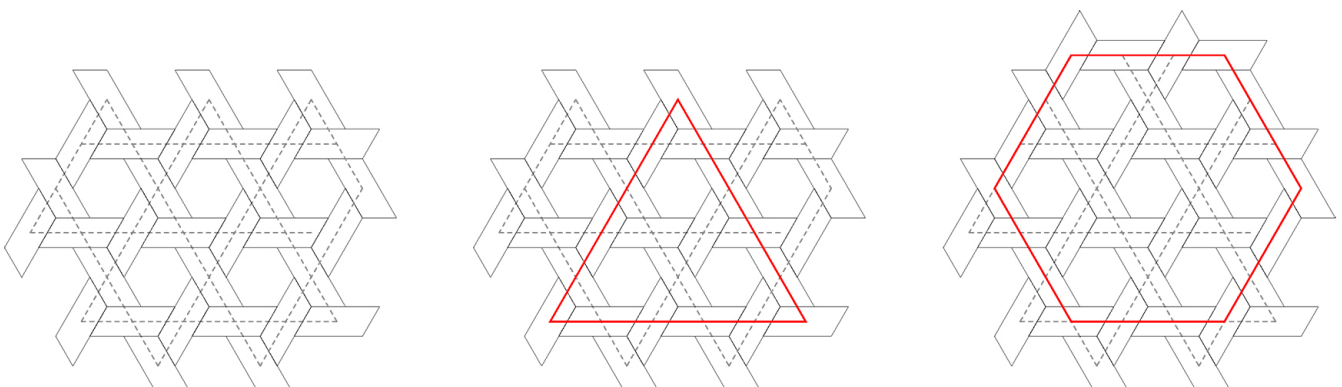


Fig. E01. Ejes del entramado kagome

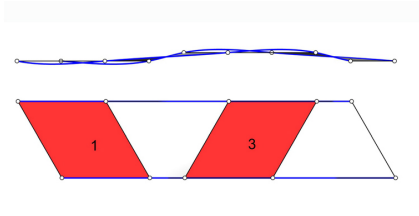


Fig. E04. Módulo y ondulación de kagome en diédrico

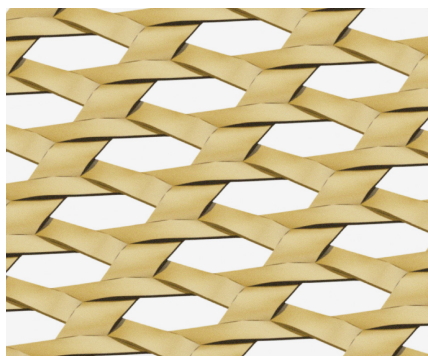


Fig. E05. Modelado y renderizado de kagome

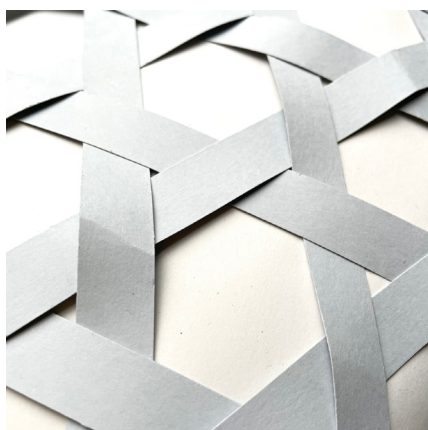


Fig. E06. Trama kagome con tiras de papel

03- Casar trama a forma-estudio:

Como la forma del elemento entrelazado que se está analizando en este apartado se asocia a la forma plana, el entretejido *kagome*, igual que el resto de las tramas, se adapta a la geometría plana y no es necesario realizar operaciones adicionales.

04- Modelo de papel:

Este paso sirve para comprobar con una maqueta rápida que la trama casa correctamente con la forma y, al mismo tiempo, para estudiar las líneas geodésicas. Sin embargo, en este caso, la forma que se analiza no es volumétrica, sino plana, por tanto, debido a la sencillez de dicha forma, no tiene sentido aplicar este paso.

05- Modelado digital 3D:

Para modelar la trama en 3D, se dibuja el módulo que se va a repetir a lo largo del entramado. El módulo parte de dos piezas planas, que se indican en rojo, y se juntan con las piezas alabeadas, que son las blancas (Fig. E04).

En el proceso de modelado conviene alabear las cintas para que el tejido no quede demasiado plano. De esta manera, se consigue una textura correcta, en cuanto a forma y brillos (Fig. E05).

06- Modelo con tira plana de papel:

El entretejido *kagome* confeccionado con tiras de papel tiene su complejidad. Una vez que se entretajan las tiras, la trama no queda sujeta. Las tiras de papel tienden a moverse debido a la falta de rugosidad y adherencia del material (Fig. E06). Por tanto, para una construcción estable, la trama de tiras de papel necesita de un sistema de pegado (cola, celo, etc.) en algunos cruces de las tiras.

07- Modelado digital 3D-revisión 01

Con los pasos anteriores, el diseño del entramado queda definido prácticamente con la misma precisión que el modelo digital inicial. Debido a la sencillez de la forma no se considera necesario realizar este paso.

08- Artefacto confeccionado con TPMC-modelo 1

Preparación del material

Se han cortado las TPMC en un número múltiplo de tres, para que se puedan repartir en la dirección de las tres series. El número de tiras y su longitud dependerá de la superficie que se quiera crear. Dichos datos se pueden deducir del modelado digital realizado en el paso 05 o 07.

El espesor de la tira de madera es de 1 mm. Se han tenido sumergidas en agua 2 horas para que estén flexibles y maleables a la hora de entretejer la trama.

Montaje

La estrategia constructiva que se ha utilizado para desarrollar la trama parte de la creación de un hexágono central. Primero, se disponen seis cintas de castaño en las tres direcciones de la serie (Fig. E07).

A continuación, se distribuyen dos cintas paralelas en cada dirección y se entrelazan de manera que se forme una estrella. La estrella



Fig. E07. Comienzo de construcción de la trama a partir de un hexágono

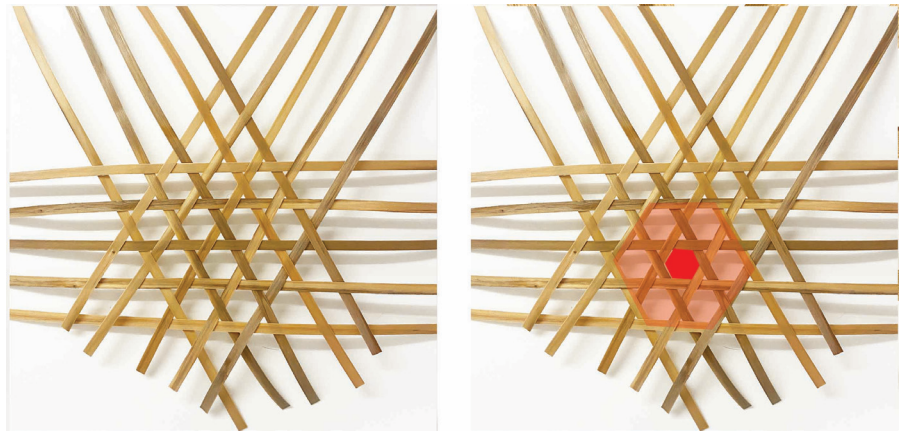


Fig. E08. El hexágono central se rodea de seis hexágonos

entrelazada es el módulo central y forma una estructura mínima rígida y consistente. La rugosidad del material hace que las cintas que forman la estructura queden sujetas por sí mismas y no necesiten de fijación. Para elaborar el entramado, se van sumando y entrelazando cintas paralelas a los bordes del hexágono central. En torno al hexágono central se entretrejen otros seis hexágonos y, añadiendo sucesivamente más, se puede ir aumentando la superficie (Fig. E08 y Fig. E09).

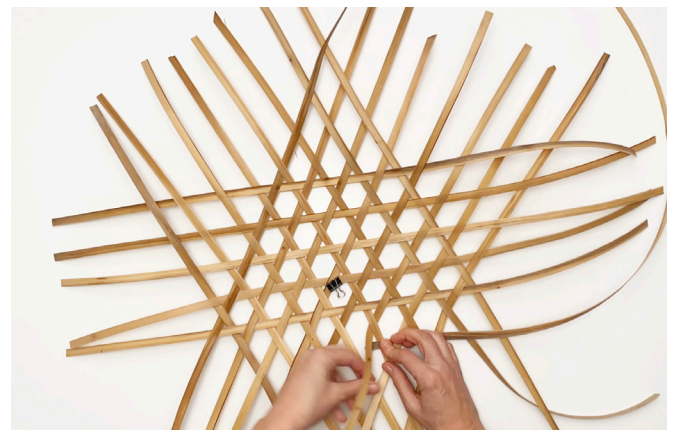
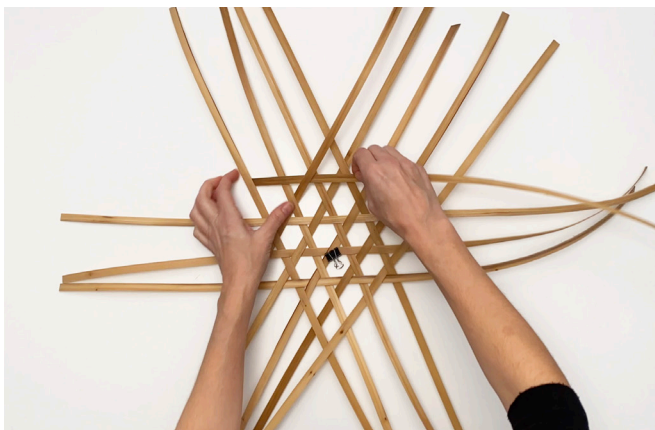


Fig. E08. El hexágono central se rodea de seis hexágonos



CO03-KA-01_180°

5.2 ARTEFACTO 02 _ CO03-KA-01_180

Figura: CONO - Sector 180° (posicono)

Objetivo: Construcción de un cono entretejido cuyo desarrollo abarca un sector de 180°, mediante TPMC (tira plana de madera de castaño) de 1 cm de ancho y tejido mediante trama triaxial (*kagome*).

APLICACIÓN DEL MÉTODO

1. Análisis geométrico de la forma básica

La geometría de este cono entretejido se ha desarrollado en el capítulo de geometrías de superficies entretejidas¹³⁰.

¹³⁰ El cono de sector 180° entretejido con trama triangular *kagome* se desarrolla en el apartado 3.5.2.

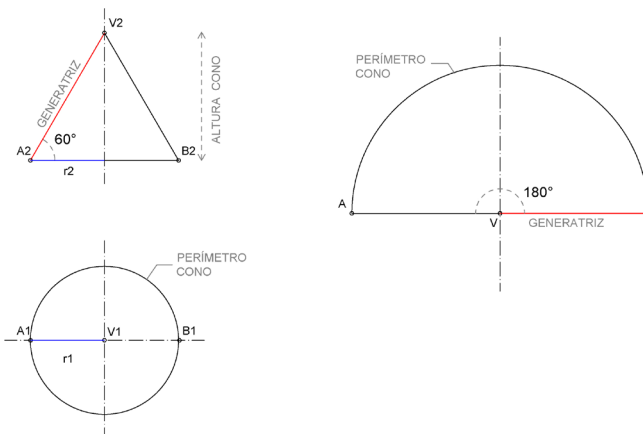


Fig. E10. Desarrollo de la superficie lateral de un cono de sector 180°

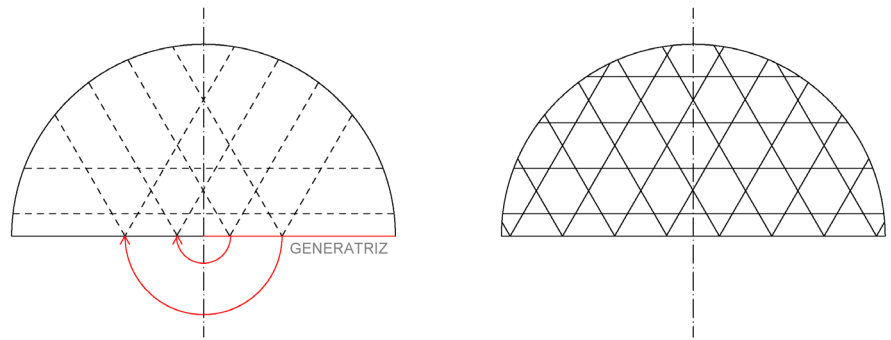


Fig. E11. Aplicación de la trama kagome sobre el desarrollo de la superficie del cono de sector 180°

Se dibuja el desarrollo de la superficie lateral del cono. En este caso, el desarrollo corresponde a un sector de 180° de una circunferencia.

La longitud del perímetro circular del sector desarrollado es igual a la longitud del perímetro de la base del cono (circunferencia de radio r).

El radio de la superficie desarrollada corresponde a la longitud de la generatriz del cono.

La generatriz y el radio (r) del cono determinan la altura del cono (Fig. E10).

2. Modelado 2D de la trama

Se dibuja en 2D la trama *kagome*¹³¹ con la anchura de tira prevista, en este caso, la anchura de TPMC es de 1 cm.

3. Casar trama a forma-estudio

Para aplicar la trama triaxial *kagome* al cono, se debe dibujar la trama sobre la superficie desarrollada. La trama *kagome* se compone de una red de triángulos y hexágonos que se alinean en tres direcciones de ejes. El ángulo entre ejes es de 60° (Fig. E11).

¹³¹ Este apartado se ha desarrollado en el apartado anterior, 5.1, artefacto 01, denominado TR03-KA, correspondiente al desarrollo de la trama *kagome*.



Fig. E12. Desarrollo en papel de la superficie del cono de sector 180° con trama kagome dibujada

La trama sobre la superficie desarrollada del cono se compone de líneas rectas, paralelas entre sí, en las tres direcciones marcadas.

La trama se debe confeccionar de forma simétrica al eje vertical de la superficie desarrollada. Esto va a permitir garantizar la continuidad de la trama una vez que se forme el cono. La recta donde se van a unir los extremos para confeccionar finalmente el cono (la generatriz en color rojo) será otro eje a tener en cuenta en la construcción de la trama.

4. Modelo de papel

Para realizar el modelo en papel de la forma básica, se parte de la superficie plana correspondiente al desarrollo del cono. Se dibujan los ejes de la trama *kagome* en la superficie 2D para que casen posteriormente en 3D. Se comprueba que, una vez generado el volumen, las tres direcciones de ejes de la trama se unen entre sí (Fig. E12). Esto asegura que las tiras planas vayan a tener una continuidad en el modelo final.



Fig. E13. Modelo de 3 líneas geodésicas iguales en un cono de sector 180°

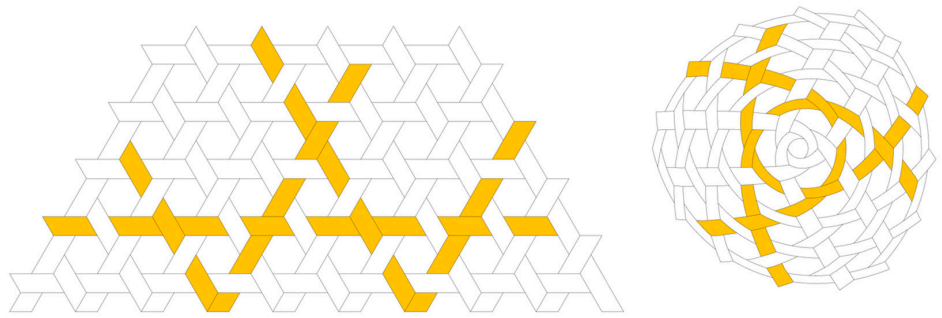


Figura E14. Trama entretejida aplicada a la superficie desarrollada en 2D. Vista superior del cono modelado en 3D.

Tras este primer paso, hay que realizar un análisis de las líneas geodésicas. Las líneas rectas dibujadas sobre la superficie en planta, se convertirán en líneas geodésicas una vez que se construya el cono. Por tanto, los ejes iniciales de la trama *kagome* son líneas geodésicas en la forma final (Fig. E13).

En la maqueta de papel, se observa que las 3 primeras cintas superiores que se entrecruzan crean un triángulo en el vértice del cono.

5. Modelado digital 3D:

Mediante el *software Rhinoceros*, se modela en 3D el cono que se va a entretejer y se estudian las líneas geodésicas. Se deduce que el cono de 180° de desarrollo tiene tres líneas geodésicas iguales en torno al eje vertical del cono. Las tres líneas geodésicas son de igual longitud y curvatura en torno al eje del cono (Fig. E14).

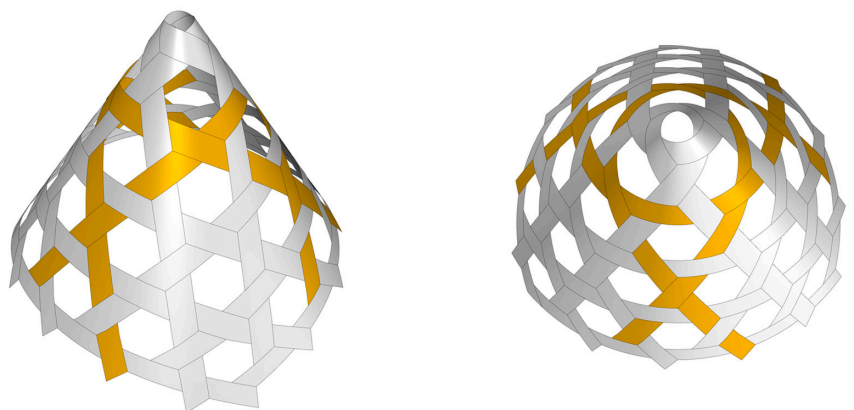


Fig. E15. Modelado digital del cono de sector 180° con kagome

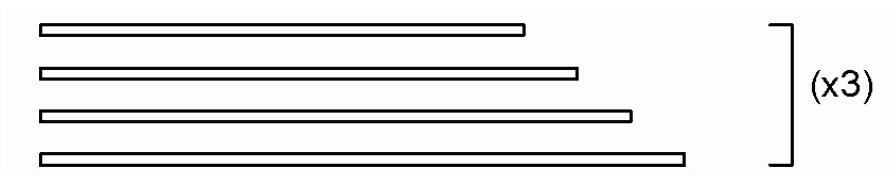


Fig. E16. Esquema de número de cintas y longitud necesarias para la confección

Se estudia el vértice en el modelo digital en 3D. El vértice lo compone el nudo de unión entre las tres cintas geodésicas superiores del cono, que tienen la misma longitud y curvatura. Se corrobora que, en el vértice, se crea un triángulo entre las tres primeras cintas entrecruzadas (Fig. E15). Una vez evaluada la idoneidad del modelo digital 3D con tira plana, se elabora el esquema gráfico 2D con el número y longitud de las TMCP necesarias para confeccionar el cono entrecruzado (Fig. E16).

Antes de pasar a la siguiente etapa, teniendo en cuenta las características mecánicas del material ensayado, se realiza el análisis de curvatura del modelo digital para detectar los posibles puntos críticos en el proceso de confección (Fig. E17). Si se detectan curvaturas superiores a las que el material ensayado puede soportar, hay riesgo de que alguna de las fibras de la TPMC se rompa.

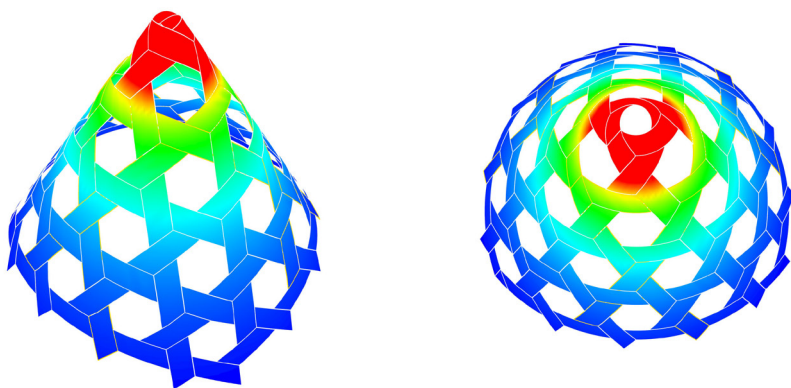


Fig. E17. Análisis de curvatura del cono de sector 180°

6. Modelo con tira plana de papel

Tal y como se ha observado en el caso de estudio del anterior artefacto, la confección con tiras de papel de la trama *kagome* es compleja porque hace falta pegar el entrecruzado con algún adhesivo. Este proceso puede llevar, incluso, más tiempo que la confección misma del artefacto de TPMC. Cuando las formas a estudiar son sencillas, como es el caso del cono, el modelado digital 3D, realizado en el paso 05, aporta suficiente información como para entender el artefacto. De modo que, en este caso, se considera que no es necesario realizar el modelo con tira plana de papel.

7. Modelo digital 3D-revisión 1

Este paso tiene la finalidad de evolucionar y mejorar el modelo digital 3D, en caso de hallar algún aspecto crítico en el modelado con tira plana de papel. Al no haber sido necesario ese paso 06, tampoco se considera necesario este paso 07.

8. Artefacto confeccionado con TPMC-modelo 1

Se cortan las tiras de castaño necesarias, a partir de la largura indicada en el paso 05 y se ponen en remojo durante 8 horas.

Es importante realizar una estrategia previa de montaje. Se comienza por definir un hexágono central mediante el entrecruzado de seis tiras planas y se va desarrollando la trama de hexágonos en torno a ella. Una vez entretejida la parte correspondiente a la superficie desarrollada del cono, comienza el proceso de generación del



Fig. E18. Proceso de confección de la trama kagome con TPMC

volumen. Tal y como se ha estudiado en el modelo digital, se toma como vértice uno de los triángulos centrales y se va tejiendo a mano la forma del cono. Después de una hora de proceso, se da por finalizada la confección del artefacto (Fig, E19).

Tal y como se puede apreciar en las fotografías del cono entretelado con TPMC, la curvatura del vértice es muy pequeña y algunas fibras de la TPMC se han partido porque no se ha conseguido doblar la tira de manera homogénea. Aunque el trabajo se ha comenzado con las tiras húmedas y flexibles, durante el tiempo de proceso, las tiras han ido perdiendo humedad y se han ido secando, perdiendo así su capacidad a flexión.

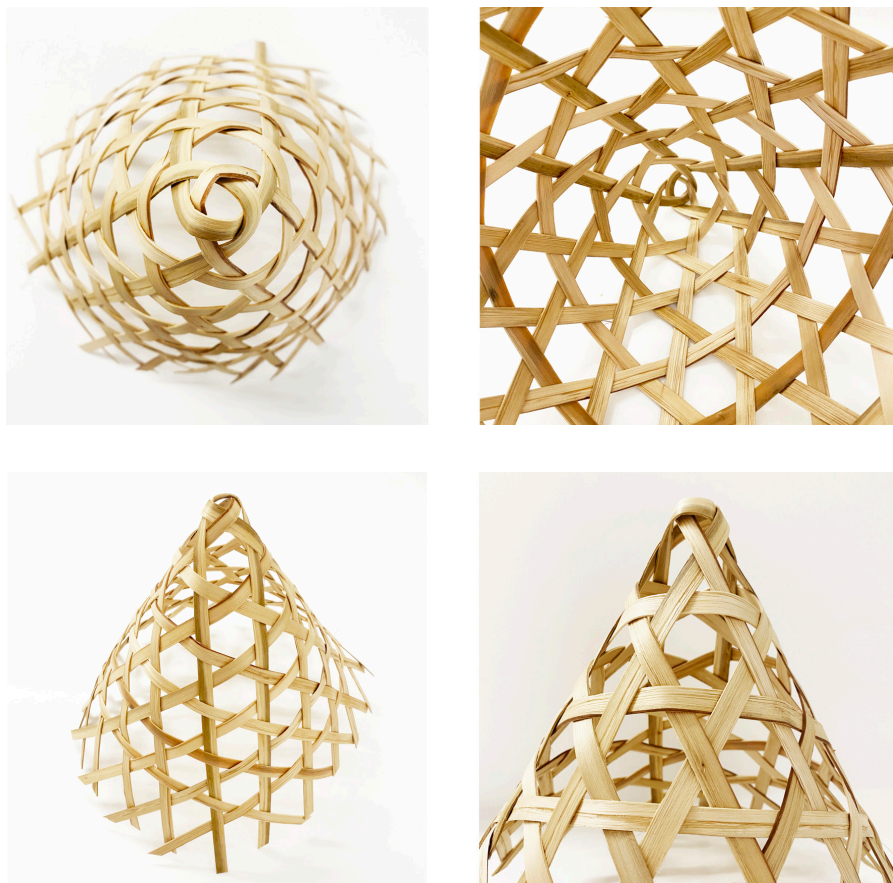
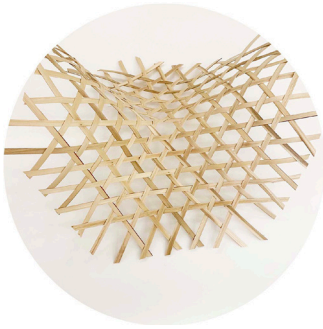


Fig. E19. Resultado del artefacto CO03_KA_180: cono de sector 180°, confeccionado con trama kagome y material de TPMC



CO03-KA-05_420°

5.3. ARTEFACTO 03 _ CO03-KA-05_420

Figura: CONO - Sector 420° (negacono)

Objetivo: Construcción de un cono entretejido cuyo desarrollo abarca un sector de 420°, mediante TPMC (tira plana de madera de castaño) de 1 cm de ancho y tejido mediante trama triaxial (*kagome*).

APLICACIÓN DEL MÉTODO

.....

1. Análisis geométrico de la forma básica

Al igual que en el estudio de caso anterior, la geometría de este cono entretejido se ha desarrollado previamente en el capítulo 03 de geometrías de superficies entretejidas¹³².

En primer lugar, se dibuja el desarrollo de la superficie lateral del cono. En este caso, el desarrollo corresponde a un sector de 420°. Para ello, a la circunferencia completa, de sector 360°, se le suma otro sector de 60°, lo que hace que la superficie se alabee y surja un cono de curvatura negativa o, lo que es lo mismo, un negacono. El radio de la superficie desarrollada corresponde a la longitud de la generatriz del cono (Fig. E20).

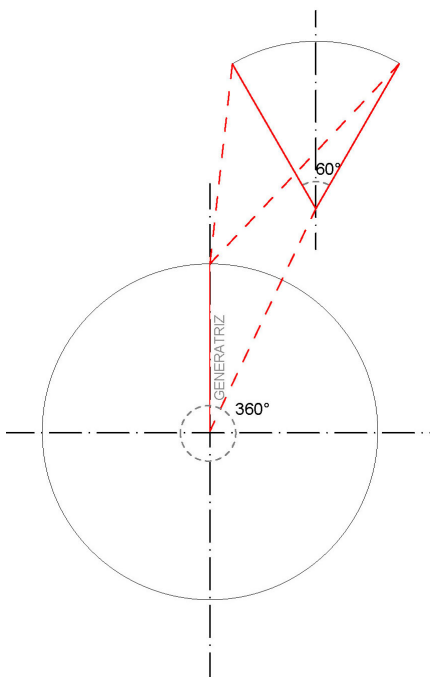


Fig. E20. Desarrollo cono sector 420°

¹³² El cono de sector 180° entretejido con trama triangular *kagome* se desarrolla en el apartado 3.5.2.

2. Modelado 2D de la trama

Se dibuja en 2D la trama *kagome*, igual que en el artefacto 01, con la anchura de tira prevista, en este caso, la anchura de TPMC es de 1 cm.

3. Casar trama a forma-estudio

Para aplicar la trama triaxial *kagome* al cono, se debe dibujar la trama sobre la superficie desarrollada en 2D. La trama *kagome* se compone por una red de triángulos y hexágonos que se alinean en tres direcciones de ejes. El ángulo entre ejes es de 60° .

Como los dos sectores, el de 360° y el de 60° , están confeccionados con múltiplos de 60 grados, la trama triaxial casa correctamente.

En la superficie desarrollada, la trama se debe aplicar simétrica al eje vertical de las dos partes para garantizar la continuidad de la trama al generar el cono en 3D. La recta donde se van a unir los extremos para confeccionar finalmente el cono (la generatriz en color rojo) será otro eje a tener en cuenta en la construcción de la trama (Fig. E21).

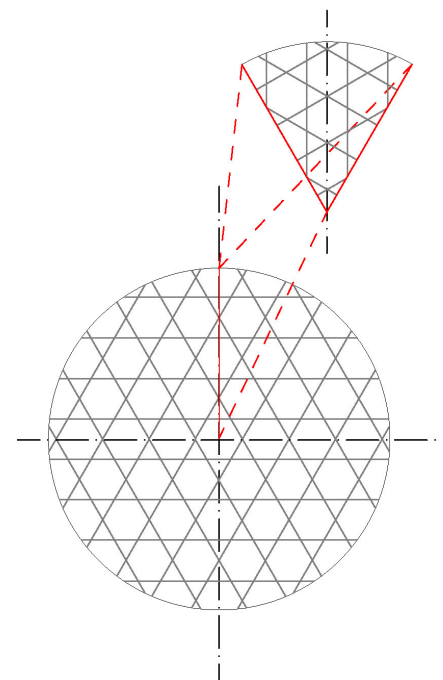


Fig. E21. Trama kagome sobre desarrollo del cono de sector 420°

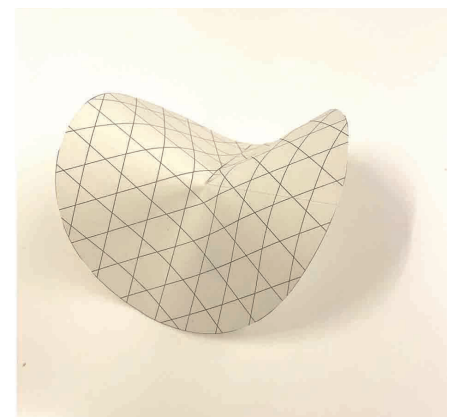
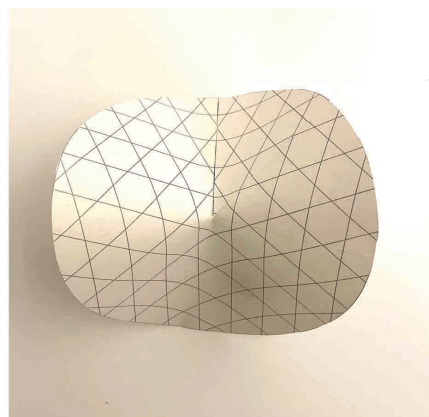
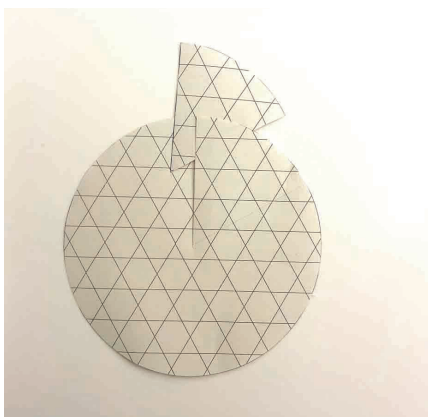


Fig. E22. Maqueta de papel del cono sector 420°

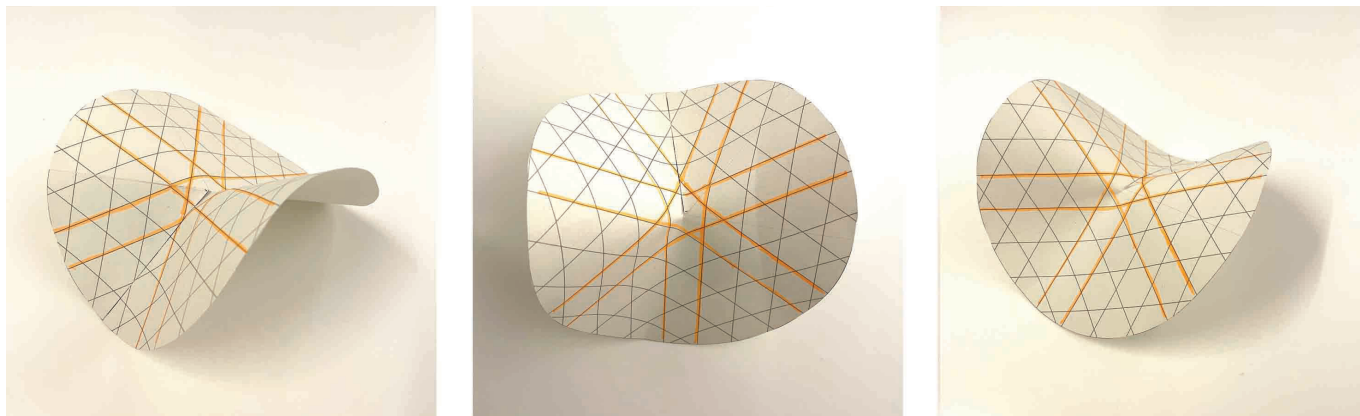


Fig. E23. Líneas geodésicas sobre maqueta de papel

4. Modelo de papel

Para realizar el modelo en papel del cono, se parte de la superficie correspondiente al desarrollo del mismo. Se dibujan los ejes de la trama *kagome* en la superficie 2D para que casen posteriormente en 3D. Se comprueba que, una vez generado el volumen, las tres direcciones de ejes de la trama se unen entre sí (Fig. E22).

Tras ello, se realiza un análisis de las líneas geodésicas. Las líneas rectas dibujadas sobre la superficie desarrollada en 2D se convertirán en líneas geodésicas una vez que se construya el cono en 3D (Fig. E23).

5. Modelado digital 3D:

El modelo digital del cono entrecruzado se realiza mediante el *software Rhinoceros*. Es importante estudiar las líneas geodésicas en relación a las tiras planas que van a confeccionar el modelo. Se deduce que el cono de 420° de desarrollo tiene seis líneas geodésicas iguales en torno al vértice del cono. Las seis líneas geodésicas son de igual longitud e igual curvatura (Fig. E24).

En el modelado digital se comprueba que, en el vértice, se crea un heptágono entre las siete primeras cintas entrecruzadas (Fig. E25).

A continuación, se analiza la curvatura del negacono y se confirma que, igual que el posicono analizado en el apartado anterior, la curvatura máxima se crea en torno al vértice.

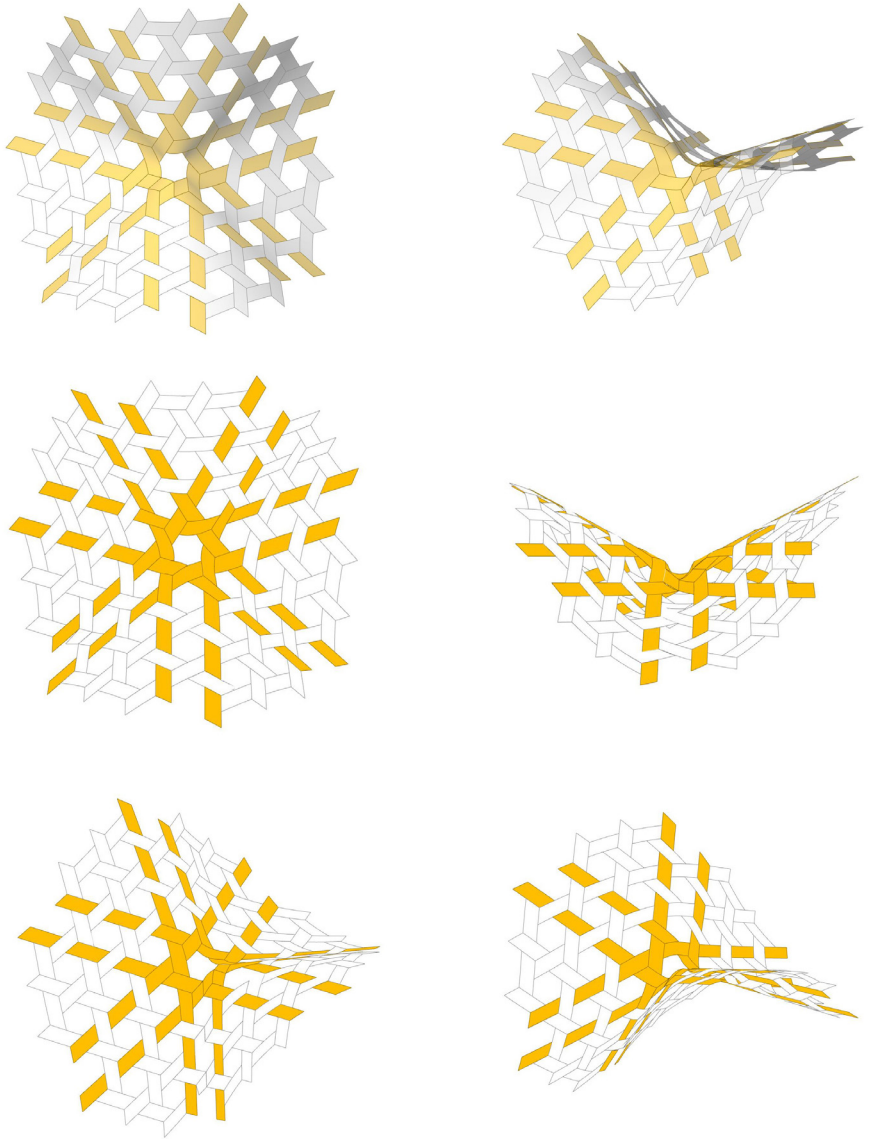


Figura E24. Modelado 3D del cono de 420° de desarrollo

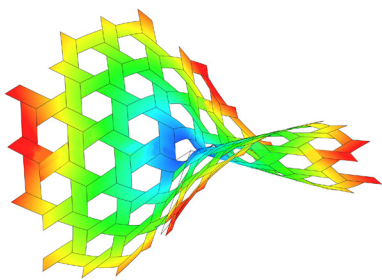


Fig. E25. Análisis de curvatura (Rhinceros)

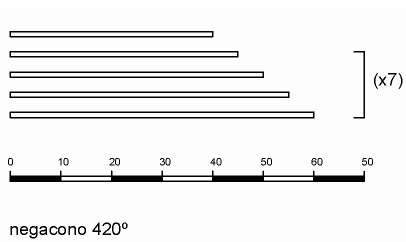


Fig. E26. Esquema de número de cintas y longitud necesarias para la confección

Tras validar la confección del modelo digital inicial, se elabora el esquema gráfico en 2D con el número y longitud de las TMCP necesarias para confeccionar el cono entrelazado (Fig. E26).

6. Modelo con tira plana de papel

Tal y como se ha observado en los casos de estudio de los anteriores artefactos, la confección con tiras de papel de la trama *kagome* es compleja porque es necesario pegar el entrecruzado con algún adhesivo.

Este proceso puede llevar más tiempo que la propia confección del artefacto de TPMC. Cuando las formas a estudiar son sencillas,

como es el caso del cono, el modelado digital 3D aporta suficiente información como para entender el artefacto, de modo que, en este caso, se considera que no es necesario realizar el modelo con tira plana de papel.

7. Modelo digital 3D-revisión 1

Este paso tiene la finalidad de evolucionar y mejorar el modelo digital 3D, en caso de hallar algún aspecto crítico en el modelado con tira plana de papel. Al no haber sido necesario ese paso 06, tampoco se considera necesario este paso 07.

8. Artefacto confeccionado con TPMC-modelo 1

Se preparan las tiras de castaño necesarias con la largura indicada en el paso 05 y se ponen en remojo 8 horas.

Se realiza una estrategia de montaje parecida al artefacto anterior, donde, en una primera fase, se entreteteje la parte del entramado en 2D y, en una segunda fase, se remata el entretetejado creando el volumen. Hay que tener en cuenta que en el vértice del cono se tiene que formar un heptágono (Fig. E27). En este caso, se comienza por definir un heptágono central mediante el entrecruzado de siete tiras planas y se va desarrollando la trama de hexágonos en torno a cinco de los lados del heptágono. La estrategia de dejar dos lados sin tejer se debe a que, al tejer, la superficie comienza a alabearse y se va creando el volumen final.

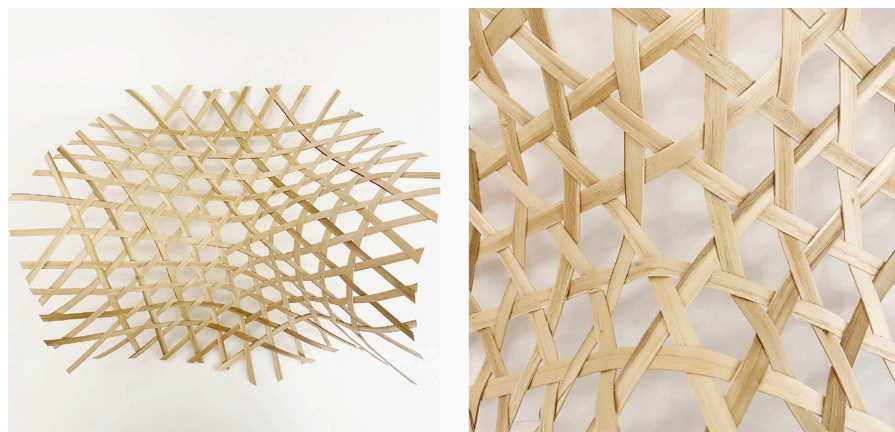


Fig. E27. Cono de sector 420° confeccionado con TPMC y detalle del heptágono del vértice

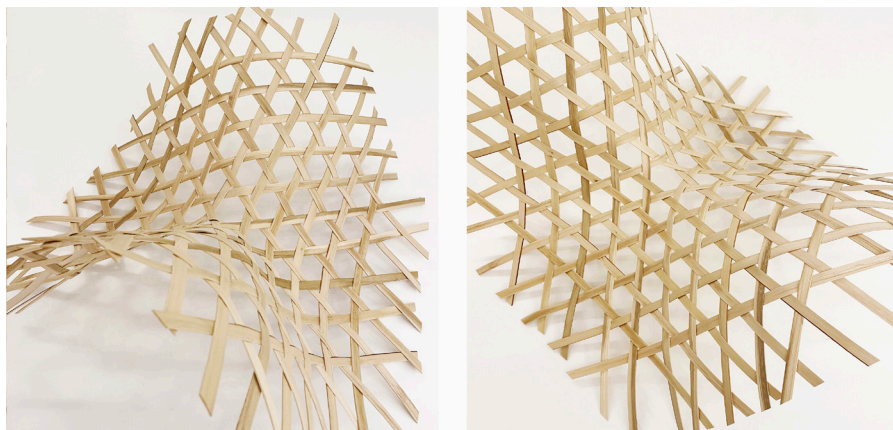
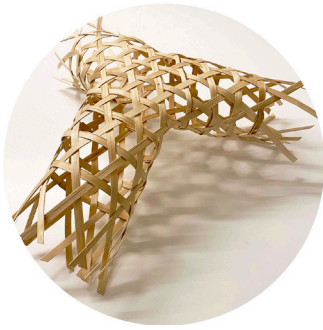


Fig. E28. Cono de sector 420° entretejido con TPMC y trama kagome

La forma final del artefacto corresponde a una superficie parecida a una silla de montar, tal y como se ha estudiado en el modelo digital (Fig. E28).



COM-CICO-KA-01

5.4. ARTEFACTO 04_COM-CICO-KA-01

Figura: COMBINACIÓN CONO Y CILINDROS
(Vértice de dodecaedro hueco)

Objetivo: Construcción de un artefacto creado a partir de una combinación de formas entretejidas entre un cono de sector 540° , tres cilindros y un triángulo plano; mediante TPMC de 1 cm de ancho y tejido mediante trama triaxial (*kagome*).

APLICACIÓN DEL MÉTODO

.....

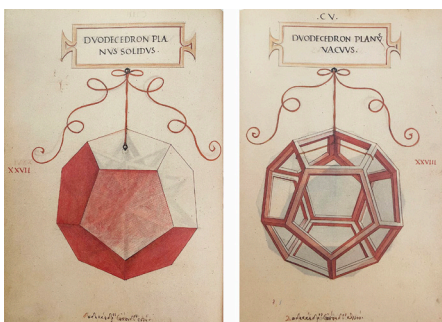


Figura E29. Ilustración de Leonardo da Vinci del dodecaedro hueco (*duodecedron vacuus*) y del dodecaedro sólido (*duodecedron solidus*) para el libro *La divina proporción* de Luca Pacioli

1. Análisis geométrico de la forma básica

El artefacto se basa en un dodecaedro regular hueco (Fig. E29):

“El dodecaedro plano sólido o hueco tiene treinta líneas o lados iguales que forman en él sesenta ángulos superficiales, y tiene veinte ángulos sólidos y doce bases o superficies que lo contienen. Estas son todas pentagonales, de lados y ángulos iguales entre sí, como se deduce de su forma”.

(Pacioli & González Rodríguez, 1987)

La figura que se quiere trabajar corresponde a una adaptación de un dodecaedro hueco con los vértices achaflanados en forma de triángulo equilátero. Los bordes son prismas triangulares que sirven de unión entre dichos vértices. En la parte interior del vértice, se juntan seis planos en un punto, por tanto, la suma de los ángulos en el desarrollo de cada vértice interior es de 540° (Fig. E30).

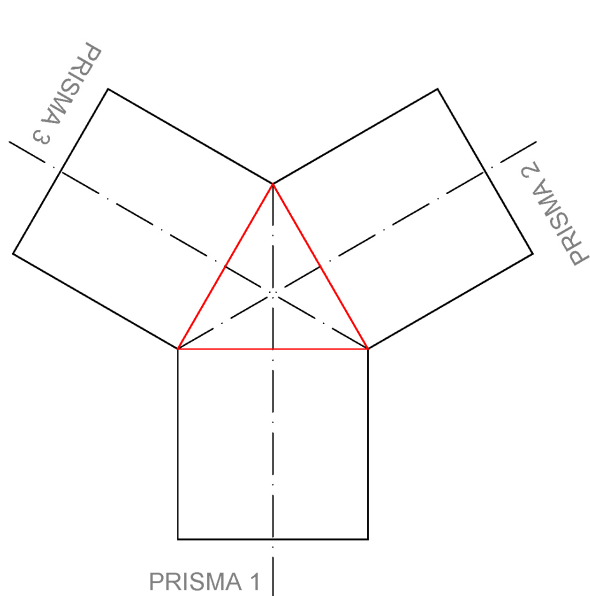
2. Modelado 2D de la trama:

Se dibuja en 2D la trama *kagome*¹³³ con la anchura de tira prevista, en este caso, la anchura de TPMC es de 1 cm.

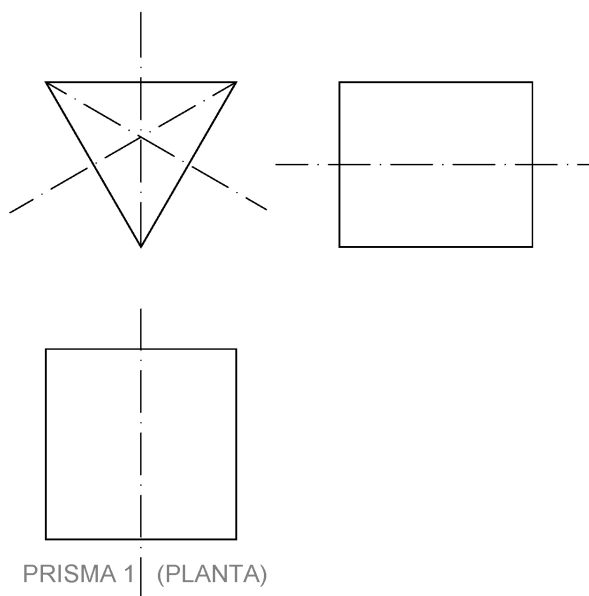
3. Casar trama a forma-estudio

Como se ha visto anteriormente, la trama triaxial *kagome* se compone de una red de triángulos y hexágonos que se alinean en tres direcciones de ejes. Para aplicar la trama al vértice, se debe

133 Este apartado se ha desarrollado en el apartado anterior, artefacto 01, denominado TR03-KA, correspondiente al desarrollo de la trama *kagome*.



ESQUEMA DE UNIÓN
(TRIÁNGULO - PRISMAS)



DIÉDRICO: PRISMA TRIANGULAR

Fig. E30. Izq.: esquema de unión entre triángulo y tres prismas. Dcha.: diédrico de un prisma triangular

dibujar la trama sobre la superficie desarrollada. En el desarrollo de la superficie del artefacto, se crea un triángulo con tres rectángulos contiguos, uno en cada borde. La trama casa correctamente con los polígonos (Fig. E31).

4. Modelo de papel:

Una vez que se ha comprobado que los prismas y los planos triangulares pueden casar bien, se plantea realizar la maqueta inicial en papel.

Para realizar el modelo de la figura en papel, se parte de la superficie correspondiente al desarrollo del mismo. Se dibujan los ejes de la trama *kagome* en la superficie 2D para que casen posteriormente en 3D. Se comprueba que, una vez se genera el volumen, las tres direcciones de ejes de la trama se unen entre sí (Fig. E32).

Al igual que en los casos anteriores, en este punto hay que realizar un análisis de las líneas geodésicas. Las líneas rectas dibujadas sobre la superficie en planta se convertirán en líneas geodésicas una vez que se construya la figura. Como ha ocurrido previamente, los ejes iniciales de la trama *kagome* serán líneas geodésicas en la forma final.

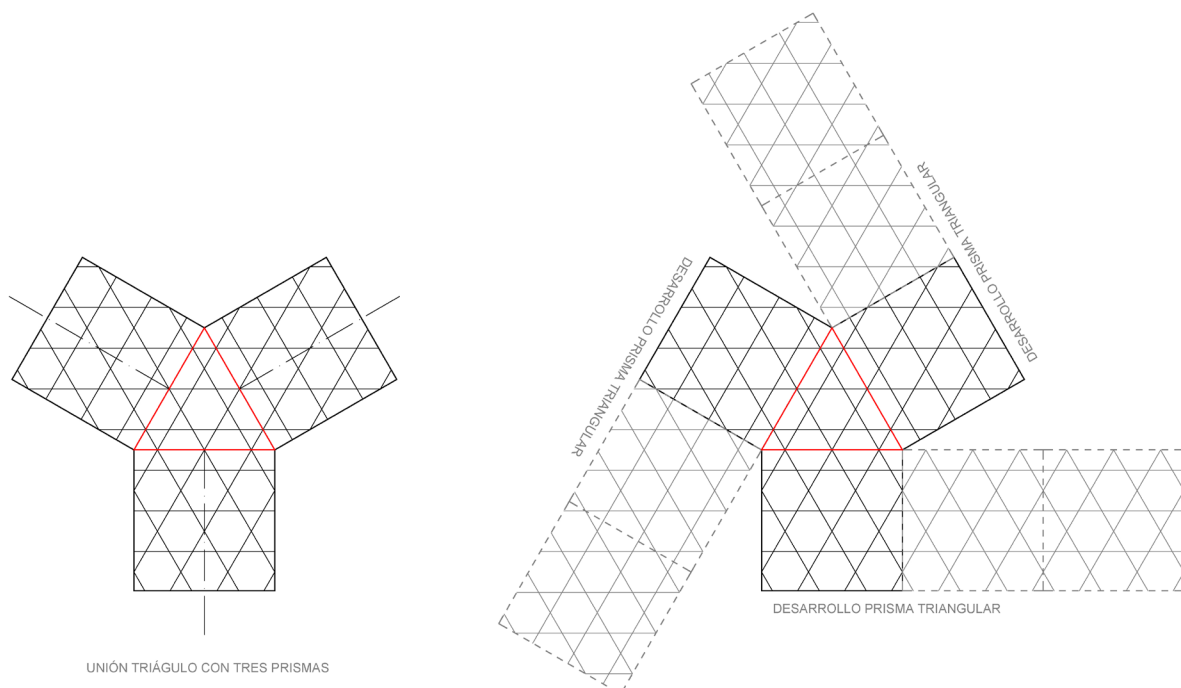


Fig. E31. Izq.: aplicación de la trama en el esquema de unión entre triángulo y tres prismas. Dcha.: aplicación de la trama en el desarrollo de la figura

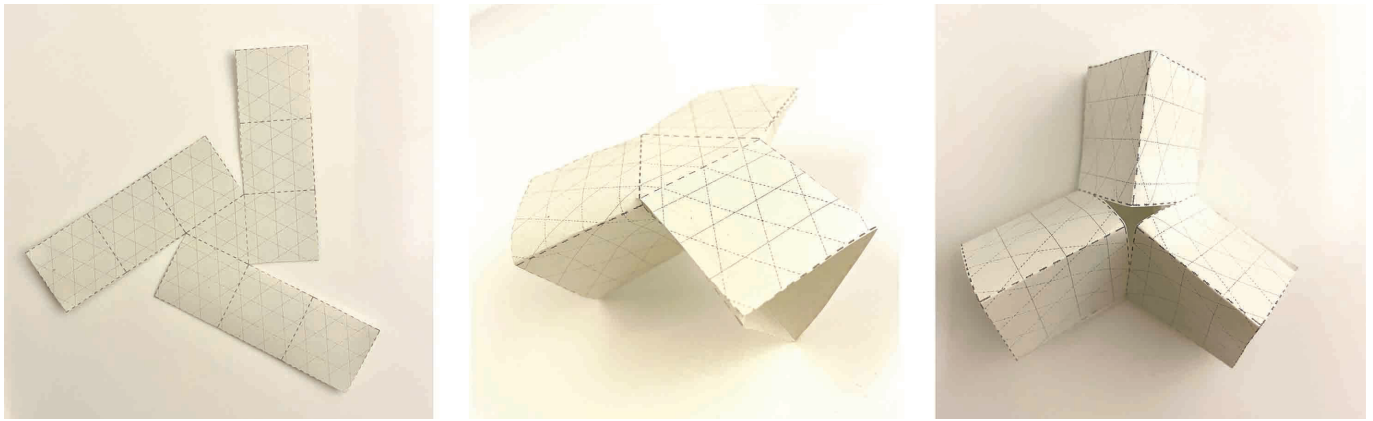


Fig. E32. Maqueta de papel con trama dibujada

En la maqueta de papel se observa, por un lado, que las cintas casan bien entre sí y, por otro, que en la parte interior de la figura se juntan las caras de los tres prismas, es decir, los seis planos. Se tiene en cuenta que, cuando se realice el artefacto con tiras de castaño, las tiras no podrán doblarse como en el papel y el encuentro interior de los seis planos se convertirá en un cono invertido de sector 540° . A su vez, los prismas triangulares se convertirán en cilindros.

5. Modelado digital 3D

Al tratarse de una figura de geometría compleja, como primer paso, se opta por realizar el modelado del poliedro base, es decir, el dodecaedro hueco, mediante el *software* de modelado 3D *Rhinoceros*. Para poder encajar la trama en el poliedro, se realiza una adaptación de la figura y se crean truncamientos en los vértices con forma de triángulos equiláteros. El armazón del poliedro base realmente se compone por prismas de sección rectangular. Sin

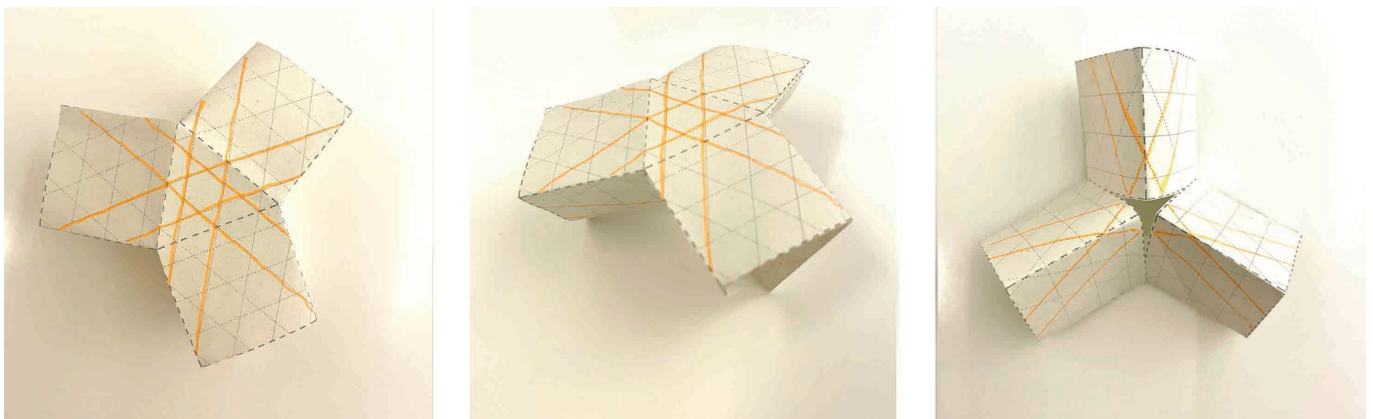


Fig. E33. Estudio de líneas geodésicas sobre maqueta de papel

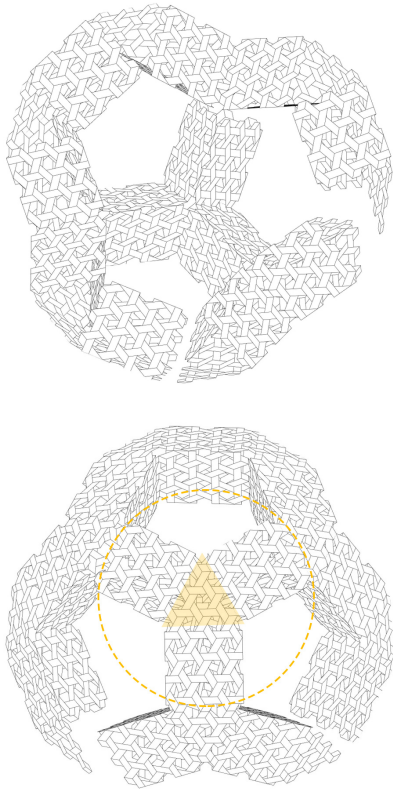


Fig. E34. Modelado del dodecaedro hueco entrettejido e indicación de la figura a analizar

embargo, en la figura adaptada, se opta por prismas de sección triangular. El poliedro adaptado resultante sigue teniendo doce caras pentagonales y veinte vértices.

Para aplicar el entrelazado *kagome* al poliedro, se comienza por realizar la pieza correspondiente a un módulo de vértice. Dicha pieza es la figura que se quiere analizar en este apartado y se compone por una cara triangular y tres prismas triangulares (Fig. E34).

La trama del triángulo plano se soluciona en el mismo plano sin dificultad. Los ángulos de los hexágonos de la trama coinciden con los ángulos del triángulo equilátero. A partir de ahí, el prisma triangular se entrelaza con la dirección marcada por las tiras que llegan de la cara plana triangular, que serán líneas geodésicas (Fig. E35 y E36). La tercera dirección de las tiras la marcan las líneas geodésicas perpendiculares al eje principal del prisma (Fig. E37).

El modelado se ha realizado con planos y aristas. Sin embargo, cuando la pieza se confeccione con TPMC, las aristas desaparecerán y los bordes de la pieza se redondearán. Según el análisis geométrico realizado, en la parte posterior se va a crear un encuentro de seis planos de 90° cada uno. Cuando ese vértice interior se realice en cestería, se va a crear un cono de sector 540° . Por tanto, se modela el cono de sector 540° para poder estudiarlo (Fig. E38).

A continuación, se analiza la curvatura del cono y se observa que las tiras cercanas al vértice tienen el menor ángulo de curvatura (Fig. E39).

Se elabora el esquema gráfico 2D con el número y longitud de las TMCP necesarias para confeccionar el cono entrettejido (Fig. E40).

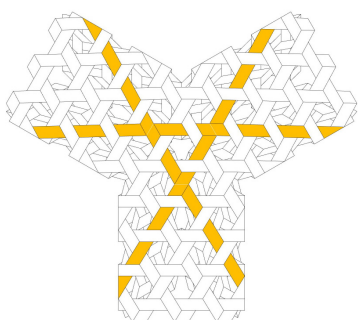


Fig. E35. Vista superior del artefacto con tres líneas geodésicas de igual longitud

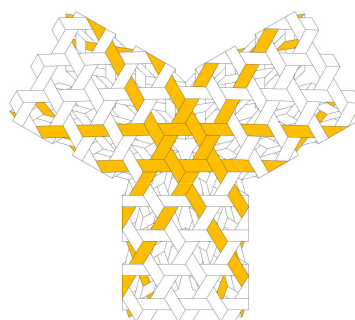
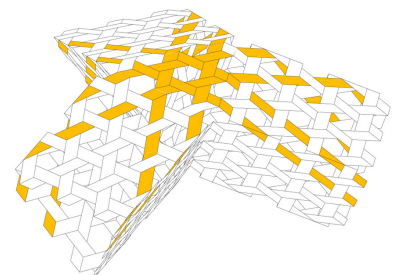


Fig. E36. Vista superior del artefacto y axonometría con seis líneas geodésicas de igual longitud



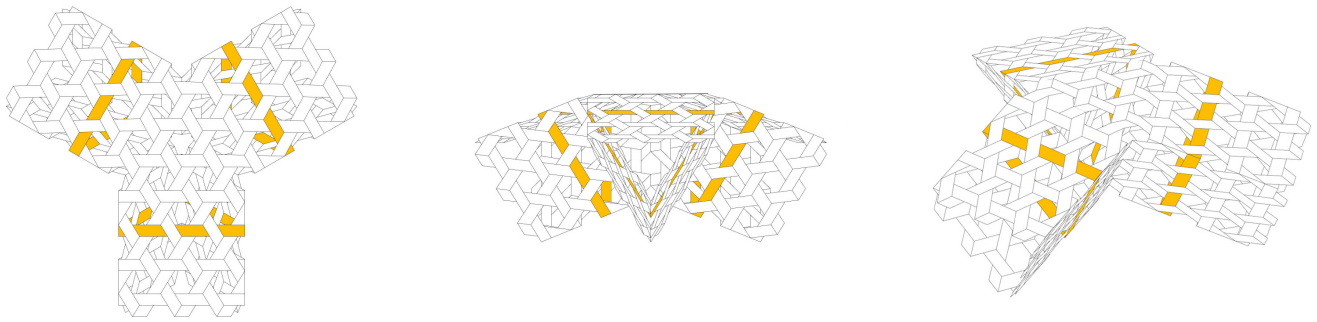


Fig. E37. Planta, alzado y axonometría del modelo 3D. Se analizan las líneas geodésicas

6. Modelo con tira plana de papel

Tal y como se ha observado en los casos de estudio de los anteriores artefactos, la confección con tiras de papel de la trama *kagome* es compleja. Al contrario que en los anteriores artefactos estudiados, en este caso, el conjunto de formas a estudiar no es sencillo y este paso ayuda entender mejor el entretrejido del modelo. Las tiras no se sujetan una vez que se entretujan, de modo que conviene pegar el entrecruzado entre sí con algún adhesivo para que las tiras no se muevan y se pueda construir la maqueta (Fig. E41).

7. Modelo digital 3D-revisión 1

Tras confeccionar el modelo con tiras planas de papel, se ha podido comprobar que uno de los puntos críticos se produce en el vértice interior. Por tanto, se estima necesario realizar una revisión del modelo 3D mediante el programa *Rhino*. Se modela y analiza con mayor detalle el punto de unión entre los tres prismas, en la parte interior del vértice del poliedro, cuyo vértice se resuelve con un hueco poligonal de nueve caras o eneágono (Fig. E42).

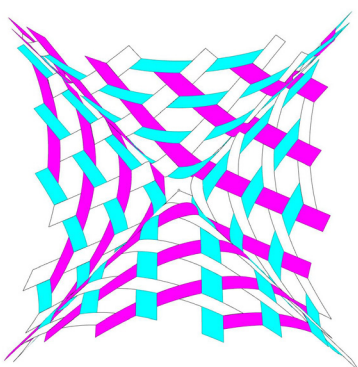


Fig. E38. Modelado de cono 540°

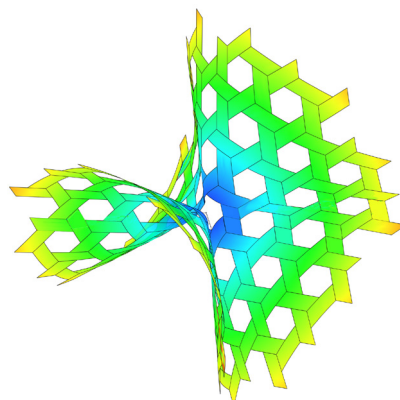


Fig. E39. Cono de sector 540° que se formará en la parte interior del modelo



Fig. E40. Esquema de número de cintas y longitud necesarias para la confección



Fig. E41. Modelo con tiras de papel

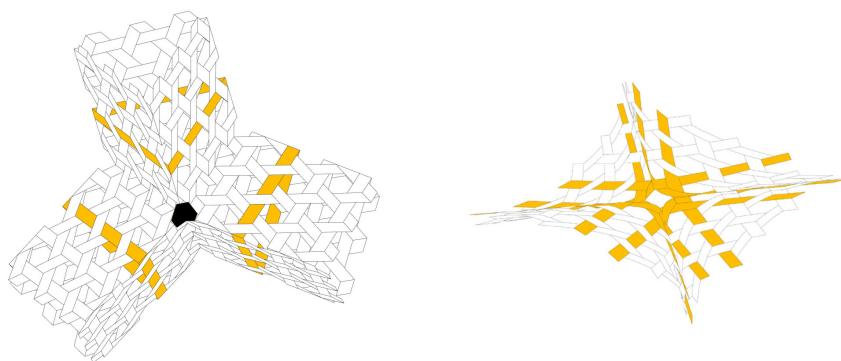


Fig. E42. Estudio del vértice interior del artefacto con hueco eneagonal y modelado del negacono de sector 540°

8. Artefacto confeccionado con TPMC-modelo 1

Tras haber revisado el modelo digital, se ha comprobado que el número y longitud de las tiras no varía. Por tanto, se preparan las tiras de castaño necesarias, a partir de la largura indicada en el paso 05, y se ponen en remojo 8 horas.

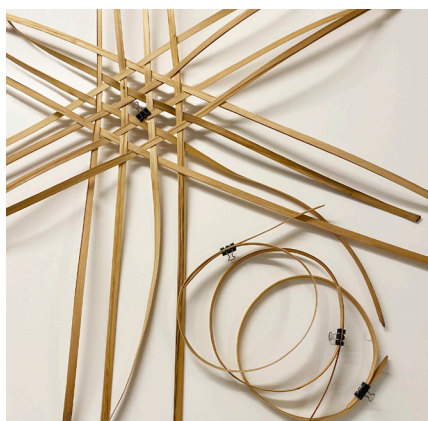


Fig. E43. Preparación de las circunferencias con TPMC

Como se ha visto en casos anteriores, las tiras de castaño no se pueden doblar en los vértices de los ángulos. Las tiras se curvan y se prevé que, en cestería, los prismas triangulares se convertirán en cilindros. Para confeccionar el cilindro disponiendo la trama orientada con los bordes del plano triangular, hay que preparar unas cintas circulares que se colocarán en perpendicular a los ejes de los prismas. En este caso, dichas circunferencias son líneas geodésicas (Fig. E43).

Antes de comenzar a entretejer la trama, hay que pensar la estrategia de montaje que se va a seguir. En este caso, se ha comenzado por confeccionar el plano triangular y, a partir de ahí, se han colocado las cintas correspondientes a los anillos de los tres prismas, sobre los cuales se irán entretejiendo los tres cilindros (Fig. E44).

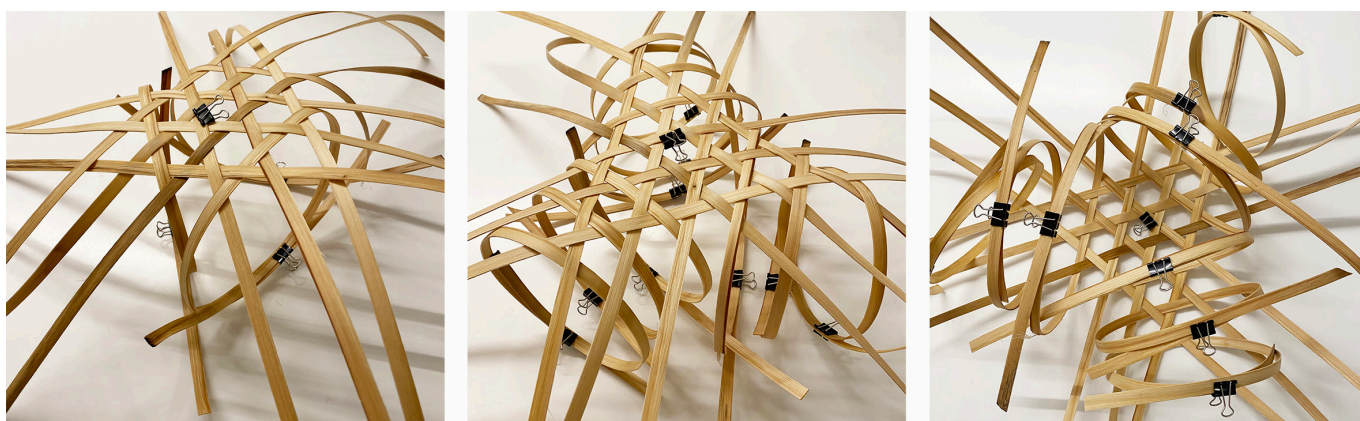


Fig. E44. Maqueta de papel con trama dibujada

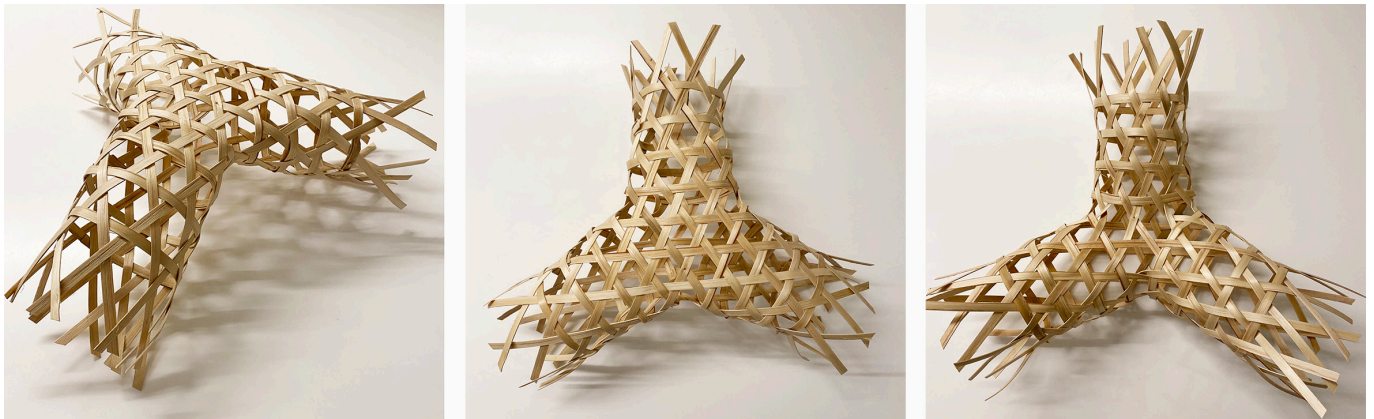


Fig. E45. Maqueta de papel con trama dibujada

El proceso se complica al llegar a la parte posterior del plano triangular, es decir, a la unión interior de los tres cilindros, donde se conforma un cono de sector 540° . El modelo realizado con tiras de papel es una guía ineludible que sirve de referencia a la hora de confeccionar el artefacto.

El resultado obtenido es una figura base con la que se puede construir un dodecaedro hueco, por medio de la réplica y unión de artefactos de igual forma a la construida (Fig. E45 y Fig. E46).

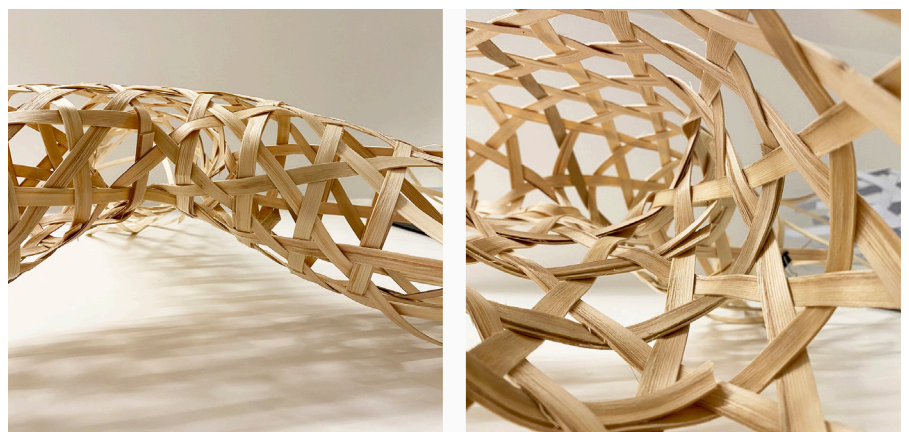
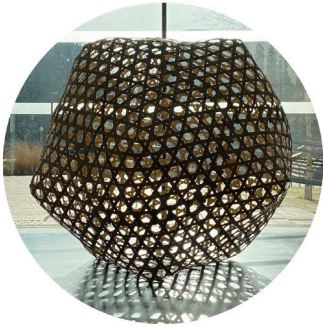


Fig. E46. Imagen exterior e interior del artefacto acabado



COM-COCO-KA-01

5.5 ARTEFACTO 05_COM-COCO-KA-02

Figura: COMBINACIÓN CONOS – (icosaedro)

Construcción de un artefacto con forma de icosaedro, creado a partir de una combinación de doce conos de sector 300° entretejidos con TPMC de 2 cm de ancho y trama triaxial (*kagome*).

APLICACIÓN DEL MÉTODO

.....

1. Análisis geométrico de la forma básica

Se quiere construir un icosaedro entretejido con trama triaxial. El icosaedro es un poliedro que se compone por veinte caras triangulares y doce vértices. Las caras son triángulos equiláteros y en cada vértice se juntan cinco triángulos, por tanto, la suma de los ángulos en el desarrollo de cada vértice es de 300° (Fig. E47).

Tal y como se ha mostrado anteriormente¹³⁴, en cestería, el icosaedro se genera a partir de un cono de sector circular de 300° y el poliedro lo componen doce conos, uno por vértice. Su construcción es compatible con tejidos de trama triangular. Necesita seis series de cintas. Por tanto, una manera de construir el poliedro sería, primero, construir los doce conos y, posteriormente, juntarlos.

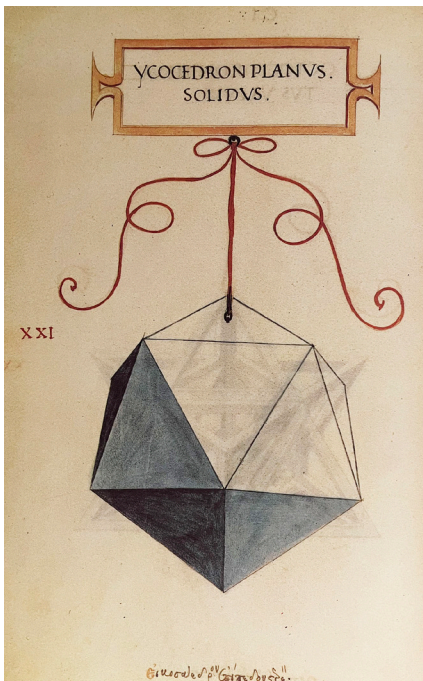


Fig. E47. Icosaedro. Ilustración de Leonardo da Vinci para el libro *La divina proporción* de Luca Pacioli

¹³⁴ En el apartado 3.5.4 se analiza la geometría del icosaedro en cestería.

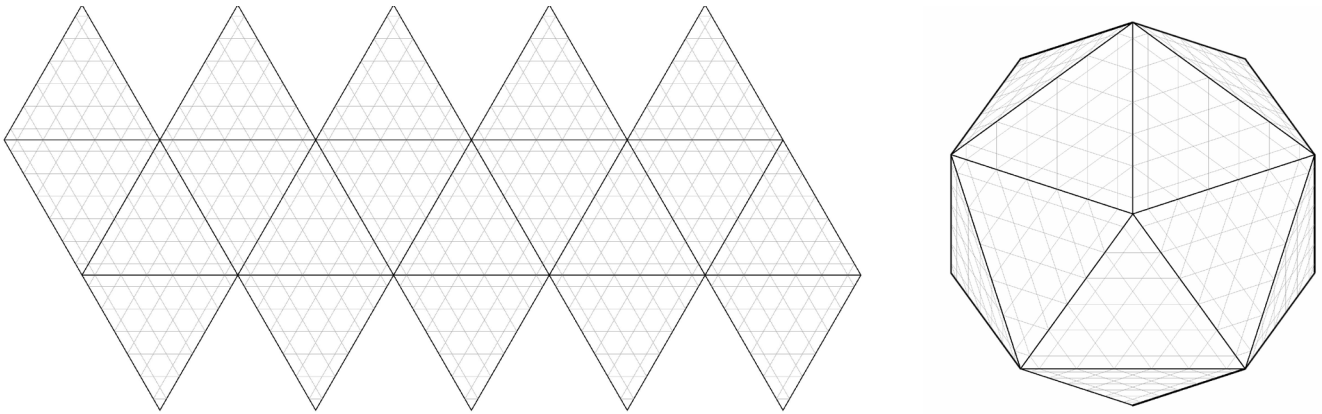


Fig. E48. Izq.: aplicación de la trama kagome al desarrollo del icosaedro. Dcha.: planta de icosaedro con trama

2. Modelado 2D de la trama:

Se dibuja en 2D la trama *kagome*¹³⁵ con la anchura de tira prevista, en este caso, la anchura de TPMC es de 2 cm.

3. Casar trama a forma-estudio

La trama triaxial *kagome* se compone de una red de triángulos y hexágonos que se alinean en tres direcciones de ejes. Para aplicar la trama al icosaedro, se debe dibujar la trama sobre la superficie desarrollada del poliedro, que se compone por veinte triángulos. La trama casa correctamente con los triángulos (Fig. E48).

¹³⁵ Este apartado se ha desarrollado en el apartado anterior, artefacto 01, denominado TR03-KA, correspondiente al desarrollo de la trama *kagome*.

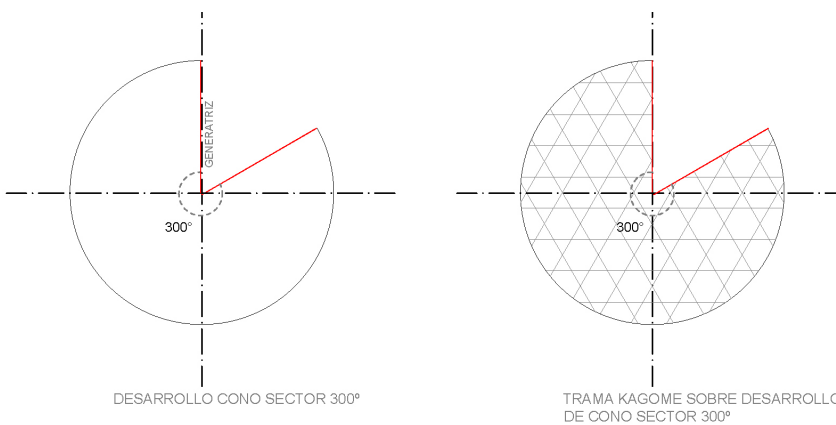


Fig. E49. Desarrollo del cono de sector 300° y aplicación de la trama kagome

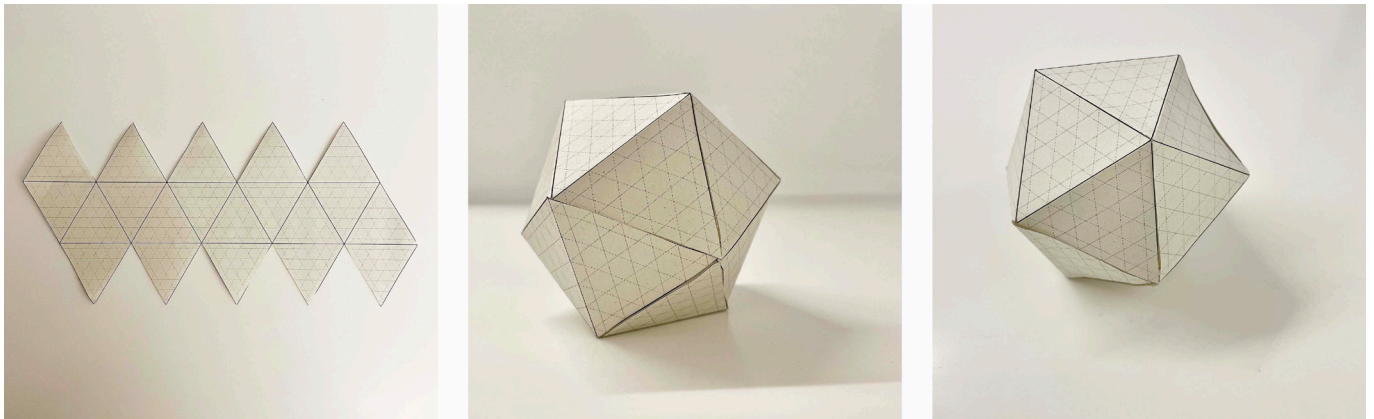


Fig. E51. Estudio de líneas geodésicas sobre maqueta de papel

Una vez que se comprueba que la trama casa con el poliedro, se estudia el vértice, es decir, se estudia la geometría de la trama en el cono de sector 300° (Fig. E49).

4. Modelo de papel:

En primer lugar, se realiza la maqueta de papel del poliedro con la trama dibujada para comprobar que la trama casa con la forma (Fig. E50).

A continuación, se estudian las líneas geodésicas (Fig. E51)

Para realizar una maqueta en papel de la forma básica del cono de sector 300° entretejido, se parte de la superficie correspondiente al desarrollo del mismo. Se dibujan los ejes de la trama *kagome* en la superficie 2D para que casen posteriormente en 3D. Se comprueba que, una vez se genera el volumen, las tres direcciones de ejes de la trama se unen entre sí (Fig. E52).

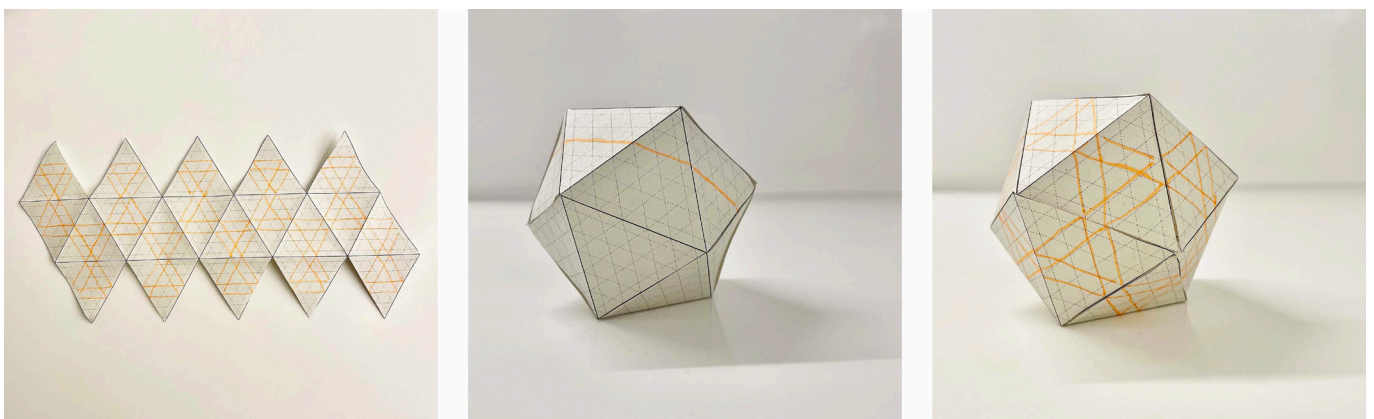


Fig. E50. Modelo en papel del cono de sector 300° con trama kagome dibujada



Fig. E52. Modelo en papel del cono de sector 300° con trama kagome dibujada

Tras ello, se estudian las líneas geodésicas. Las líneas rectas dibujadas sobre la superficie en planta se convierten en líneas geodésicas una vez que construido el volumen del cono (Fig. E53).



Fig. E53. Análisis de líneas geodésicas en modelo de papel de cono de sector 300°

5. Modelado digital 3D:

Para modelar el poliedro en 3D, primeramente, se modela el cono entretejido mediante el *software Rhinoceros* y, después, se crea el poliedro a través de la unión de los doce conos pertenecientes a los vértices del poliedro.

Para realizar correctamente el modelo digital del cono, hay que estudiar las líneas geodésicas en relación a las tiras planas que las conforman. Se deduce que el cono de 300° de desarrollo tiene cinco líneas geodésicas en torno al eje vertical del cono. Las cinco líneas geodésicas son de igual longitud e igual curvatura en torno a dicho eje del cono (Fig. E54 y E55).

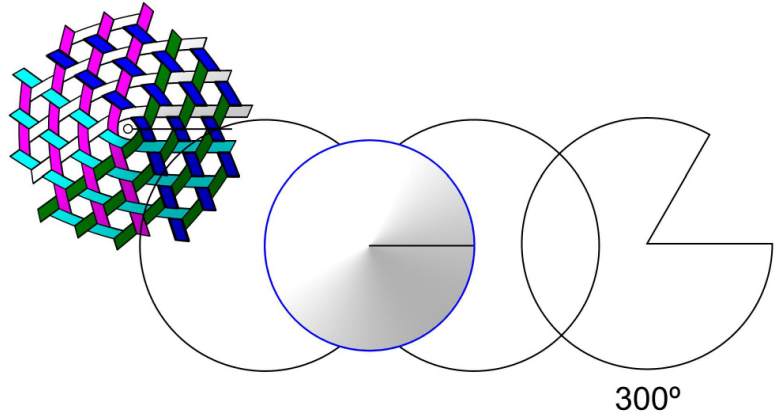
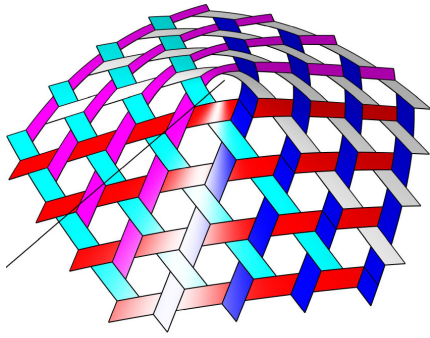


Fig. E54. Modelado 3D del cono de sector 300° y su desarrollo



Se estudia el vértice en el modelado digital. El vértice lo compone el nudo de unión entre las cinco cintas geodésicas superiores del cono, que son de la misma longitud y curvatura. Se comprueba que, en el vértice, se crea un pentágono entre las cinco primeras cintas entrecruzadas (Fig. E56).

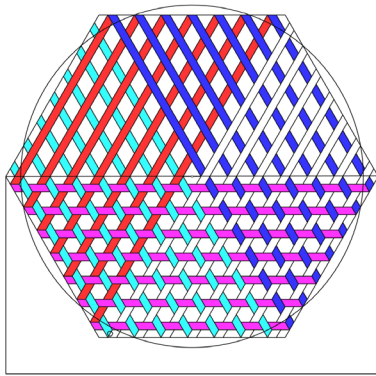


Fig. E55. Modelado del cono sector 300° con trama kagome y su desarrollo

Se analiza la curvatura de las tiras (Fig. E57).

Posteriormente, se elabora el esquema gráfico 2D del número y longitud de las TMCP necesarias para confeccionar cada unidad de cono entretrejado (Fig. E58).

El poliedro final se compone de doce conos de perímetro pentagonal que se unen entre sí (Fig. E59).

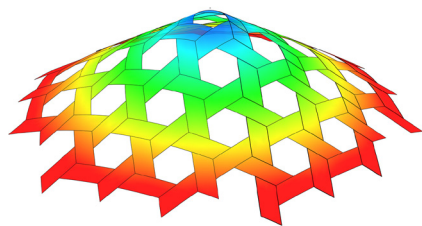


Fig. E57. Análisis de curvatura del cono de sector 300°

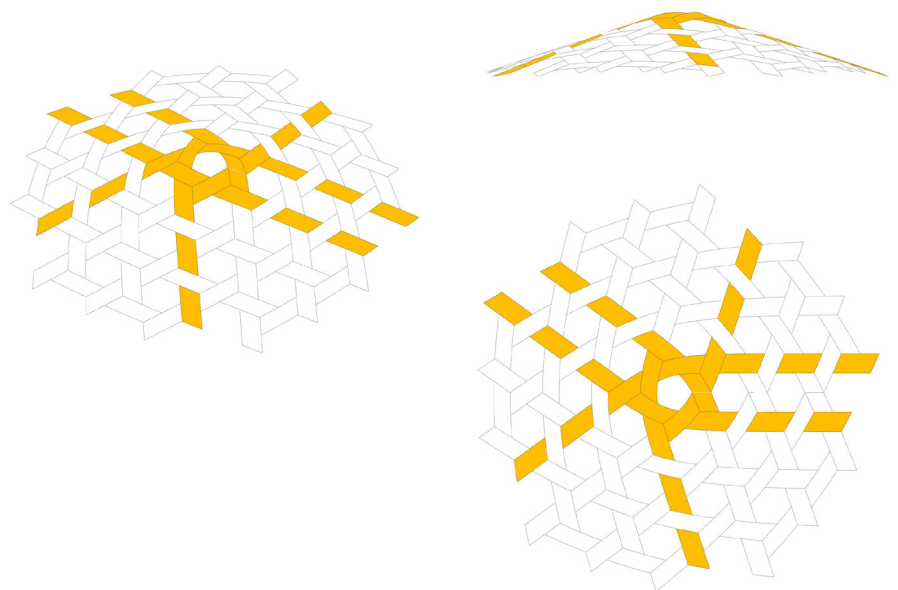


Fig. E56. Estudio de cintas geodésicas en el modelado 3D

6. Modelo con tira plana de papel

La confección con tiras de papel de la trama *kagome* es más laboriosa que la realizada con TPMC. La falta de adherencia de las tiras de papel complejiza su estabilidad y, por tanto, para esta figura compuesta por doce conos iguales, no se ha creído conveniente ensayar previamente el conjunto porque se entiende que no aporta información adicional al proceso. Solo se aconseja practicar la confección de al menos uno de los conos en caso de no tener mucha destreza en el entretrejido de dichos conos con TPMC. Si se crean dos conos, se puede ensayar la unión entre los mismos. En cualquier caso, este proceso con tira plana de papel es más tedioso porque hay que ir pegando las tiras según se confecciona y esto puede llevar bastante tiempo. En caso de disponer de suficiente material de TPMC, es preferible realizar un ensayo previo directamente con TPMC (Fig. E60).

7. Modelo digital 3D-revisión 1

Tras haber ensayado la confección de dos conos, se puede estudiar la unión entre los mismos (Fig. E61 y E62). Ese ensayo previo permite detectar posibles inconvenientes en el modelo digital inicial. Se decide que el remate se realice en el perímetro pentagonal mediante el encolando de dos tiras. La unión entre conos se va a realizar con piezas construidas de TPMC dobladas y encoladas, que funcionan como grapas de unión. En esta revisión del modelo digital, se define cómo se va a rematar cada cono para realizar la unión con otro cono (Fig. E63).

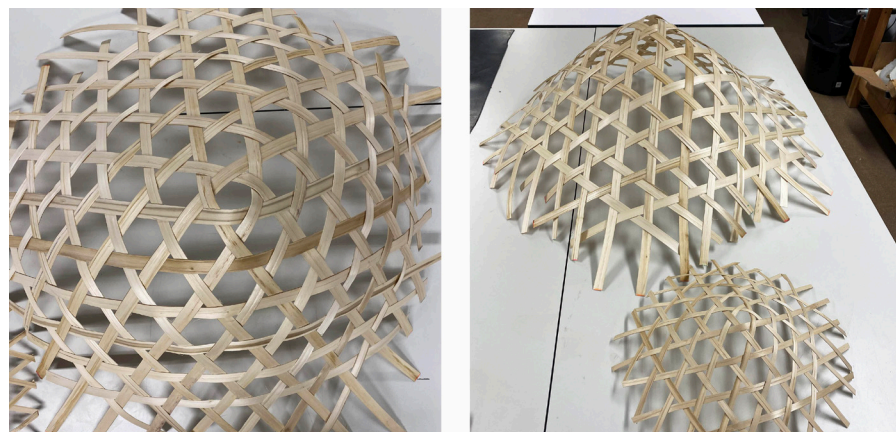


Figura E60. Cono de sector 300° confeccionado con TPMC de 2cm de ancho. Se compara con cono confeccionado con TPMC de 1cm de ancho

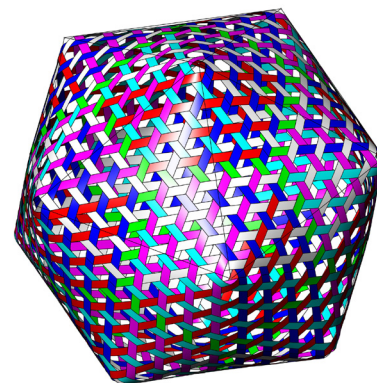


Fig. E59. Modelado del icosaedro mediante la unión de los doce conos con cintas de diferentes colores

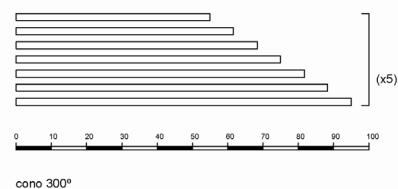


Fig. E58. Esquema de número de cintas y longitud necesarias para la confección

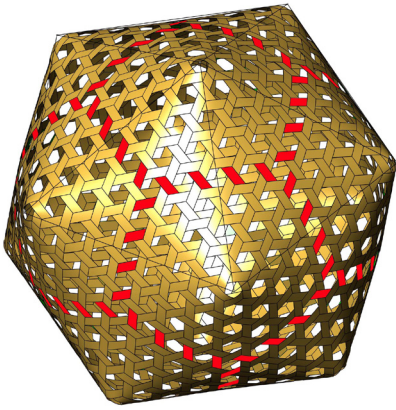


Fig. E61. Modelado del icosaedro mediante la unión de los doce

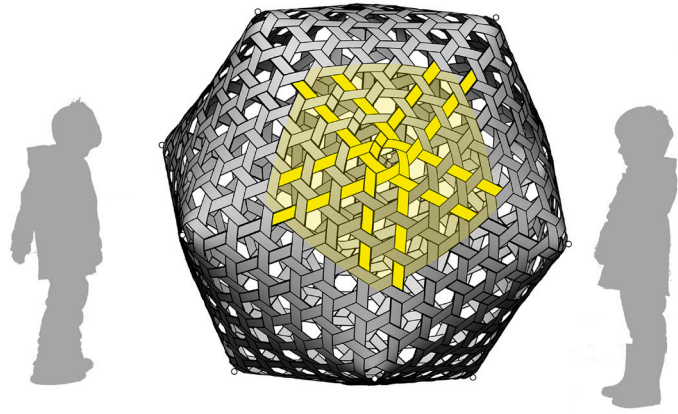


Fig. E62. Fotomontaje del Icosaedro para mostrar la escala real

8. Artefacto confeccionado con TPMC-modelo1

Se comienza por confeccionar una unidad de cono de sector 300° . Al tratarse de tiras más anchas y algo más gruesas que en los anteriores artefactos, antes de comenzar el entretejido, el material se ha tenido en remojo durante 24 horas.

La estrategia de montaje del cono se parece al posicono estudiado en el artefacto 02. Se comienza por trabajar el entramado de la superficie desarrollada en plano y, posteriormente, se entreteje el volumen.

Una vez construido un cono que conformará uno de los vértices del icosaedro (Fig. E64), se ha de plantear una estrategia de montaje para el conjunto, que surge a partir de unir los doce conos. Esta estrategia puede variar en función de la destreza que tenga la

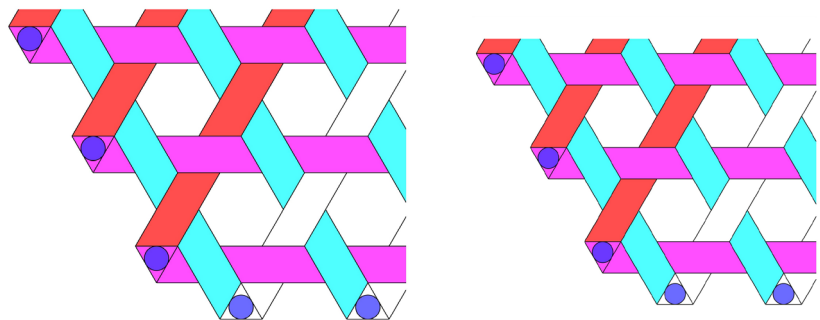


Fig. E63. Detalle de unión entre conos. Izq.: encolado de dos tiras. Dcha.: grapas de unión

persona o personas que vayan a confeccionar definitivamente el artefacto. En este caso, la mayoría de los artefactos están pensados desde un punto de vista docente, donde en muchos casos se puede trabajar en grupo.

Se ha comenzado por unir piezas que agrupan tres conos (Fig. E65). Las uniones se han realizado con TPMC encoladas a modo de grapas (Fig. E66). A continuación, se han ido uniendo entre ellas, hasta configurar el poliedro completo.

Tras haber investigado en la confección de multitud de formas entretejidas, que se han descrito en el capítulo 4 de esta tesis, en este capítulo 5, se ha aplicado de manera sistemática el método desarrollado en una serie de formas características, que siguen una secuencia que va aumentando su complejidad. No hay que olvidar que el método de los ocho pasos que se plantea en esta tesis es un proceso ideado para que cualquier persona no experta en el arte de la cestería (en nuestro caso, el alumnado) pueda resolver cualquier



Fig. E66. Grapas de unión realizadas con TPMC

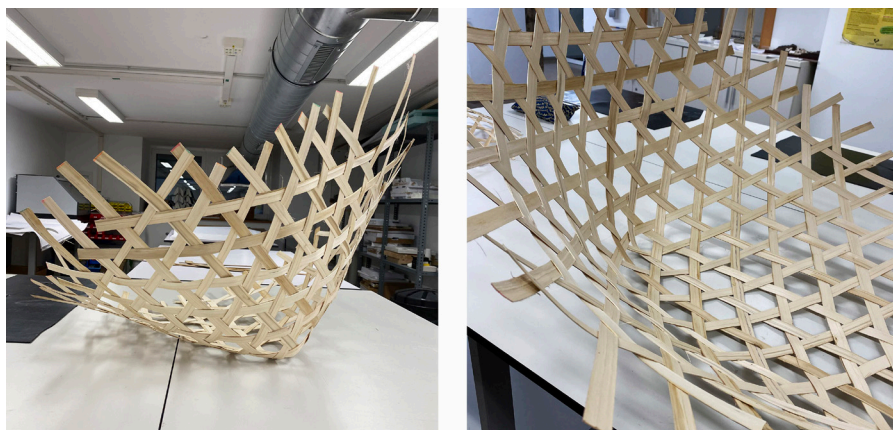


Fig. E64. Vértice de icosaedro entretejido con TPMC

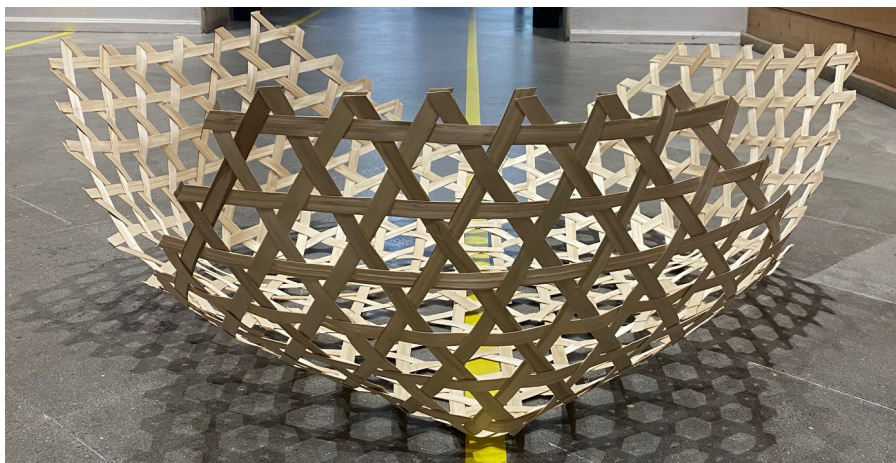


Fig. E65. Unión de tres conos del poliedro

forma geométrica entrelazada con tira plana. Es por ello que, en este artefacto donde se alcanza una complejidad elevada, se ve oportuno realizar un taller práctico o de enfoque, que puede considerarse un Focus Group del método que se propone en esta tesis.

Su desarrollo se realizó en la asignatura de geometría, partiendo del modelo del cono ya realizado con TPMC (Fig. E64), con el objetivo de que el alumnado confeccionara los once conos restantes, los uniera y terminase de crear el icosaedro entrelazado. De esta manera, se aprovecha para testar parte del método docente en el alumnado del Grado de Arquitectura y, así, comprobar si el método es viable. El taller se realizó en el curso 20/21 del Grado de Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de EHU/UPV. Se realizaron dos sesiones de trabajo, repartidas en dos días. El primer día, se realizaron los conos y, el segundo día, se montó el poliedro (Fig. 66). Al alumnado se le aportó, como base, un cono confeccionado con TPMC e información de los diferentes pasos de la metodología. De este modo, el alumnado pudo entender la figura y confeccionarla con técnicas de cestería. A continuación, se muestran diferentes imágenes del taller que realizaron durante los dos días¹³⁶ (Fig. E67 y E68).

¹³⁶ El taller se realizó con el profesor Dr. Antonio Sánchez Parandiet y el alumnado de la asignatura Taller de Formas Complejas de 5º curso (diciembre, 2020).

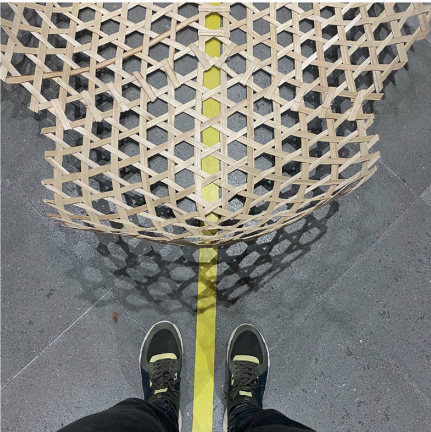
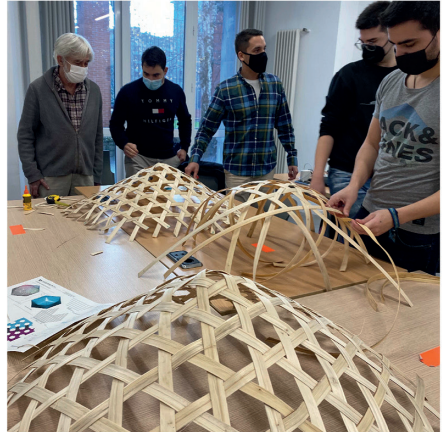
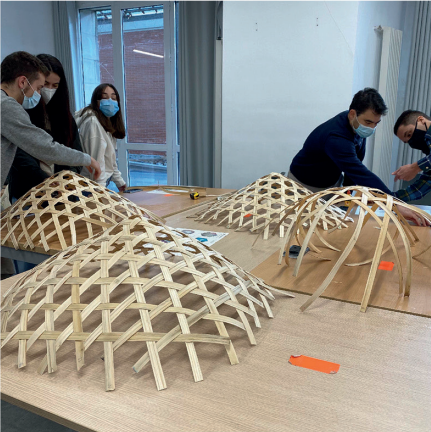
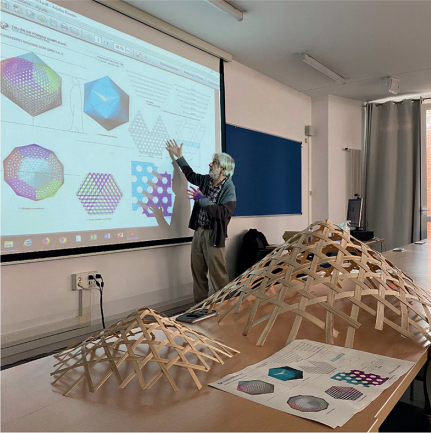


Fig. E67. Processo 01

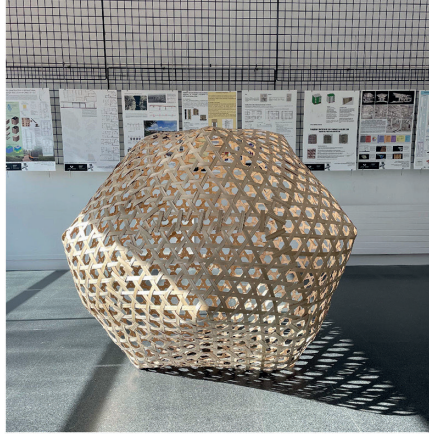
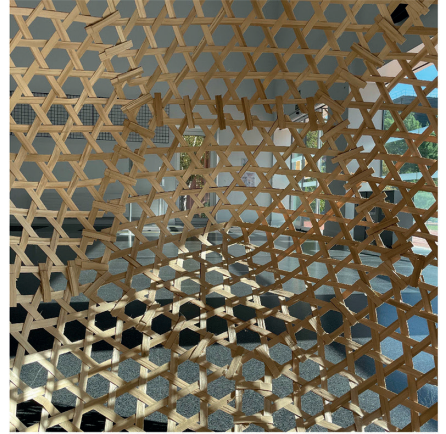
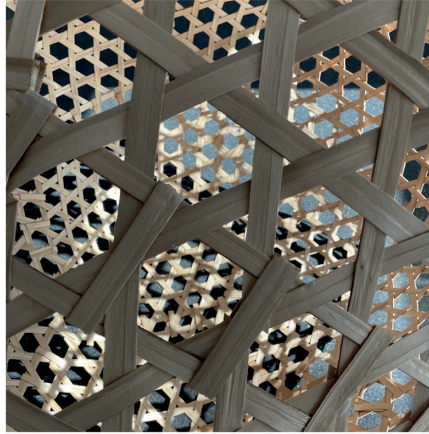
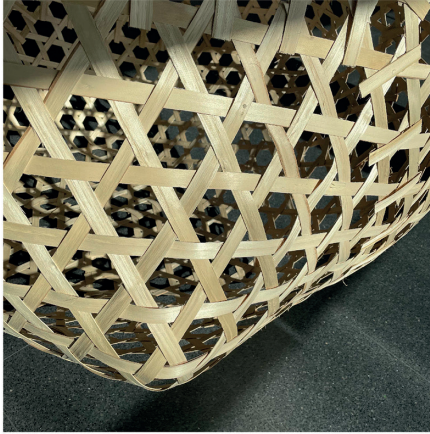


Fig. E68.Proceso 02

REFLEXIONES TRAS LA CONFECCIÓN DE LOS ARTEFACTOS

Una vez se ha mostrado el proceso de aplicación del método, paso a paso, en la confección de los 5 artefactos seleccionados, se recogen las reflexiones más relevantes.

La confección de la trama de tres series *kagome* con TPMC, en el **artefacto 01**, resulta una superficie plana que, una vez seca, se convierte en un entramado fuerte, rígido y, sobre todo, ligero. Las TPMC, al ser de madera natural, no son regulares en cuanto a forma y estética. No existen dos tiras idénticas, lo que hace que en la confección del entramado se cree una gama de tonalidades irrepetible.

En el cruce entre tres 3 tiras se crea un entrelazado triangular que aporta resistencia a la estructura del tejido de huecos hexagonales *kagome*. En los extremos del artefacto, las tiras no están entretrejidas en las tres direcciones y no quedan bien sujetas, por tanto, necesitan de un remate. Hay que resaltar que es más fácil realizar el modelo con TPMC que con tiras de papel, porque la rugosidad de la madera ayuda a que las tiras se agarren entre sí durante el proceso de confección del mismo.

La construcción de la trama *kagome* es rápida, comparada con la de otros tipos de tramas de cestería. El entretrejido se hace dejando huecos hexagonales, lo que permite avanzar rápido en la elaboración del tejido. Un porcentaje importante de la superficie entretrejida de la trama *kagome* es hueco. La proporción hueca de la superficie del entramado depende de la anchura de la cinta, incluso de su espesor. Por ejemplo, la superficie hueca de la trama de la ilustración es aproximadamente una tercera parte de la superficie total (Fig. E69).

Por lo cual, la trama *kagome* resulta interesante para crear arquitecturas entretrejidas donde se necesiten superficies que dejen filtrar la luz, transmitan calidez y, a su vez, sean ligeras.

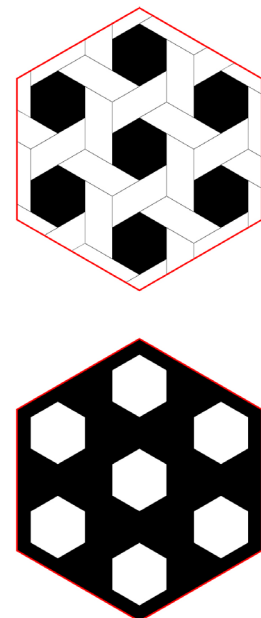


Fig. E69. Ejemplo de comparación entre superficie material y superficie hueca en la trama *kagome*

La TPMC, si está húmeda, es muy flexible y se teje fácilmente en la creación de volúmenes geométricos básicos. En los casos de las formas cónicas, como son los **artefactos 02 y 03**, la trama se ha adaptado correctamente a la forma geométrica.

En el cono de sector 180° entretejido, es decir, el artefacto 01, el vértice es muy agudo y las tiras, que se cruzan en él, sufren un radio de curvatura muy estrecho. La tira de castaño debe estar bien húmeda y ser de buena calidad para que no se parta a la hora de entretejer las zonas con curvatura crítica. El programa de modelado digital 3D ha permitido detectar el punto crítico de mayor curvatura de la TPMC. Sin embargo, en el proceso de confección artesanal, no se ha podido evitar que a dos de las tres tiras del vértice se les haya partido la fibra. El motivo de la ruptura puede deberse a varias razones: a la falta de calidad de la tira, a la falta de humedad de la misma o al exceso de presión manual a la hora de su confección.

En el cono de sector 420° , ocurre lo contrario, contiene curvaturas más suaves y las tiras sufren menos. Cabe destacar que este cono tiene un proceso de confección menos intuitivo que el anterior, por lo que precisa de una estrategia de montaje más compleja.

Si se analiza el siguiente caso, el **artefacto 04** es una combinación cono-cilindro y el resultado no tiene la perfección que logra obtener el modelo digital 3D. En el modelo digital previo al montaje, no se ha tenido en cuenta la medición de la dimensión correcta de los aros de sustentación de los cilindros. Una vez comenzada la confección de la figura con TPMC, no ha sido posible modificar la dimensión de los aros debido a que el entramado *kagome* queda perfectamente entrelazado. Es destacable que, a pesar de la concentración mental que requiere entretejer un artefacto de estas características, no se ha podido garantizar un resultado perfecto.

Otro ejemplo de combinación entre formas básicas es el **artefacto 05**. En origen, su forma geométrica es un poliedro, concretamente, un icosaedro. En cestería, la figura se convierte en una combinación de conos, por lo que desaparecen las aristas originales. El artefacto se ha realizado con una tira el doble de gruesa y ancha que los anteriores ejemplos, de modo que las tiras se han tenido que tener más tiempo en agua para que estén flexibles durante el proceso de entretejido.

Definir la estrategia de unión de los 12 conos que forman la figura poliédrica ha sido una de las partes más complicadas del proceso, pero se ha podido resolver gracias al método que incluye el estudio de la geometría mediante un *software* de modelado 3D.

Se ha querido comprobar si el método que se plantea en esta investigación puede llegar a ser efectivo con el alumnado de Grado en Arquitectura. Para ello, se ha testado el método de confección del quinto artefacto mediante un taller de enfoque realizado con los estudiantes. La finalidad del método es que el alumnado tenga una metodología clara de trabajo para poder confeccionar nuevas formas entretejidas con tira plana.

Mediante este taller, se ha comprobado que el método propuesto funciona, ya que el alumnado ha sido capaz de confeccionar una figura compleja a partir de los 8 pasos de la metodología (Fig. E70).



Figura E70. Icosaedro entretrejado con TPMC y trama kagome en el hall de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de EHU/UPV

CONCLUSIONES	181
CONCLUSIONES EN TORNO A LA ARQUITECTURA ENTRETEJIDA	181
CONCLUSIONES EN TORNO A LA CESTERÍA	183
CONCLUSIONES EN TORNO A LA GEOMETRÍA DE LAS SUPERFICIES ENTRETEJIDAS	184
CONCLUSIONES EN TORNO AL MÉTODO Y CONFECCIÓN DE LOS ARTEFACTOS	185
CONSIDERACIONES GENERALES	186
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	187

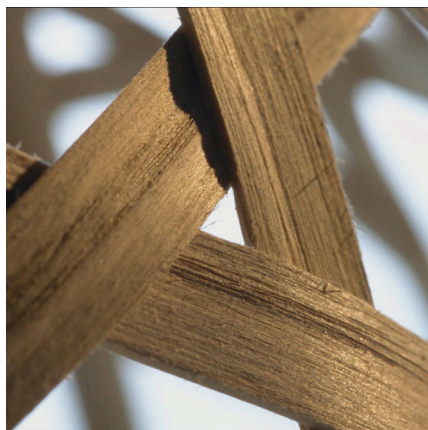


Fig. F01. Detalle de artefacto entretelado con TPMC (foto: Javi Agirre Arauso)

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que en la investigación se funden dos disciplinas como la geometría y la cestería, se han estructurado las conclusiones en 4 bloques principales. Este apartado termina con la síntesis de la conclusión y las futuras líneas de investigación.

Conclusiones en torno a la arquitectura entretelada

a) Las arquitecturas entreteladas tienen su base en la cestería.

A lo largo de la historia, las técnicas tradicionales manuales y materiales, empleadas en la cestería, se han tratado a una escala mayor para la creación de elementos arquitectónicos, tales como mobiliario, cerramientos y cubiertas. El escalado se ha realizado de manera natural, teniendo en cuenta las limitaciones del material de cada lugar y las necesidades arquitectónicas del momento.

b) Se aprecia cómo arquitectos contemporáneos de renombre están experimentando con arquitecturas entreteladas mediante el uso de materiales, técnicas del entretelado y formas vinculadas a la cestería.

Entre las arquitecturas entreteladas contemporáneas están, entre otras, las que imitan la forma acabada del cesto. Destacan las que realizan un cambio de escala tan grande que, en muchos casos, necesitan suplir el material cestero por otro material constructivo apropiado (ejemplo: Centro Cultural Jean-Marie Tibaou, 1998. Renzo Piano).

El material que se utiliza para tejer diferentes trabajos de cestería puede servir como material constructivo en proyectos arquitectónicos, pero

a una escala muy grande, su ejecución artesanal debe ser controlada, detallada y cuidada para un resultado correcto. (Ejemplo: Pabellón de España en Shanghái, 2010. EMBT).

El uso de los materiales de cestería en proyectos de diseño de interiores crea sensación de calidez. Una temperatura del espacio se compone por la temperatura física, por la que dan los materiales —cada material extrae una temperatura diferente del cuerpo que lo toca— y de una probable temperatura psicológica, que es la que se ve y la que se siente (Zumthor, 2019). (Ejemplo: tienda Isabel Marant de Bankog, 2014. Cigüe).

Los proyectos de arquitecturas entretejidas que utilizan, incluso imitan, alguna técnica de la cestería como solución constructiva crean atmósferas interiores cambiantes. El entramado funciona como filtro creador de juegos de luces y sombras en el interior de los espacios, sensibles a los cambios de la luz solar. Dichas técnicas también pueden crear infinidad de texturas, así como juegos de luces y sombras también en el propio entramado. (Ejemplo: varios proyectos de Shigeru Ban).

c) En las arquitecturas entretejidas existe una relación directa entre la confección y la representación gráfica arquitectónica. La dificultad de representación de los tejidos o tramas aplicadas a la forma ha limitado su evolución geométrica hasta la llegada de la era digital. Los *softwares* de modelado 3D han permitido evolucionar y crear formas que sin ellos no se podrían controlar. (Ejemplo: Pabellón de España en Shanghái, 2010. EMBT).

d) Problema de escala entre maqueta y realidad. Shigeru Ban afirma que la belleza de las artesanías se ha investigado tan profundamente, y se ha probado tantas veces a lo largo de los siglos, que se puede transferir fácilmente a una escala mayor (Mineva, 2017).

En los croquis de la mediateca Sendai de Toyo Ito, los núcleos estructurales aparentan ser entretejidos ligeros semejantes a algas marinas que parecen flotar evocando ligereza. Una vez construidos y dimensionados a las necesidades reales del edificio, los núcleos pierden esa ligereza de los dibujos iniciales y se convierten en estructuras robustas para el espectador.

La artesanía surge de la destreza manual, del entrenamiento y de la experiencia; del compromiso personal, y también del juicio. Todo buen artesano mantiene un diálogo entre unas prácticas concretas y el pensamiento; este diálogo evoluciona hasta convertirse en hábitos, lo que establece a su vez un ritmo entre la solución y el descubrimiento de problemas.

(Richard Sennett citado por Pallasmaa, 2012)

Conclusiones en torno a la cestería

e) La cestería es una técnica ancestral. Los elementos confeccionados mediante entretrejo de fibras por el reino animal han sido referentes para el ser humano. Es una técnica artesanal manual de gran valor patrimonial, que se extiende por todo el mundo. Su transmisión sigue siendo oral y su conocimiento está en peligro de extinción. Existe una necesidad real de documentar el conocimiento para su preservación.

La cestería de TPMC prácticamente ha desaparecido en Euskal Herria.

Una de las lecciones que hay que aprender de nuestros envases tradicionales es que nuestra satisfacción interior y espiritual no puede encontrarse únicamente en la abundancia material. En este sentido, los envases tradicionales japoneses son nada menos que una manifestación del amor japonés por las cosas espirituales, un amor que nosotros, y las personas de todo el mundo moderno, debemos apresurarnos a recuperar si no queremos que desaparezca para siempre.

(Oka & Oka, 2008)

f) La cestería se construye manualmente.

g) La cestería se ha adaptado a muchos ámbitos: arte, arquitectura, matemáticas, educación, medicina (hay que destacar algunas propiedades terapéuticas de la cestería: es relajante, ayuda a la concentración, ejercita la actividad mental, fomenta la creatividad, etc.). En los últimos años están apareciendo líneas de investigación que interrelacionan disciplinas como matemáticas, cestería, antropología, por medio de la combinación de técnicas digitales, la parametrización o el diseño generativo, por ejemplo.

h) La cestería puede ser una actividad sostenible. El proceso completo de confeccionar un cesto, desde plantar, recolectar y preparar el material, hasta tejerlo, se ha realizado en el mismo caserío. Por tanto, se puede decir que la cestería ha sido una actividad KM 0. El punto de origen del producto y su lugar de consumo final ha sido el mismo.

i) La cestería japonesa es un referente. En ella se han combinado la funcionalidad y el arte. El sentido de los valores en Japón ha llevado a los artesanos a perfeccionar su arte durante generaciones (amor y belleza son el motor que impulsa la actividad).

En la imperfección de la artesanía, se encuentra la diferencia y la belleza.

j) En el proceso de confección de un artefacto cesterero, se disfruta.

Conclusiones en torno a la geometría de las superficies entretejidas

k) Mediante el estudio de las geometrías de superficies entretejidas se ha mostrado que la cestería se fundamenta en la geometría.

Tener conocimientos en geometría ayuda a entender las diferentes generaciones de formas entretejidas realizadas con diferentes técnicas y materiales.

l) Las líneas geodésicas son muy importantes en cestería, sobre todo, en la entretejida de tira plana. Es la técnica que más complejidad tiene a la hora de diseñar, incluso de construir, porque tiene el condicionante de que la trama debe casar con la forma final. Las tiras, al ser planas, deben cruzarse con las demás tiras en el mismo plano y, para ello, deben seguir las líneas geodésicas de la forma final. De este modo, el entretejido queda continuo.

m) Las formas geométricas cónicas son muy utilizadas en cestería. Los conos combinan bien tanto entre ellos como con otras formas básicas. Los cilindros no combinan bien entre ellos.

n) En la confección de formas poliédricas, en cestería, las aristas desaparecen y se redondean.

o) Los *softwares* digitales de modelado 3D y parametrización son herramientas útiles para poder representar, analizar y entender la geometría de diferentes superficies entretejidas. Con *Rhinoceros* se pueden prever los puntos críticos de mayor curvatura. Mediante la parametrización se pueden crear, entre otras cosas, infinidad de tramas y sargas.



Fig. F02. Artefactos 03 y 04
entretejidos con TPMC
(foto: Javi Agirre Erauso)

Conclusiones en torno al método y confección de los artefactos

Se ha planteado un método para el estudio y la confección de una selección de artefactos entretejidos con TPMC siguiendo unas formas geométricas representativas. Se ha podido aplicar el método a los 19 artefactos que se han elaborado en el laboratorio de experimentación personal que se ha creado específicamente para esta tesis.

La técnica de cestería requiere trabajar con agilidad para que el material no se seque y no pierda flexibilidad en el proceso de tejer, por lo que hay poco margen para resolver imprevistos. El modelado digital permite estudiar detenidamente y prever, de antemano, los posibles puntos críticos del proceso de confección. La condición de tener que tejer con cierta prisa, para evitar el secado del material, puede provocar errores durante el proceso de confección de la pieza. La concentración de la mente en el proceso de la confección manual es plena.

La combinación de formas geométricas básicas en cestería ofrece resultados inesperados, como ocurre, por ejemplo, en el vértice del dodecaedro hueco confeccionado. Las formas poligonales que configuran la figura original no se reconocen en el artefacto entretejido con TPMC completamente acabado. La confección con TPMC desfigura las aristas que limitan las diferentes geometrías que componen la figura. Las formas resultantes entretejidas con TPMC son formas complejas, que pueden resultar sugerentes desde un punto de vista arquitectónico.

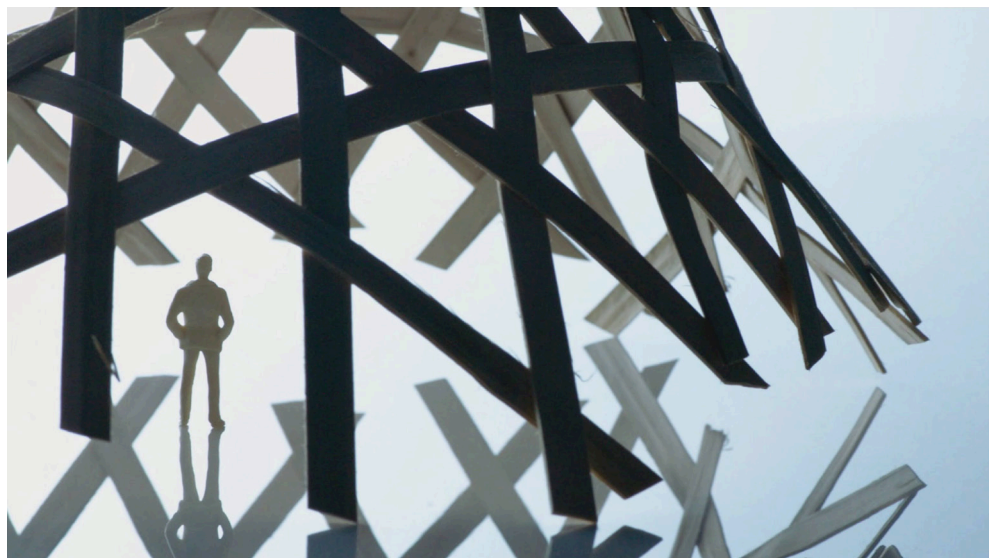
Una mínima variación en el proceso de confección puede permitir el surgimiento de múltiples formas, arquitecturas potenciales que, trabajadas a diferentes escalas, pueden ser el origen de sugerentes espacios interiores, incluso cerramientos y estructuras (Fig. 02, 03, 04 y 05).

Consideraciones generales

Mediante esta tesis se ha podido demostrar que la introducción en el proceso de aprendizaje creativo de las técnicas artesanales manuales, centradas en la cestería de TPMC, son fundamentales porque:

- Se mantiene el control del proceso de principio a fin, desde el proyecto hasta su construcción final.
- Se trabajan la habilidad manual y la espacialidad.
- Se desarrolla la atención consciente.
- Ayudan a la preservación de conocimientos de la cestería tradicional.
- Permiten experimentar con tecnologías avanzadas, como los *softwares* de modelado digital y la parametrización, para confeccionar nuevas formas.

Además, se ha podido corroborar, no sólo en el desarrollo de los casos estudiados en el laboratorio de creación personal, sino en la confección de los modelos que se han podido desarrollar en las clases de Geometría, que el método que se ha planteado para construir los artefactos entretejidos funciona incluso en personas no expertas en cestería, como ha podido probarse con el alumnado.



*Fig. F03. Artefacto 02 entretejido con TPMC
(foto: Javi Agirre Erauso)*

Futuras líneas de investigación

Como se ha comentado con anterioridad, esta tesis tiene un carácter iniciático. Tras sentar las bases que enlazan la cestería a la geometría para el control de las formas arquitectónicas entretejidas, se abre un campo infinito.

- Siguiendo con la misma técnica de cestería y material, la TPMC, se podrían explorar muchas otras combinaciones de formas geométricas, profundizando incluso en formas complejas.
- Se podría adaptar el método a otros tipos de madera, o incluso a otro tipo de materiales.
- Se podría extender el análisis a otro tipo de cestería, como por ejemplo la de mimbre, siguiendo los contenidos del capítulo 03.
- Se podría estudiar la adaptabilidad y deformación resultante entre los modelos digitales 3D y los modelos físicos. Para ello podrían aplicarse técnicas de escaneado láser 3D o de fotogrametría. Estos procesos darían como resultado nubes de puntos y mallas que podrían compararse tanto con artefactos ya construidos como con los modelos digitales previos.
- En cualquiera de los casos, incluso tomando como base los modelos de esta tesis, se podría extender el método para que el conocimiento de la cestería pudiera tener una transferencia universal en formato digital.
- Todos estos modelos digitales 3D pueden llevar incrustada cualquier información adicional como, por ejemplo, datos



Fig. F04. Interior de artefacto 02 entretejido con TPMC (foto: Javi Agirre Erauso)

cuantitativos y cualitativos de investigaciones etnográficas previas, vídeos del montaje de los artefactos, etc. Los modelos se pueden colgar en plataformas webs gratuitas para que se puedan replicar de manera universal. De esta manera se podría preservar esta técnica tradicional ancestral.

Si los artesanos y diseñadores del antiguo Japón podían crear belleza con sus materiales, ¿vamos a aceptar hoy la derrota cuando nos enfrentemos a nuestros nuevos materiales y a nuestra nueva forma de vida?

(Oka & Oka, 2008)



Fig. F05. Artefacto 03 entretejido con TPMC
(foto: Javi Agirre Erauso)

BIBLIOGRAFIA

(A.V., 2021). A.V., A. (2021). Kait Plaza, Atsugi—Junya Ishigami. *Arquitectura Viva*. www.arquitecturaviva.com

(Adovasio, 2016). Adovasio, J. M. (2016). *Basketry Technology: A Guide to Identification and Analysis*, Updated Edition (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315433257>

(Adovasio, 2021). Adovasio, J. M. (2021). *Fifty years with baskets*. *North American Archaeologist*, 42(2), 119-139. <https://doi.org/10.1177/0197693120963446>

(Alfaro Giner, 1980). Alfaro Giner, C. (1980). *Estudio de los materiales de cestería procedentes de la cueva de los Murciélagos (Albunol, Granada)*. , 37, 109-162

(Amorós Oskoz, 1998). Amorós Oskoz, J. (1998). *La cestería del castaño en Durangaldea* [i.e. Durangaldea]: Juan Unzueta. Arbaso.

(Apsari & Dewi, 2021). Apsari, D. P., & Dewi, O. C. (2021). *Bamboo as a structural element of architectural buildings in tropical climates*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 673(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/673/1/012021>

(Archer, 1979). Archer, B. (1979). *Design as a Discipline in Design Studies* Vol. 1, No 1, pp17-20.

(Archer, 1995). Archer, B. (1995). *Nature of Research in Co-design*, *interdisciplinary journal of design*. pp6-13.

(ASALE & RAE, s. f.). ASALE, R.-, & RAE. (s. f.). *Diccionario de la lengua española*. Edición del Tricentenario. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://dle.rae.es/diccionario>

(Ayres et al., 2018). Ayres, P., Martin, A. G., & Zwierzycki, M. (2018). *Beyond the Basket Case: Advances in Architectural Geometry* 2018. AAG 2018, 72-93

(Ayres et al., 2020). Ayres, P., Bornaz, S., Orlinski, A., Heimrath, M., & Martin, A. G. (2020). *Architectural Scale Kagome Weaving: Fabricate*. *Fabricate* 2020, 178-185

(Ayres et al., 2021). Ayres, P., Ji, Y.-W., Young, J., & Martin, A. (2021, abril 1). *Meshing with Kagome Singularities: Topology adjustment for representing weaves with double curvature*.

(Bajet Mena, 2021). Bajet Mena, P. G. (2021). PhD: Grasping Knowledge Through Design Speculation. JIDA. <https://doi.org/10.5821/jida.2021.10564>

(Barcellos & Broega, 2018). Barcellos, L. F., & Broega, A. C. (2018, octubre 31). *Co-design of designers and artisans, valorisation and communication of the partnership—A reflection for sustainable fashion design*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>

(Benton, 2014). Benton, J. C. H. A. A. (2014). *Bamboo and rattan production and the implications of globalization*. En *Forests and Globalization*. Routledge

(Bichard, 2008). Bichard, M. (2008). *Baskets in Europe*. Fyfield Wick

(Bincsik, 2017). Bincsik, M. (2017). *Japanese Bamboo Art, The Abbey Collection—The Metropolitan Museum of Art Bulletin—Spring 2017*.

(Bunn & Mitchell, 2020). Bunn, S., & Mitchell, V. (Eds.). (2020). *The material culture of basketry: Practice, skill and embodied knowledge*. Bloomsbury Visual Arts

(Butcher, 1999). Butcher, M. (Ed.). (1999). *Contemporary international basketmaking*. Merrell Holberton.

(Campo Baeza, 2009). Campo Baeza, A. (2009). *Pensar con las manos*. Nobuko.

(Casado et al., 2021) Casado, A., Sánchez, A., Marieta, C., & Leon, I. (2021). *Use of Flat Interwoven Wooden Strips in Architecture and Construction*. Simulation and Optimization Using 3D Digital Models. Sustainability, 13(11), 6383. <https://doi.org/10.3390/su13116383>

(Castellote Herrero, 1982). Castellote Herrero, E. (1982). *Artesanías vegetales*. Editora Nacional

(Chanes, 2002). Chanes, R. (2002). *Deodendron: Árboles y arbustos de jardín en clima templado*. Blume.

(Cross, 1982). Cross, N. (1982). *Designerly ways of knowing*. Design Studies Vol 3, No 4, pp221-227. De Walche, J. and Komossa, S. (2013). 'Architectural research vis-à-vis Research-by-design' in De Walsche, J. and Komossa, S. (Eds.) 2016. Prototypes and Paradigms. (DR_SoM: Design Research, Series

(Cruz, 2019). Cruz, P. J. S. (Ed.). (2019). *Structures and architecture: Bridging the gap and crossing borders*, proceedings of the fourth International Conference on Structures and Architecture (ICSA 2019), Lisbon, Portugal, 24-26 July 2019. CRC Press.

(Fontales, 2005). Fontales, C. (2005). *Cestería de los pueblos de Galicia*. Ir Indo

(Fontales, 2013). Fontales, C. (2013). *Más que cestos: Cestería española = More than baskets: Spanish basketry*. C.M. Fontales Ortiz.

(Garmendia Larrañaga, Juan, 2007). Garmendia Larrañaga, Juan. (2007). *Euskal esku-langintza / Artesanía vasca*.

(González, 2016). González, P. (2016). *Adaptación de superficies de doble curvatura mediante superficies desarrollables*. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, 21(27), 210. <https://doi.org/10.4995/ega.2016.4741>

(Gregor y Hevner, 2013). Gregor, S.; Hevner, A. *Positioning and presenting design science research for maximum impact*. MIS Quart. 2013, 337–355.

(Gregor y Jones, 2007). Jones, D.; Gregor, S. *The anatomy of a design theory*. J. Assoc. Inform. Syst. 2007, 8, 1.

(Hammond, 2014). Hammond, J. (2014). *Willow basketry and sculpture*. Crowood. <http://www.myilibrary.com?id=861826>

(Harvey, 1986). Harvey, V. I. (1986). *The techniques of basketry* (Rev. ed.). University of Washington Press.

(Hendry, 1993). Hendry, J. (1993). *Wrapping culture: Politeness, presentation, and power in Japan and other societies*. Clarendon Press

(Herrera, 2021). Herrera, A. (2021, septiembre). *Ecos y reflejos. Confluencias entre los procesos artesanos manuales y la generación formal en el proyecto arquitectónico*. Primer Congreso Internacional "Arquitectura y Persona", Universidad Francisco de Victoria en Madrid.

(Hevner et al. 2004). Hevner, A.; March, S.; Park, J.; Ram, S. *Design science in information systems research*. MIS Quart. 2004, 28, 75–105.

(Holmström et al., 2009). Holmström, J.; Ketokivi, M.; Hameri, A.P. *Bridging practice and theory: A design science approach*. Decis. Sci. 2009, 40, 65–87.

(Janick, 2014). Janick, J. (2014). Horticulture and Art. En G. R. Dixon & D. E. Aldous (Eds.), *Horticulture: Plants for People and Places*, Volume 3: Social Horticulture (pp. 1197-1223). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8560-0_10

(Jo Stealey, 2014). Jo Stealey. (2014). *Bringing Fiber to Art and Art Fiber*. Textile society of América Symposium Proceeding, Los Angeles, California.

(Kuoni, 2003). Kuoni, B. (2003). *Cestería tradicional ibérica*. Ediciones del Aguazul.

(Lee, 1985). Lee, M. (1985). *Objects of Knowledge: The Communicative Aspect of Baleen Baskets*. Études/Inuit/Studies, 9(1), 163-182.

(León & Pérez, 2018). León, I. and Pérez, J. (2018) *Docencia colaborativa en BIM. Desde la tradición y dirigida por la expresión gráfica arquitectónica*. Revista EGA, [S.l.], v. 23, n. 32, p. 76-87, mar. 2018. <https://doi.org/10.4995/ega.2018.9077>

(Lipczynska, 2008). Lipczynska, S. (2008). Basketry: A World Guide to Traditional Techniques200886Bryan Sentance. *Basketry: A World Guide to Traditional Techniques*. London: Thames & Hudson 2007. 216 pp., ISBN: 978 0 500 28670 8 £16.95 \$31.95 Reprint of hardback published 2001. Reference Reviews, 22(2), 44-45. <https://doi.org/10.1108/09504120810855110>

(March y Smith, 1995). March, S.; Smith, G. *Design and natural science research on information technology*. Decis. Supp. Syst. 1995, 15, 251–266.

(Miller, 1987). Miller, W. C. (1987). *Furniture, Painting, and Applied Designs: Alvar Aalto's Search for Architectural Form*. The Journal of Decorative and Propaganda Arts, 6, 6. <https://doi.org/10.2307/1503910>

(Mineva, 2017). Mineva, V. (2017). *Shigeru Ban's architecture in the context of traditional craft techniques*.

(Muntañola Thornberg et al., 2016). Muntañola Thornberg, J., Saura Carulla, M., Beltran Borràs, J., Mendoza Kaplan, L., & Méndez Rodríguez, S. (2016). *Representar y proyectar arquitecturas en la era digital*. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, 21(27), 42. <https://doi.org/10.4995/ega.2016.4728>

- (Museo Municipal de San Telmo, 1997).** Museo Municipal de San Telmo. (1997). Catálogo exposición, *Zura ehunduz = Tejiendo madera*, San Telmo Museoa. San Telmo Museoa
- (Novellino, 2005).** Novellino, D. (2005). Baskets of the world. *The social significance of plaited crafts*. IVth International Congress of Ethnobotany, Yeditepe University, Estambul
- (OECD, 2015).** OECD. (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. The Measurement of Scientific, Technological Innovation Activities, OECD Publishing, Paris.
- (Oka & Oka, 2008).** Oka, H., & Oka, H. (2008). *How to wrap five eggs: Traditional Japanese packaging*. Weatherhill; Distributed in the U.S. by Random House
- (Okonkwo, 2017).** Okonkwo, I. E. (2017). *The product categories, challenges and prospects of handicraft production in Nigeria*. *Igwebuike: An African Journal of Arts and Humanities*, 3(no5)
- (Ortega, 2021).** Ortega, P. J. C. (2021, marzo 29). Zara Home inaugura en A Coruña su nuevo concepto de tienda. Harper's BAZAAR_ www.harpersbazaar.com
- (Pacioli & González Rodríguez, 1987).** Pacioli, L., & González Rodríguez, A. M. (1987). *La divina proporción*. Akal.
- (Pallasmaa et al., 2020).** Pallasmaa, J., Smith, E., Keyl, W. F., & Vázquez, P. (2020). *Animales arquitectos*. Gustavo Gili
- (Pallasmaa, 2012).** Pallasmaa, Juhani. (2012). *La mano que piensa*. Gustavo Gili.
- (Petit, 1985).** Petit, J.-P. (1985). *Les aventures d'Anselme Lanturlu. 12: Le topologicon* / Jean-Pierre Petit. Belin.
- (Preston, 2016).** Preston, K. (2016). *The Use of Basketry in The Hulls of Vietnamese Seagoing Boats*. The Status as of 2015 and The Question of The Future. *Moussons. Recherche En Sciences Humaines Sur l'Asie Du Sud-Est*, 27, 23-58. <https://doi.org/10.4000/moussons.3505>
- (Sánchez Sanz, 1982).** Sánchez Sanz, M. E. (1982). *Cestería tradicional española*. Editora Nacional.
- (Sánchez, 2020).** Sánchez, X. (2020). *Plan de exportación de artesanías de fibras naturales hacia Estados Unidos*. <http://dspace.casagrande.edu.ec:8080/handle/ucasagrande/2414>
- (Sentance, 2001).** Sentance, B. (2001). *The art of the basket: Traditional basketry from around the world*. Thames & Hudson
- (Simon, 1969).** Simon, H.A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. The MIT Press. Revised edition 1996.
- (Simon, 2006).** Simon, H. *The Sciences of the Artificial*; Comares: Granada, Spain, 2006.
- (Stoner, 2019).** Stoner, J. (2019). *The Cultural Lives of Domestic Objects in Late Antiquity*. BRILL. <https://doi.org/10.1163/9789004391062>
- (Tagiabue, 2013).** Tagiabue, B. (2013). Catálogo expormim_ www.expormim.com

(Telleria et al., 2020). Tellería, I., González, N., Ssusperregi, J. (2020). *La teoría de E. Mössel en la base del trazado que regula un modelo de caserío guipuzcoano del siglo xv. Parte I.* Revista EGA, [S.l.], v. 25, n. 38, p. 90-101. <https://doi.org/10.4995/ega.2020.12365>

(Van Aken, 2004). Van Aken, J. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: *The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules.* J. Manag. Stud. 2004, 41, 219–246.

(Vitruvius et al., 2000). Vitruvius, Rodríguez, D., & Vitruvius. (2000). *Los diez libros de arquitectura.* Alianza Editorial.

(Zhou et al., 2018). Zhou, H., Xiao, X., Qian, K., Zhang, K., & Zhang, D. (2018). *Numerical and experimental analyses of out-of-plane deformation of triaxial woven fabric.* Materials Research Express, 5(5), 055305. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aac0d2>, Qian, K., Zhang, K., & Zhang, D. (2018). Numerical and experimental analyses of out-of-plane deformation of triaxial woven fabric. Materials Research Express, 5(5), 055305. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aac0d2>

(Zumthor, 2019). Zumthor, P. (2019). *Atmósferas: Entornos arquitectónicos: las cosas a mi alrededor.* Gustavo Gili.

ANEXO.....	197
ENSAYO TPMC	197
Resistencia a la tracción	198
Ensayos de flexibilidad y curvatura	199
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TPMC	201
Resistencia a la tracción	201
Ensayos de flexibilidad y curvatura	205
BIBLIOGRAFÍA ANEXO	207

ANEXO

Ensayo TPMC

Los ensayos han constado de dos etapas: una primera experimental en laboratorio para analizar las propiedades mecánicas a tracción, y una segunda donde se han ensayado la flexibilidad, la curvatura y la capacidad para mantener la forma impuesta.

Para realizar los ensayos se han utilizado tiras planas de castaño de la zona. Las tiras de madera natural se confeccionan por artesanos locales en producciones reducidas y suelen tener un grosor y ancho variable. Las dimensiones de trabajo de las tiras habituales en los modelos 3D se acercan a un ancho de 20 mm y un espesor aproximado de 1 mm. La longitud de la tira y la forma van a variar según el tipo de ensayo que se realice.

No existe una norma específica para ensayar este material concreto. Por ello, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en las principales colecciones de artículos científicos (Web of Science, Scopus y Google Scholar). No se ha encontrado ningún artículo que se ajuste a las condiciones de esta investigación, donde se analicen las propiedades mecánicas de tiras planas de madera con tratamientos de inmersión en agua y calentamiento. Hay muchos artículos que analizan las propiedades mecánicas de la madera en relación con la humedad y la temperatura, pero en la mayoría de los casos son ensayos para elementos estructurales de mayor sección. Tampoco hay artículos que analicen la flexibilidad y el radio de curvatura mínimo de este tipo de muestras.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Considerando que los artesanos realizan una inmersión en agua y un posterior calentamiento en horno, se ha tratado de estudiar los resultados de este efecto combinado. Por un lado, se han tenido en cuenta ensayos de análisis del efecto de la temperatura en la variación de las propiedades mecánicas de elementos de madera de sección delgada. No hay muchas referencias, pero se ha partido de algunas consideraciones previas. Los materiales lignocelulósicos están constituidos por celulosa, lignina y hemicelulosa: la celulosa es el componente más abundante su base estructural; la lignina cumple la función de ser el elemento aglomerante de las fibras; la hemicelulosa es el elemento intermediario entre la celulosa y la lignina, y brinda resistencia. Además, existen otros componentes llamados extraíbles. Hay ensayos previos que analizan el efecto de la temperatura de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados (De la Cuesta 2011). No es lo mismo, pero son de las experiencias más cercanas encontradas. En ellas se evalúa el efecto de la temperatura de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados elaborados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano y de madera de café. Afirman que, en tanto se incrementa la temperatura de procesamiento, se presenta un aumento en las propiedades de los materiales, mientras aumenta la degradación de las fibras. Determinaron que en un rango comprendido entre 50 °C y 100 °C se elimina la humedad. Observaron una primera pequeña degradación comprendida entre 140 °C y 160 °C. A partir de 200 °C la degradación ya es considerable. Establecieron un rango entre 160 °C y 260 °C para poder trabajar con los tableros antes de la degradación máxima. Encontraron que el incremento de las propiedades mecánicas se da justo después de la temperatura inicial de degradación, lo que nos indica que el proceso degradativo favorece la activación de los componentes estructurales de la fibra. Sin embargo, cuando se trabaja a muy altas temperaturas, a pesar de mejorar las propiedades mecánicas, el material se comienza a degradar y se afecta la apariencia.

Por otro lado, se han tenido en cuenta ensayos que realizan una inmersión en agua previa al ensayo de las propiedades mecánicas (Rangel et al., 2017; De Campos, 2004). Vuelven a ser ensayos sobre tableros con fibras naturales, pero se alejan de nuestra muestra real. En ellos, al igual que en el ensayo realizado con piezas de mimbre para cestería, se fija una inmersión previa de 24 h en agua (Plubins 2015).

Teniendo en cuenta estas investigaciones previas, se han ensayado varias muestras de 200 mm x 20 mm x 1 mm preparadas con una geometría de hueso de perro (dogbone), según los estándares de ensayo a tracción (Rodríguez 2018). Se ha medido su humedad inicial con un higrómetro de la marca Brennenstuhl que permite medir el nivel de humedad entre el 5 % y el 50 %. Con una humedad relativa RH del aire de 45 %, a una temperatura de 21,5°, la madera tiene una humedad superficial de 6 %. Esta sería la humedad que tendrían las tiras planas al comenzar a construir las maquetas reales a partir de los modelos 3D. En primer lugar, se han ensayado muestras al natural (6 %). En segundo lugar, se han ensayado muestras sumergidas en agua durante 24 h que se calentaron a 160°. Seguido, se ensayaron muestras al natural calentadas a 160°. Las muestras fueron calentadas en un horno de laboratorio marca Selecta, que tiene un rango de temperaturas de 0° a 250°. Las muestras se han calentado durante 10 minutos atendiendo a las referencias previas estudiadas (De la cuesta 2011). El ensayo de tracción se realizó en una Máquina Universal De Ensayos Instron modelo 4206, que tiene una celda de carga de 100 kN, a una velocidad de avance de 5 mm/min.

ENSAYOS DE FLEXIBILIDAD Y CURVATURA

Las fibras vegetales utilizadas en la cestería no son absolutamente sumisas. Aunque todas ellas tienen una mayor o menor flexibilidad, siempre oponen resistencia. Tienen la tendencia natural a “volver a su estado recto”, a la dirección del crecimiento orgánico. Con este ensayo se quiere probar que la inmersión en agua de las tiras planas de castaño antes de construir el artefacto de cestería permite al artesano trabajar con un material más flexible. Esto incide de manera directa en el radio de curvatura que puede conseguirse.

Del ensayo anterior se obtendrá el módulo de Young del material, que podría ser utilizado para hallar el radio de curvatura con la fórmula de Euler-Bernoulli:

$$M = E I / \rho \quad (1)$$

Donde E es el módulo de Young, I es el momento de Inercia de la sección transversal de la tira, y ρ es el radio de curvatura.

En función de las características mecánicas del material y de la

sección transversal de la tira, se puede obtener el radio de curvatura al que podemos llegar. Cuando diseñamos un modelo geométrico en 3D, el *software Rhinoceros* va a permitir obtener todos los radios de las tiras que componen la trama adaptada a la forma. De esta manera, podríamos detectar si alguna tira está sometida a un radio de curvatura que el material no va a poder absorber. En este caso solo habría dos opciones: o cambiar el material para que se adapte a la curvatura que el modelo diseñado necesita o cambiar la geometría del artefacto entrelazado para que las tiras no tengan un radio de curvatura menor al admisible.

Al igual que en el caso anterior no hay referencias bibliográficas en publicaciones científicas que describan un procedimiento estandarizado para medir la capacidad de curvar el material al natural y en mojado. Existen ensayos que analizan la capacidad de curvatura de los tejidos (Tomilova et al., 2013), otros que analizan los radios de curvatura mínimos para tiras de bambú con diferentes cortes (Muscio & Anaya., 2018) y hay ensayos que analizan la capacidad de curvarse del mimbre (Plubins 2015). Tomando como referencia estos artículos, se ha realizado un ensayo con tiras planas de castaño. Se han preparado dos tipos de muestra: uno igual que para el ensayo anterior, de 200 mm x 20 mm x 1 mm y otro rectangular de 100 mm x 20 mm x 1 mm. La mitad de las muestras se ha ensayado al natural y la otra mitad se ha ensayado tras tenerlas sumergidas 24 h en agua. Tras varias pruebas previas, en el ensayo se han ido enrollando diferentes tiras de los dos tipos de muestras en un cilindro de \varnothing 20 mm y en otro de \varnothing 12 mm. En primer lugar, se han tratado de enrollar las tiras al natural con un 6 % de humedad, y posteriormente se han enrollado las tiras mojadas. Las que se han podido adaptar a la forma sin romperse se han mantenido durante 12 y 24 horas para ver la capacidad de mantener la forma tras soltarlas del cilindro. Con esto se puede probar si las tiras mojadas son más flexibles y qué tipo de muestras aguantan más la forma impuesta.

Resultados de los ensayos de TPMC

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El Centro de la Innovación de la Formación Profesional dependiente del Gobierno Vasco ha caracterizado el castaño (Casado et al., 2021). Los resultados se dividen en dos bloques.

Las propiedades físicas:

- Densidad aparente al 12 % de humedad, 590 kg/m³, semiligera;
- Coeficiente de contracción volumétrico 0,39 %;
- Relación entre contracciones 1,54 %, sin tendencia a deformarse;
- Dureza (Chaláis-Meudon) 2,5 semiblanda;
- Tendencia a curvarse: pequeña. Madera persistente.

Las propiedades mecánicas:

- -Resistencia a la flexión, 710 kg/cm²;
- Resistencia a la compresión, 460 kg/cm²;
- Resistencia a la tracción, 1280 kg/cm²;
- Módulo de elasticidad 100000 kg/cm².

Estos valores siempre sirven de referencia, pero no pueden considerarse para analizar un material específico elaborado de manera artesanal. Es necesario ensayar las muestras concretas que van a utilizarse para diseñar y crear los artefactos o maquetas en 3D. Centrados en el experimental realizado en laboratorio, recordamos los tres tipos de pruebas realizados: (i) la tira plana directamente sin tratamiento, expresada con la referencia "NS"; (ii) sumergida en agua durante 24 horas y posterior calentamiento en estufa durante 10 minutos a 160 °C, expresada con la referencia "MC"; (iii) la tira plana natural y calentada en estufa durante 10 minutos a 160 °C, expresada con la referencia "NC". Se han determinado: el módulo elástico de Young E, a partir de la pendiente de la recta tangente en la zona inicial de la curva tensión-deformación; la resistencia máxima, σ , y la deformación a rotura, ϵ_z . En cada tipo de prueba se han ensayado varias probetas de madera estandarizadas con forma de hueso de perro, teniendo en cuenta los datos definidos en la metodología. A continuación, se muestran los resultados finales obtenidos (Tabla 1).

Probeta	Módulo de Young E (MPa)	Resistencia máxima σ (MPa)	Deformación a rotura ϵ_z (%)
NS	7096	46,47	0,73
		89,14	2,11
MC	7738	51,20	0,87
		79,29	1,24
NC	8740	52,87	1,17
		83,71	1,66

Tabla 1: Valores de E, σ y ϵ_z de los tres sistemas estudiados

Se ha tratado de hallar el valor representativo en cada tipo de prueba. Como se puede observar, en la resistencia y en la deformación se presentan dos resultados por cada sistema. Esto se debe a que se han observado dos comportamientos claramente diferenciados. La mitad de las muestras han dado valores en un rango y la otra mitad en un rango claramente diferente. Sin duda, esto ha de atribuirse a que las tiras planas de castaño son de dos tipologías diferentes. La producción local a baja escala y las técnicas de procesado sin procedimientos estandarizados están detrás de esa diferencia. Una opción es que las tiras sean de dos castaños diferentes. Otra, que una tira plana sea más central y la otra más periférica en el tronco de 12 cm del castaño que parten en el proceso los artesanos. Hay ensayos realizados con bambú que corroboran dicha diferencia en función de donde estén ubicados en el corte (Casado et al., 2021). Esta información no es posible contrastarla a posteriori debido a los procedimientos del proceso artesanal. Se considera una de las limitaciones de la investigación de este apartado. Es un aspecto a tener en cuenta, pero no es un elemento determinante en el desarrollo

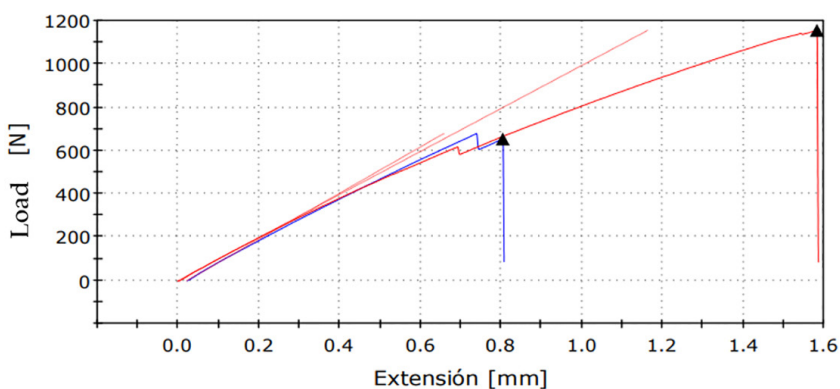


Fig. G01: Diagrama Carga vs Extensión del sistema NS.

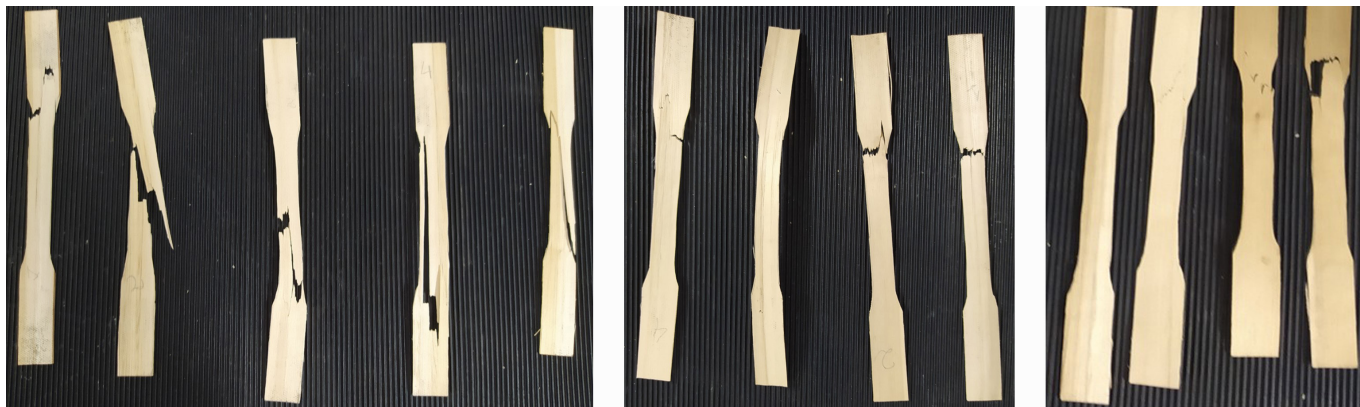


Fig. G02. Ejemplo de rotura de algunas probetas del sistema: (a) Sistema NS; (b) Sistema MC; (c) Sistema NC.

del objetivo. A continuación, se muestran a modo de ejemplo dos curvas del primer tipo de prueba, la NS, donde se puede ver el diferente comportamiento de las tiras planas (Fig. G01).

La rigidez es similar en ambas tiras planas, y este comportamiento se repite en los tres sistemas estudiados. Sin embargo, en la resistencia máxima y en la deformación a rotura, se observa que un lote de tiras planas es muy superior al otro.

Con respecto al efecto de los tratamientos en las tiras planas, se observa cómo el calentamiento a 160 °C produce una clara rigidificación de las tiras, más marcado aún, cuando las tiras no se han sumergido previamente en agua. Concretamente, en las tiras directamente calentadas a 160 °C el módulo E se incrementa en un 23 %; para el caso de las que han estado sumergidas 24 horas en agua, este incremento es del 9 %. Este comportamiento se atribuye a la composición química de la madera, básicamente celulosa y lignina, biopolímeros higroscópicos que absorben gran cantidad de agua actuando esta última como plastificante. Así, cuando se seca, se elimina el agua y el material se rigidifica. Por otro lado, en cuanto a la resistencia máxima y la deformación a rotura, se observa un ligero aumento de la resistencia y deformación plástica con los tratamientos en las tiras que inicialmente tenían menor resistencia y deformación. Sin embargo, este comportamiento no se observa en las otras tiras. Cabe mencionar que la forma de romper de las tiras con los tratamientos ha sido diferente (Fig. G02).

Como se puede ver, las probetas NS rompían longitudinalmente a la dirección de la probeta, tras generarse una primera grieta inicial. Esto también se observa en el diagrama de la Figura 11, donde se ve el escalón producido tras esta primera rotura. En cambio, las probetas NC rompían transversalmente al eje vertical de la probeta, directamente sin pre-grieta intermedia. Esto se puede observar en

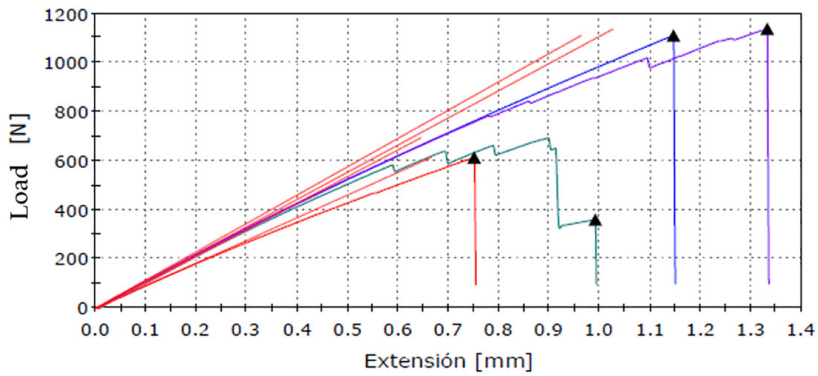


Fig. G03. Diagrama Carga vs. Extensión del sistema NC.

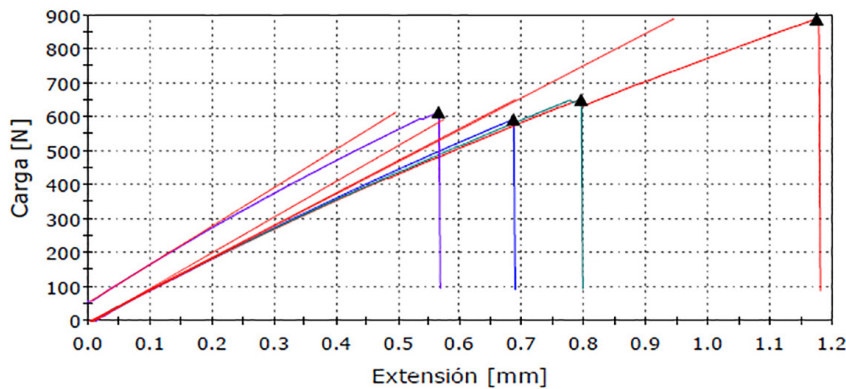


Fig. G04. Diagrama Carga vs. Extensión del sistema MC.

la (Fig. G03), que presenta a modo de ejemplo el diagrama carga-desplazamiento de probetas NC, donde no se observa el escalón intermedio.

En cambio, las probetas MC volvían a mostrar un comportamiento similar a las NS (Fig. G04). Este comportamiento se vuelve a atribuir a la presencia del agua en los biopolímeros, que es mayor en el sistema NS (con una humedad inicial del 6 %) que en el MC y mucho menor en el NC.

Por tanto, si las tiras planas se sumergen en agua, son más flexibles ya que el agua actúa como plastificante. Si se calientan, se van secando y por tanto su rigidez aumenta. Esto puede ser interesante cuando los artesanos rasgan las tiras del tronco del castaño. Si se calientan sin sumergirse previamente, se queman y su apariencia hace que no sean deseables para realizar los modelos.



Fig. G05. Pruebas de: (a) Enrollamiento de tira tipo 1 al natural en cilindro de 1,2 cm de radio sin fijar; (b) Enrollamiento de tira tipo 1 mojada 24 h en cilindro de 1 cm de radio sin fijar.

ENSAYOS DE FLEXIBILIDAD Y CURVATURA

Como se ha comentado, se ensayó con dos tipos de tiras planas. El tipo 1 es de 200 mm x 20 mm x 1 mm, el mismo del ensayo a tracción. El tipo 2 tiene una forma rectangular de 100 mm x 20 mm x 1 mm por lo que las fibras son más cortas y más difíciles de enrollar. En primer lugar, se trató de enrollar a 45° la tira plana de tipo 1 sin tratar en un cilindro de 1 cm de radio. Se constata que no se puede adaptar a la superficie. El mismo tipo de tira, sin tratar, en un cilindro de 1,2 cm de radio se puede enrollar, pero se rompe. No se ha dejado fija al cilindro, pero la forma curvada que ha tomado en un instante se mantiene en gran medida desde el primer momento. A las 24 h prácticamente mantiene la misma forma porque su contenido de humedad no ha variado (Fig. G05a). El mismo tipo de tira sumergida en agua 24 h sí se adapta a la curvatura del cilindro de 1 cm de radio, pero también rompe. Tampoco se deja fija al cilindro, pero al estar mojada recupera casi su estado original en segundos. Al estar mojada es más flexible, pero recupera su forma antes (Fig. G05b).

La tira tipo 1 sumergida en agua 24 h, se puede enrollar en el cilindro de 1,2 cm de radio sin que se rompa. Se mantuvo 24 h fija. Al soltarla, mantiene una forma espiral, aunque con una curvatura superior al radio del cilindro al que ha estado fijada (Fig. G06a). Utilizando las tiras del tipo 2, la tira mojada se adapta y se fija al cilindro de 1 cm de radio. Se decide soltarla a las 12 h y se observa que pierde la curvatura de 1 cm de radio, pero que mantiene una curvatura pronunciada. A las 24 h mantiene la misma forma que a las 12 h (Fig. G06b). A la tira 2 sin tratar enrollada al cilindro de 1 cm le cuesta adaptarse y se rompe en el centro y en el lateral de un extremo. Al despegarla a las 24 h, pierde inicialmente la forma, pero mantiene una curvatura mayor que la sumergida en agua previamente (Fig. G06c).

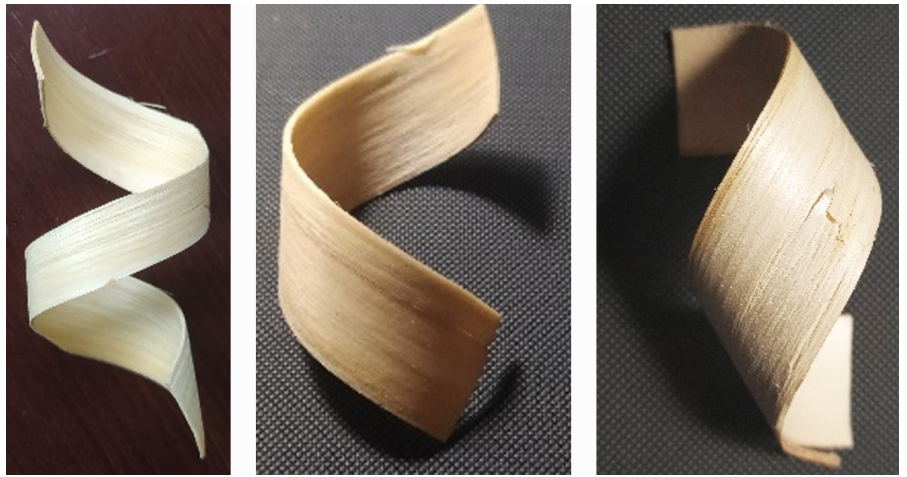


Fig. G06. Pruebas de: (a) Enrollamiento de la tira tipo 1 sumergida 24 h en cilindro de 1,2 cm de radio durante 24 h; (b) Enrollamiento de tira tipo 2 mojada 24 h en cilindro de 1 cm de radio, fijada 12 h; (c) Enrollamiento de tira tipo 2 sin tratar en cilindro de 1 cm de radio, fijada 24 h.

Por último, se ha sumergido 24 h una tira de 80 cm y se ha enrollado a un cilindro de 1 cm de radio. Se ha fijado hasta que ha secado completamente (hasta llegar a la humedad inicial de las tiras sin tratar). En este caso, la tira plana ha adquirido la forma del cilindro prácticamente al 100 %, y mantiene la forma a lo largo del tiempo (Fig. G07).

Con este ensayo se puede probar que, cuando una tira plana de castaño se sumerge en agua, esta es más flexible, se adapta a radios de curvaturas menores y llega a enrollarse con facilidad hasta un radio de 1 cm. Sin embargo, si al soltarla del cilindro no ha perdido toda la humedad añadida por sumergirla en agua, esta recupera su forma original en mayor o menor medida. Si las tiras planas están sin tratar, les cuesta adaptarse a un radio de curvatura de 1 cm y rompen en todos los casos. Al enrollarlas en un cilindro de 1,2 cm de radio, habitualmente no se rompen, aunque cuesta adaptarlas a la forma. Sin embargo, al soltarlas mantienen mejor la curvatura que habían adquirido. Si una tira plana se enrolla en un cilindro de 1 cm de radio y se fija hasta secar, mantendrá prácticamente la forma enrollada incluso al despegarla.

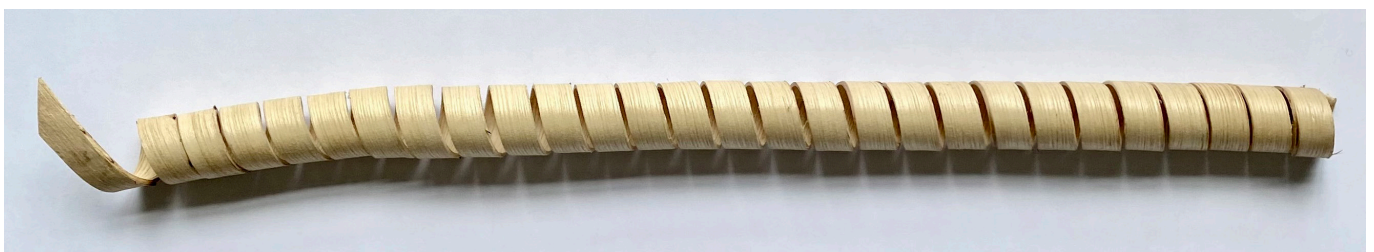


Fig. G07. Tira de 80 cm sumergida 24 h enrollada en cilindro de 1 cm de radio hasta secar.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

(Casado et al., 2021) Casado, A., Sánchez, A., Marieta, C., & Leon, I. (2021). "Use of Flat Interwoven Wooden Strips in Architecture and Construction. Simulation and Optimization Using 3D Digital Models". *Sustainability*, 13 (11), 6383. <https://doi.org/10.3390/su13116383>

(De Campos & Rocco Lahr, 2004) De Campos, C. I., & Rocco Lahr, F. A. (2004). "Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano natural". *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 6 (1). <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2004000100006>

(De la Cuesta, 2011) De La Cuesta Herrera, Jesús Fernando, Montoya Rojo, Úrsula, Betancourt Parra, Santiago, & Álvarez López, Catalina (2011). "Efecto de la temperatura de procesado sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resina sintética". *Prospectiva*, 9 (2), 75-80. [Fecha de Consulta 26 de Diciembre de 2021]. ISSN: 1692-8261.

(Muscio & Anaya., 2018) Muscio, E., & Anaya, J. (2018). "Study of the permissible bending radius of bamboo cuts". *Experimental analysis with Phyllostachys bambusoides Sieb. et Zucc. Anales Edific*, 4, 10-17.

(Plubins 2015) Plubins, N. (2015). "Parametrización del curvado de vara de mimbre blanco maduro". End of Degree Work. Bachelor's Thesis, Faculty of Architecture and Urbanism, Santiago, Chile, October 2015

(Rangel et al., 2017) Rangel, L., Moreno, P., Trejo, S., & Valero, S. (2017). "Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla*". *Maderas. Ciencia y Tecnología*, ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000032>

(Rodríguez, 2018) Rodríguez, R. (2018). "Caracterización de las propiedades mecánicas del bambú (*Bambusa Vulgaris*)". *Civil Eng*. 2018.

(Tomilova et al., 2013) Tomilova, M., Smirnova, H., & Lapshin, B. (2013). "The ability of materials to plaiting". *Kostroma State Technol. Univ*, 3, 17.

