

Laura Sánchez Pizarro

Confluencia creativa: plegado de papel e iglesias Brutalistas



ESTA PÁGINA SE HA DEJADO DELIBERADAMENTE EN BLANCO.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

Laura Sánchez Pizarro

CONFLUENCIA CREATIVA: PLEGADO DE PAPEL E IGLESIAS BRUTALISTAS.

CONFLUENCIA CREATIVA:
PLEGADO DE PAPEL E IGLESIAS BRUTALISTAS.

Estudiante

Laura Sánchez Pizarro

Tutor

Daniel Jeremy Fox Horning

Departamento de Matemática Aplicada

Aula TFG 7

Javier Eduardo Gómez Pioz, *coordinador*

Pilar Horna Almazán, *adjunta*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Índice

RESUMEN.

“ORIGAMI”

- ORIGAMI EN OCCIDENTE.
- ORIGAMI EN DISTINTAS DISCIPLINAS.
- SISTEMA YOSHIKAWA- RANDLETT.
- TIPOS DE ORIGAMI.
- ORIGAMI ARQUITECTÓNICO - PATRONES.

CASOS ARQUITECTÓNICOS A ANALIZAR.

BRUTALISMO - IGLESIAS CATÓLICAS.

CATÁLOGO ARQUITECTÓNICO DE CONSTRUCCIONES DE ORIGAMI.

CAPILLA DE CADETES DE LA ACADEMIA DE LA FUERZA AÉREA DE LOS ESTADOS UNIDOS.

- RELACIÓN DE LA CAPILLA CON UN PATRÓN CONCRETO DE ORIGAMI.
- PROTOTIPO A. FACHADA EXTERIOR.
- PROTOTIPO B. ORIGAMI MODULAR:
- PROCESO DE CREACIÓN DEL PROTOTIPO.
- ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA - MODIFICACIÓN MÓDULO SONOBE.

CONCLUSIONES.

FUENTES

Bibliografía y recursos digitales
Procedencia de las ilustraciones

Resumen

A lo largo del trabajo de fin de grado, se explora la integración de patrones de origami en la arquitectura, realizando una investigación de la topología y forma de ciertos elementos arquitectónicos. En el estudio, es particularmente relevante el enfoque de su aplicación en el estilo Brutalista, centrandose la tipología, con los criterios definidos durante el trabajo, en las iglesias católicas.

Se desarrolla un catálogo con diferentes edificios religiosos que presentan distintas escalas de influencia del origami y a los cuales se les atribuye un patrón elemental o, en su defecto, algún patrón de origami abstracto. Patrones, los cuales, están definidos en la primera parte del trabajo.

Se analiza detalladamente la influencia del origami en la Capilla de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, realizando un estudio empírico con el objetivo de crear un prototipo en papel. Se emplean varias técnicas de plegado, entre las que destaca el patrón Yoshimura para la creación exterior de la fachada, y el módulo Sonobe para el prototipo de la estructura completa, demostrando que es posible replicar la capilla con modificaciones libres del módulo.

Los resultados del estudio indican que las técnicas de origami utilizadas para la creación de algunas iglesias, ofrecen ventajas significativas en términos de eficiencia estructural, estética y relación espacial y se concluye que todas las iglesias que se muestran en el catálogo pueden ser reproducidas en papel, manteniendo su forma exacta; demostrando la viabilidad y el potencial del uso del origami en la arquitectura.

Además, se proponen futuras aplicaciones potenciales, como la investigación y el desarrollo de nuevos materiales que imiten de forma más concreta las propiedades del papel de origami o el desarrollo de estructuras prefabricadas creadas a partir de sistemas basados en pliegues, al igual que el origami modular, que permitan ensamblar las distintas partes que conforman un edificio.

PALABRAS CLAVE

Origami · Iglesias · Estilo Brutalista · Patrón Yoshimura · Origami modular · Capilla de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.

[1] Origami

Palabra de origen japonés compuesta por “ORI” (doblar plegar) y “KAMI” (papel) con la que se denomina a la obtención de figuras de diferentes formas mediante el plegado de hojas de papel.

Los inicios de este arte están ligados a la invención del propio papel en el Siglo II en China, desde donde fue exportado a Japón en el Siglo VI, periodo del que datan los primeros origamis conocidos de la historia. Como en esa época el papel era un bien caro, su plegado se reservaba para ocasiones y ceremonias especiales que celebraban la nobleza y las clases pudientes, por lo que era considerado un símbolo de estatus social. Hasta el siglo XVII no se populariza el origami en todos los estratos de la población, alcanzando una gran difusión y una mayor creatividad.

El primer libro conocido sobre el origami es “Senbazuru Orikata” (Plegado de 1000 grullas), publicado en 1797 en Japón, en el que aparecen impresas detalladas instrucciones y plantillas para elaborar diversas figuras de papel, principalmente grullas.

1. Niñas haciendo grullas de papel, periodo Meiji.
Terazaki, 1906.



Origami en occidente.

En Europa fue introducido con el papel en el Siglo VIII a través de España por los musulmanes, que únicamente representaban figuras geométricas y realizaban estudios matemáticos sobre los pliegues obtenidos. Pero es a partir de los años 50 60 del Siglo XX cuando el origami tiene un mayor auge a nivel mundial, impulsado sobre todo por Akira Yoshizawa (con más de 50.000 trabajos hechos) y por Sam Randlett, creadores de un código para representar los pliegues que hay que hacer para conseguir diferentes figuras, vigente en la actualidad.

A lo largo de la historia, las técnicas de origami han evolucionado, dando lugar a distintas corrientes, como las más puristas, que no admiten los cortes ni el pegamento en los plegados, y otras más tradicionalistas, que sí permiten el uso de instrumentos de corte y materiales de pegado, como el “kirigami” (corte de papel), en el que se permite realizar cortes o incisiones en el papel para la obtención de figuras más complejas.



2. Kirigami. Fuente: lafabriquedesplis.

1. Texto de nota.

2. Texto de nota.

3. Texto de nota.

Intro (TECLADO NUMÉRICO) para enlazar con la siguiente viñeta de notas.

Origami en distintas disciplinas.

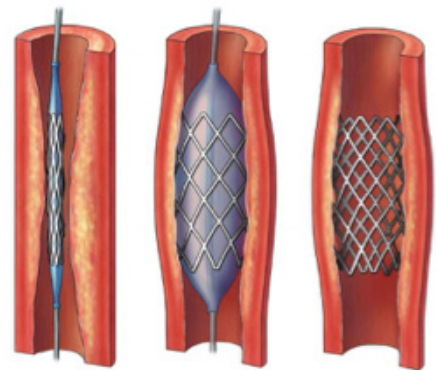
En los últimos años, se están dando nuevos enfoques al origami, tales como su empleo como apoyo didáctico (introducido a mediados del Siglo XIX en la enseñanza escolar), el estudio matemático de las propiedades de los pliegues, su aplicación en ingeniería y sistemas industriales o la inspiración de la arquitectura en sus patrones de plegado.

Distintos expertos de estos ámbitos estudiaron la posibilidad de aplicar el origami en sus disciplinas, conectando la idea del pliegue con la producción real, llegando a creaciones como piezas de mobiliario excéntricas, paneles solares desplegados para satélites, airbags, stents coronarios para la medicina, etc.

El stent en medicina y los paneles desplegados en satélites emplean el mismo patrón de origami, porque no da lugar a fallo, y se descubre la premisa de “si funciona a pequeña escala, funciona a gran escala”. Se utiliza el patrón Miura-Ori, definido más adelante en el trabajo, a causa de sus capacidades de expansión y contracción de manera eficiente, manteniendo al mismo tiempo una estructura robusta y flexible.

3. Izquierda: Lámpara 306 del arquitecto y diseñador Kaare Klint. Sigue el patrón plisado.

Derecha: stent coronario. Sigue el patrón Miura-Ori.



“Hablamos de pliegues, despliegues y repliegues como posibles trayectorias dinámicas. Trayectorias a-escalares entre estructuras y organizaciones, entre dispositivos y ciudades, entre escenarios y proyectos, referidas a geometrías evolutivas (formaciones rizomáticas despuntes y estirones, arracimamientos, entramados y enroscamientos, fluctuaciones, reveses y quiebros). “

- Manuel Gausa.

Podemos encontrar la presencia del origami en la arquitectura en diferentes factores, abordando desde un carácter estructural, pudiendo construir estructuras laminares que crean grandes espacios sin necesidad de soportes o estructuras cinéticas de difíciles geometrías, hasta la lectura más formal y teórica, que busca la inspiración o aparece la semejanza de las formas propias de las figuras de papel.

Aunque es importante remarcar que los principios estrictos del origami son solo para el origami y no para la construcción, se relacionan conceptos análogos entre ambos términos, tales como dobleces, quiebros, giros, etc.

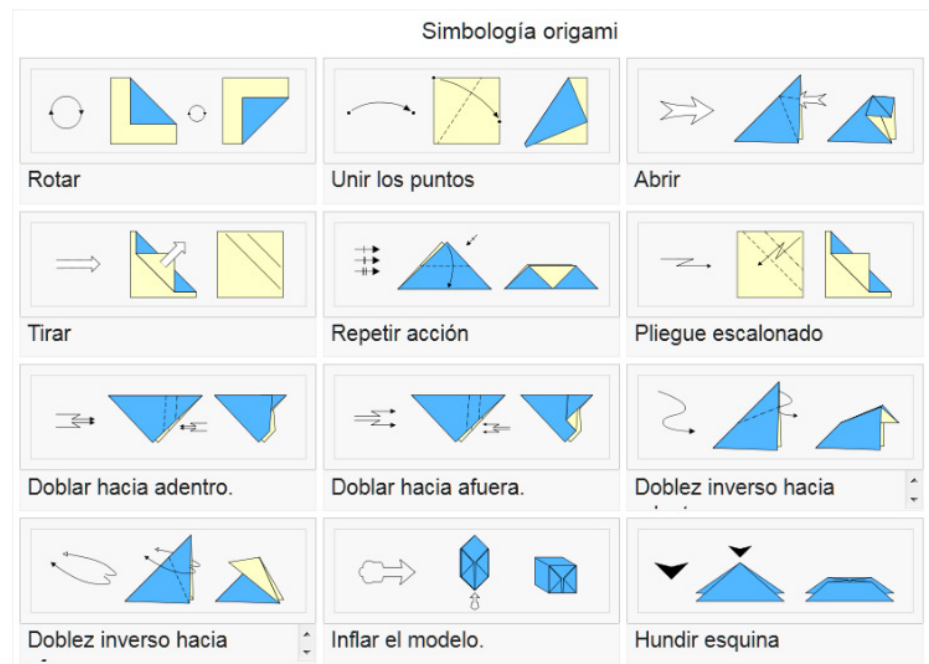
Sistema Yoshizawa-Randlett

Para entender y poder replicar cada modelo de origami, se dibuja el patrón de doblado “CP”¹. Se hace una abstracción de la estructura interna básica, que dará lugar a la estructura compleja final. Para ello, se deja plano el papel al desdoblarse y se dibujan sus dobleces más representativas, es decir, las que dan lugar a su geometría esencial y no a los detalles.

El lenguaje de símbolos para señalar los distintos pasos a seguir en una figura vienen dados por puntos, rayas y flechas:

El 90% de todos los modelos de origami pueden construirse con 10-15

4. Representación del sistema Yoshizawa-Randlett.



pliegues combinados y el 10% restante solo necesitaran pliegues que requieran una técnica especial en una parte del modelo.²

1. El patrón de doblado “CP” se refiere a “Crease Pattern” que, traducido, es “patrón de pliegue”.

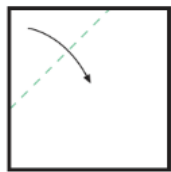
2. Fuente: “The complete book of origami” de Robert J.Lang.

Los pliegues combinados son la unión de dos pliegues básicos:

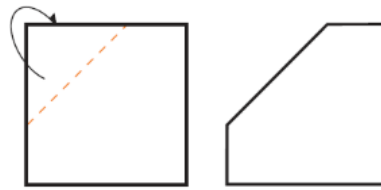
Plegado en valle - pliegue sencillo en forma de V

Plegado en montaña - pliegue sencillo en forma de V inversa

Para conseguir una representación en un sistema universal, se utiliza el código de colores creado por Tomohiro Tachi ³ en su programa de simulación Rigid Origami Simulator; azul para pliegues valle y rojo para pliegues montaña.



1. Valley fold



2. Mountain fold

5. Plegados base. Izquierda: pliegue valle. Derecha: pliegue montaña.

"Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

3. Tomohiro Tachi, nacido en Japón en 1982, es un académico japonés que estudia el origami desde una perspectiva interdisciplinaria, combinando enfoques de las matemáticas del plegado del papel, la rigidez estructural, la geometría computacional, la arquitectura y la ciencia de los materiales. El origami arquitectónico fue enunciado inicialmente por él y creó 3 softwares específicos para simulación 3D de plegado de superficies planas.

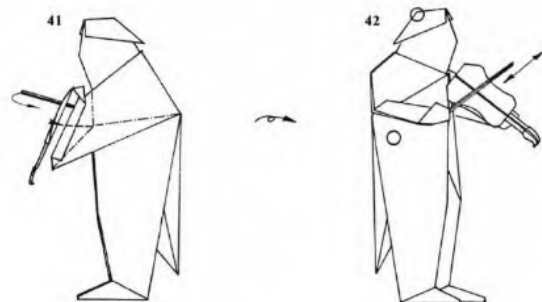
Tipos de origami

Origami de acción.

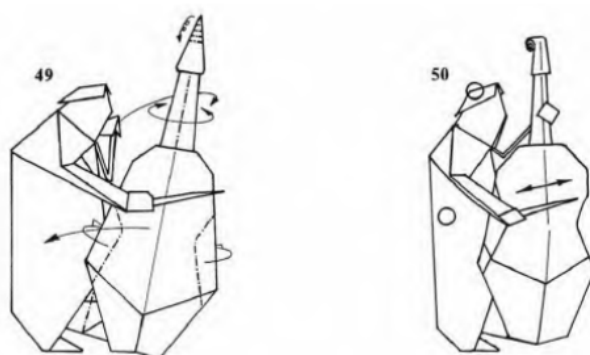
Con el origami no solo se crean figuras estáticas, sino que da la posibilidad de crear figuras móviles. El origami de acción da lugar a la posible alteración de la figura a través del movimiento. Baraja una serie de elementos cinéticos que, a través del ingenio, consiguen moverse al tirar de una sección del modelo, o inflarse al introducir aire en ellos.

Los instrumentalistas de Robert J.Lang ⁴, son un ejemplo claro de acción del papel; moviendo la cabeza hacia el lado contrario de su cuerpo, se crea un movimiento en la figura semejante al de tocar un instrumento.

6: Origami en acción. Violinist.
"The complete book of origami" de Robert J.Lang.



7: Origami en acción. Bassist.
"The complete book of origami" de Robert J.Lang.



4. Robert James Lang, nacido en 1961, es un físico estadounidense y uno de los artistas y teóricos del origami más destacados del mundo.

Origami modular.

El origami modular utiliza unidades de papel interconectadas para crear estructuras tridimensionales complejas. Consiste en la creación de piezas idénticas (módulos) que se ensamblan entre sí.

La restricción principal de este tipo es la prohibición de usar otros elementos, que no sean el propio papel, para la unión de los módulos. La forma original de ensamblaje es la utilización de las propias secciones originadas en el plegado; se crean “solapas” que se insertan en “bolsillos”.

Se conoce como el origen del origami modular a una pieza que no cumple con las premisas dichas anteriormente: el kusudama, que permite que las piezas sean ensambladas usando hilo o pegamento.



8. Origami modular. Paul Jackson, maestro en los métodos de plegado.



Plegado en húmedo.

El plegado en húmedo busca formas pulidas y lisas, en vez de las aristas y vértices que se originan en el resto de tipos de origami.

Existen dos formas distintas de conseguir un papel de fácil modelado que dé como resultado el acabado buscado: se puede humedecer el papel directamente o se puede utilizar metilcelulosa sobre el papel y, tras dejarlo absorber, humedecer el papel con agua para pulir los salientes.

Las principales figuras que se crean con esta técnica son animales de carácter realista.

Aunque, a priori, el plegado en húmedo no parezca relevante para el análisis arquitectónico, se puede utilizar esta técnica para pulir los acabados de las representaciones de papel de los edificios que comparten patrón con el origami abstracto.

9. Elefante de tamaño natural.

*Sipho Mabona, artista
sudafricano.*

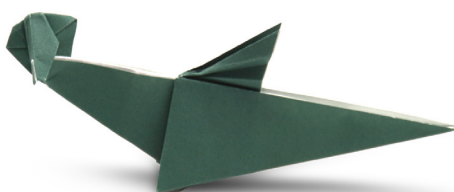


Origami pureland.

Este tipo de origami es el que más restricciones impone, pero que a la vez es el más básico. Fue creado en la década de los 70 por Jhon Smith ¹⁰, con el fin de facilitar la creación de figuras de papel a personas con dificultades motoras.

El objetivo es crear figuras con pliegues simples (valle y montaña), de uno en uno, y con localizaciones directas. Algunos origamistas ven como un reto la posibilidad de crear figuras complejas siguiendo estas restricciones.

10. *Origami pureland. "Pure and simple origami book" de Marc Kirschenbaum.*

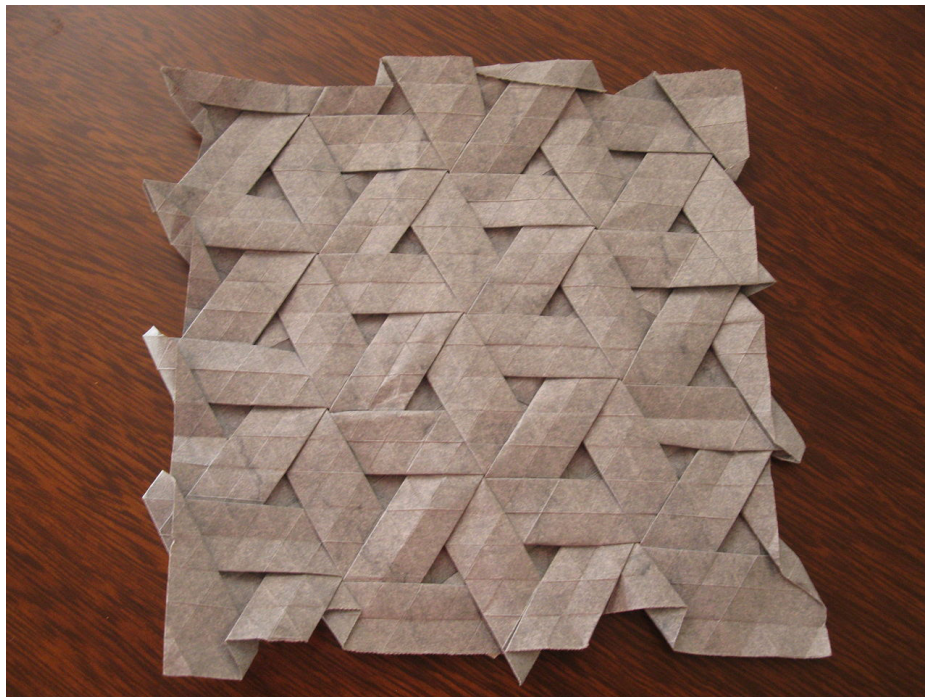


10. John Smith es un matemático y artista de origami que ha aportado significativamente al desarrollo y la accesibilidad del arte del plegado, haciendo el origami más inclusivo y alcanzable para todos.

Origami teselado.

Una teselación es una repetición de piezas, llamadas teselas, que pegándose por sus bordes, cubren toda una superficie sin ser superpuestas. Es el único tipo de origami en el que se aclara que no solo se ha creado originalmente en papel, sino que se pueden utilizar otros materiales que respeten el pliegue.

11. Teselación del remolino
de Eric Gjerde.



Origami arquitectónico.

Massachusetts Institute of Technology (MIT). Año 2010.

En una clase magistral impartida por el arquitecto Tomohiro Tachi, se presenta la dualidad existente entre arquitectura y origami; patrones de origami se desarrollan en elementos arquitectónicos. La dualidad se esclarece; el arte del origami abstracto se utiliza para transmitir conceptos a través de figuras no representativas, no hace falta la figura de una rana, por ejemplo, para comunicar una idea. Se puede transmitir equilibrio, tensión, armonía, etc. solo al conseguir formas simples o complejas plegando un papel.

Tachi explicaba que la arquitectura funciona igual. La arquitectura, utilizando los principios del origami abstracto, desemboca en una libertad creativa y subjetiva en el espectador, dejando espacio a la interpretación de cada individuo y creando estéticas particulares.

La relación origami - arquitectura origina el nombre de “origami arquitectónico” y Tachi, aumenta la explicación analizando diferentes diseños de formas arquitectónicas generadas en origami computacional. Para ello, creó tres softwares específicos que permitían el cálculo y representación de superficies planas plegadas convertidas a tres dimensiones:

Rigid Origami Simulator.

Origamizer.

Free Form Origami.

Rigid Origami Simulator (2007) es el software más destacado, con más actualizaciones, la última en 2010, y es el más utilizado por su fácil manejo con escasos conocimientos. Permite la creación de elementos en tres dimensiones creados a partir de los pliegues de una superficie plana desarrollable. Se apoya en los pliegues base del origami, valle y montaña, y crea un sistema universal para su representación usando colores. Como se ilustra en la imagen 5, azul para pliegues valle y rojo para pliegues montaña.

Tachi describe las figuras creadas en el rigid origami como estructuras tridimensionales que se crean a partir de superficies desarrollables, cambiando su sección plana inicial por una sección de canto constante en función del pliegue o pliegues empleados. Todos los pliegues mantienen todas sus caras rectas, sin ondulaciones ni curvaturas, creando figuras o estructuras planas.

Para poder realizar un análisis posterior de ciertas obras arquitectónicas con los pliegues de origami, es necesario conocer y saber cómo se aplican ciertos patrones o premisas a seguir que proporcionen una base sólida para evaluar y comparar diferentes enfoques en el diseño, permitiendo identificar similitudes y diferencias y la escala de inspiración de cada obra en el origami.

Basándonos en las analogías de Tomohiro, analizando los patrones que describe Paul Jackson en su libro “Folding techniques for designers, from sheet to form” y siguiendo la única clasificación existente de patrones en ar-

quitectura, creada por Sophia Vyzoviti ⁵, se establecen las siguientes agrupaciones de patrones:

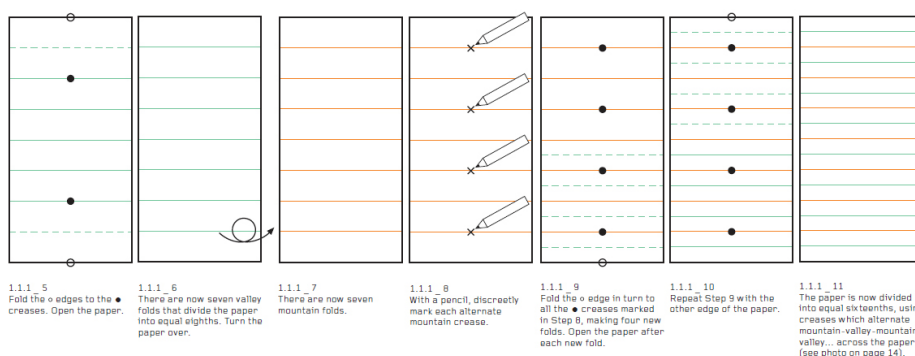
Destacar que cada patrón contiene al anterior, es decir, el primer patrón a describir será la base del siguiente y así sucesivamente.

5. Sophia Vyzoviti "Folding architecture. spatial, structural and organizational diagrams"

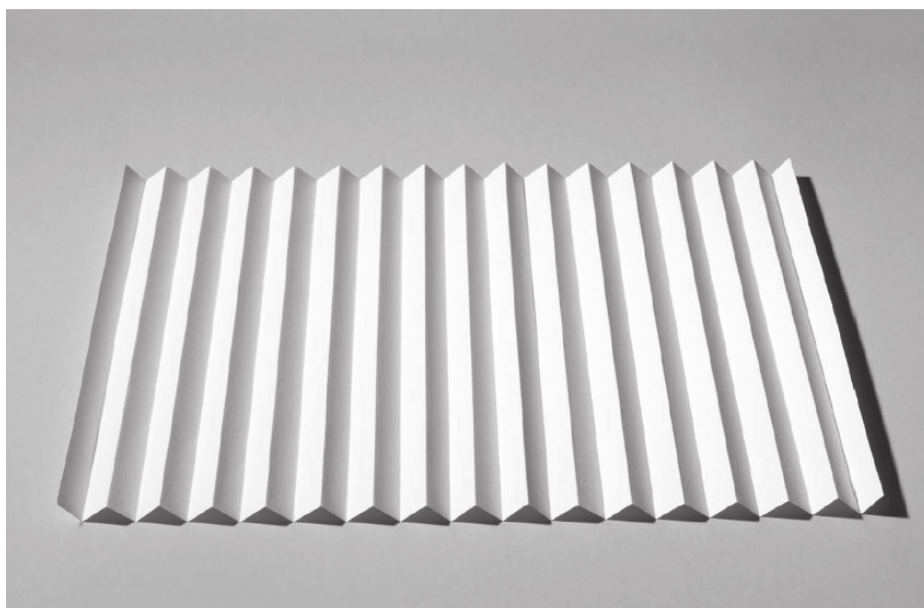
Patrón plisado.

Partiendo de una superficie plana y realizando pliegues paralelos, formando naturalmente los pliegues valle y montaña sucesivos, se origina el patrón plisado o, comúnmente llamado, en acordeón, con secciones de igual dimensión.

La manera en la que se pliega el papel, aumenta el canto en función de la longitud del pliegue, aportando a la estructura mayo rigidez que la que presentaba originalmente.



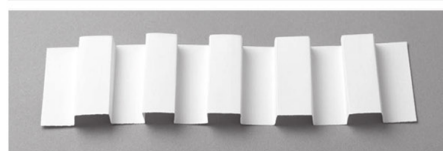
12. Arriba: diagrama de proceso patrón plisado.
Abajo: pliegue en papel.



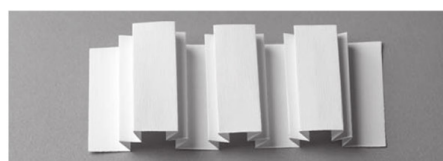
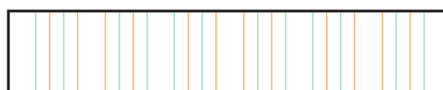
Paul Jackson muestra en su libro múltiples variaciones que pueden surgir de este simple patrón, coincidiendo todas en la característica definitoria del patrón; las líneas nunca son cruzadas por otras.

Surgen, entre otros:

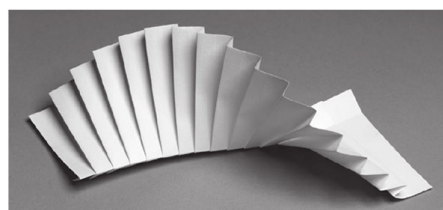
PLIEGUE EN CAJA



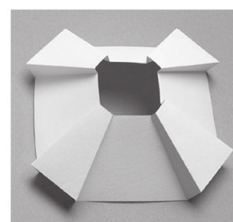
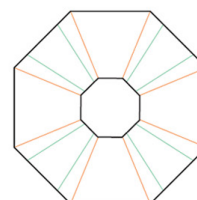
2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2



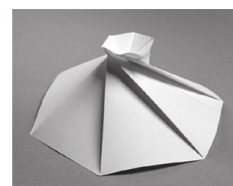
PLIEGUE FRUNCIDO



PLIEGUE EN CAJA ROTACIONAL

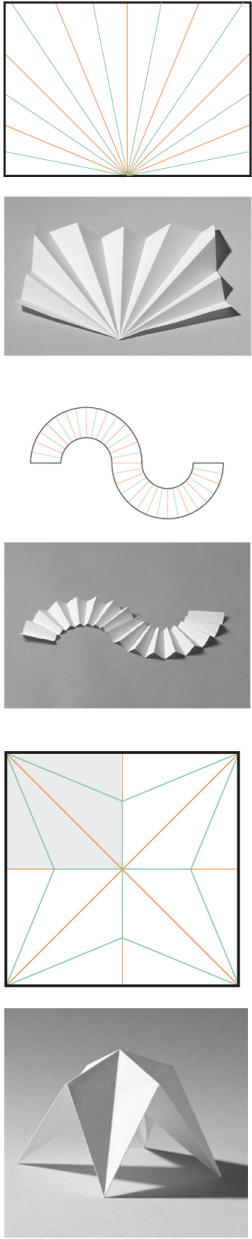


PLIEGUE EN ESPIRAL

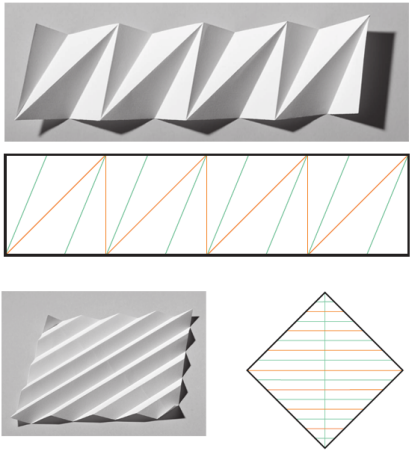


13. distintos patrones plisado.

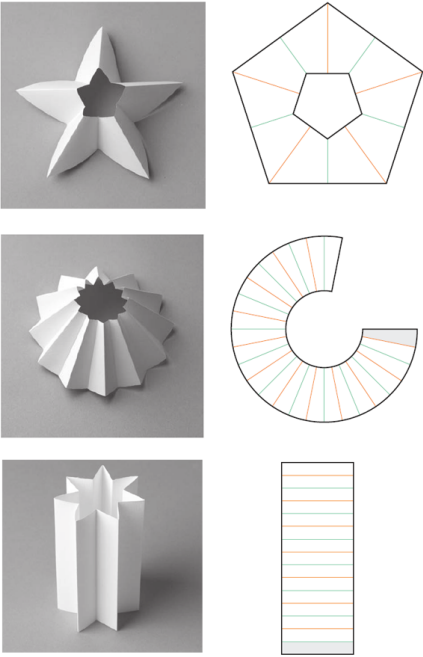
DIVISIONES ROTACIONALES



DIAGONALES



POLIGONARES - CONOS Y CILINDROS

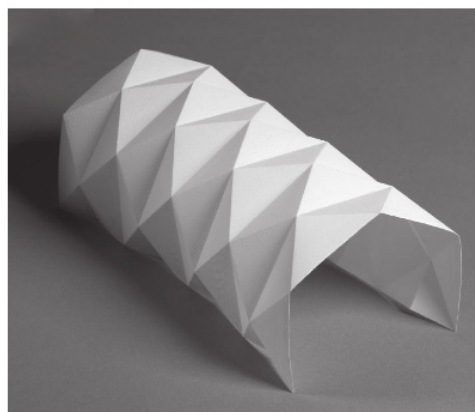
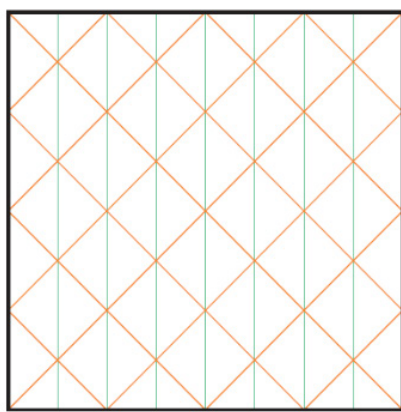


Patrón Yoshimura.

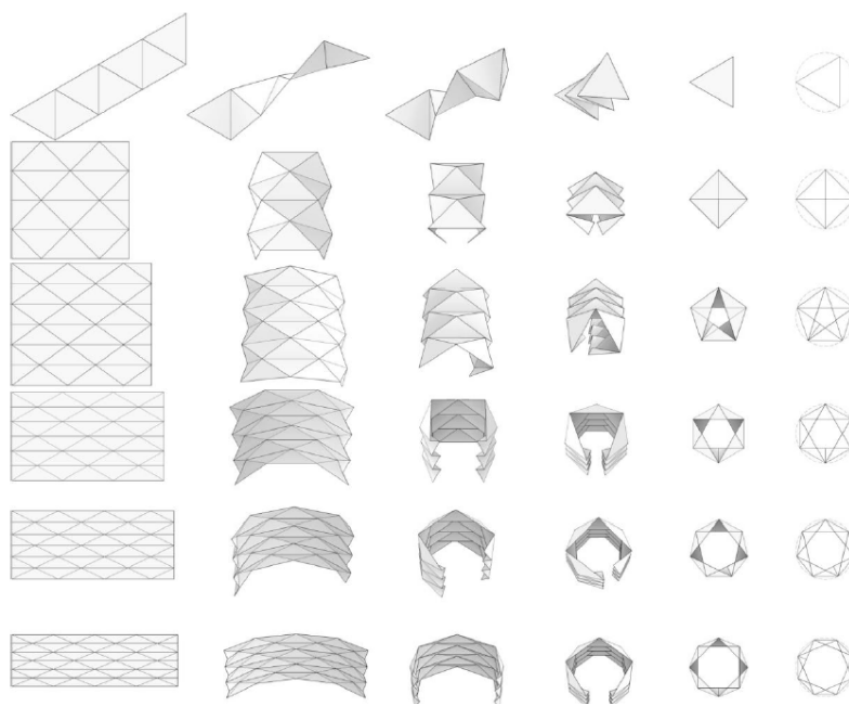
Como se aclaró anteriormente, el patrón Yoshimura parte del patrón plisado; las líneas rectas horizontales que formaban pliegues de valle y montaña son la base del plegado. Para conformar el pliegue Yoshimura, se le añade una malla diagonal, convirtiendo a todos los pliegues paralelos en montaña y a los pliegues diagonales en valle.

La malla diagonal genera una figura que rota sobre sí misma, cerrándose en una forma similar a una bóveda. Si se realiza el número adecuado de pliegues en diagonal y se pliega completamente, se pueden crear polígonos regulares, que vienen definidos según el ángulo empleado en las diagonales.

14.



La creación de formas poligonales con el pliegue vienen definidas por los ángulos empleados en las diagonales y la forma inicial del papel. Igualmente, el canto viene definido por el ángulo; cuanto mayor sea el grado del ángulo, menor será el canto. Se parte de 90° , que es el ángulo mínimo que se emplea para la formación de polígonos regulares. Partiendo de un cuadrado y trazando sus diagonales, creando ángulos de 90° , se realizan los pliegues pertinentes y se obtiene una figura que, al cerrarse, ocupa toda su superficie, alcanzando de esta forma el mayor canto posible.



15. Desarrollos geométricos de patrones regulares Yoshimura.

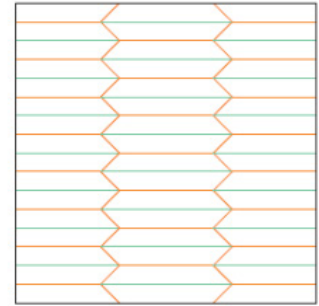
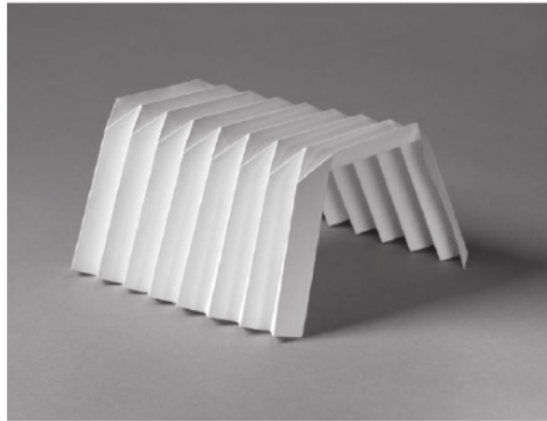
Fuente: Tesis doctoral
 “The Fold in Architecture”
 de Pablo de Souza.
 Simulaciones realizadas en
 el software Rigid Origami.

Existen diversas variaciones del patrón, que consiste en la modificación de las diagonales:

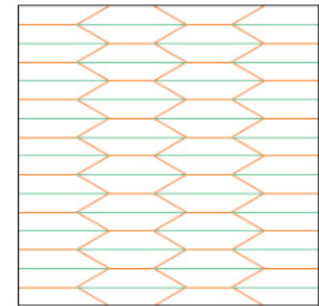
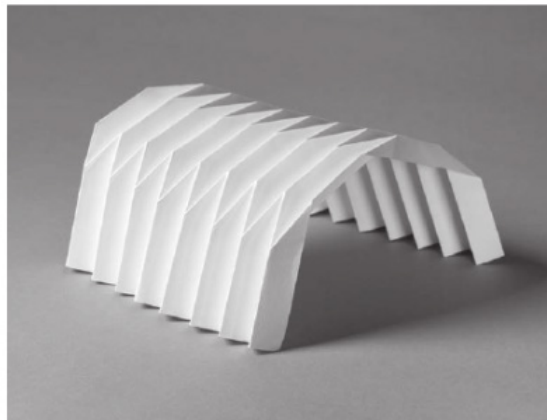
Yoshimura con tramos plegados en “V”.

El uso de líneas de pliegue en “V” podría entenderse como la expansión de los triángulos de las diagonales, transformando los triángulos en trapecios. Los cambios obtenidos en el patrón se reflejan en la “bóveda” al crearse, en vez de vértices, nuevos tramos planos. Se pueden variar los pliegues en V para conseguir una figura más abierta y estriada. A mayor disminución del grado del ángulo, mayor estiramiento de la estructura.

16.



5.2 _ 2
The use of two lines of V-folds creates a span with a flat "roof". Note how the two lines are mirror images of each other.



5.2 _ 3
Here, three lines of V-folds are used. The angle between the strokes of each V is 60°, not 90° as before, which stretches the span and makes it more open. This structure begins to resemble the X-form spans.

Yoshimura con tramos plegados en "V" cruzados por una diagonal.

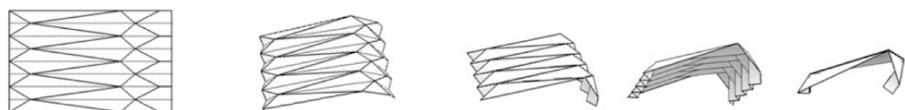
17. Fuente: Tesis doctoral
"The Fold in Architecture"
de Pablo de Souza.
Simulaciones realizadas en
el software Rigid Origami



Yoshimura asimétrico.

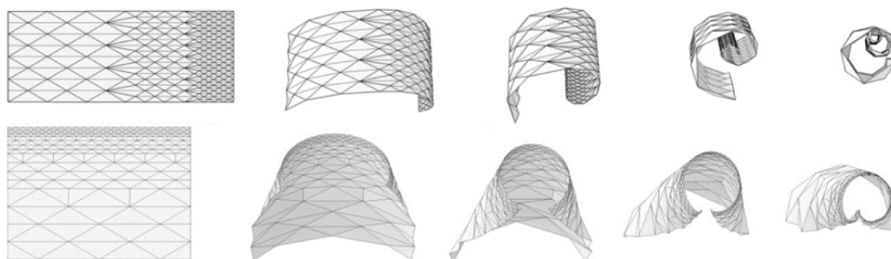
Los triángulos que se forman entre las diagonales y las líneas horizontales, se intercalan entre triángulos escalenos y triángulos isósceles, aportando a la figura final una inclinación.

18. Fuente: Tesis doctoral
"The Fold in Architecture"
de Pablo de Souza.
Simulaciones realizadas en
el software Rigid Origami.



Variaciones escalares.

Son cambios en las distancias de las verticales o de las horizontales pero manteniendo el ángulo del patrón original.

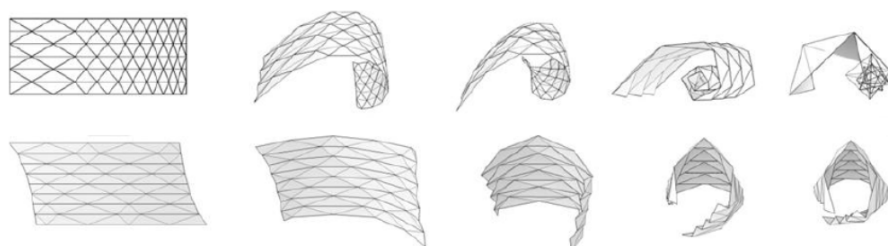


19. Arriba: variación escalar horizontal. Abajo: variación escalar vertical.

Fuente: Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza. Simulaciones realizadas en el software Rigid Origami.

Transformación seriada.

Consiste en crear una serie continua en el patrón con la reducción gradual de las hipotenusas de los triángulos.



20. Arriba: transformación seriada horizontal. Abajo: transformación seriada vertical con simetría invertida.

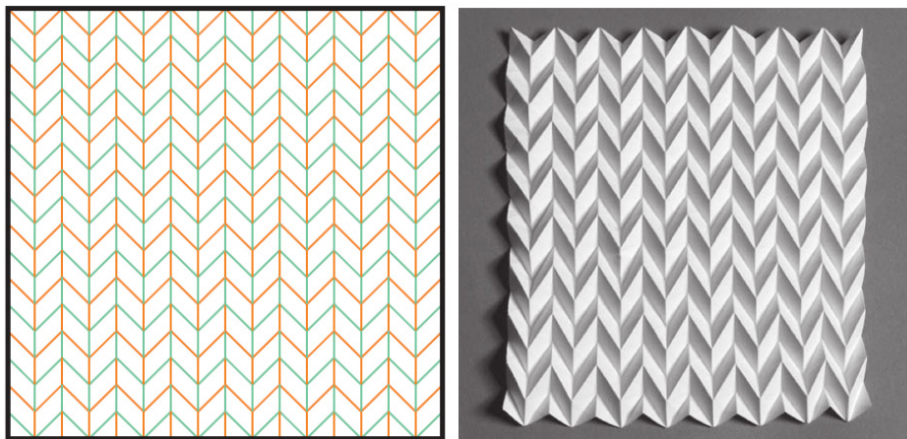
Fuente: Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza. Simulaciones realizadas en el software Rigid Origami.

Patrón Miura-Ori.

Se puede entender como la modificación del pliegue Yoshimura en “V” pero reflejando simétricamente y de forma alterna las “uves”. De otro modo, se podría entender también como la supresión de una de las líneas diagonales que conforman el triángulo Yoshimura, creando formas romboidales.

Al realizar los pliegues, la forma originaria vuelve, al igual que el pliegue plisado, a ser lineal y recta y reaparece la alternancia original de pliegues valle y montaña.

21.

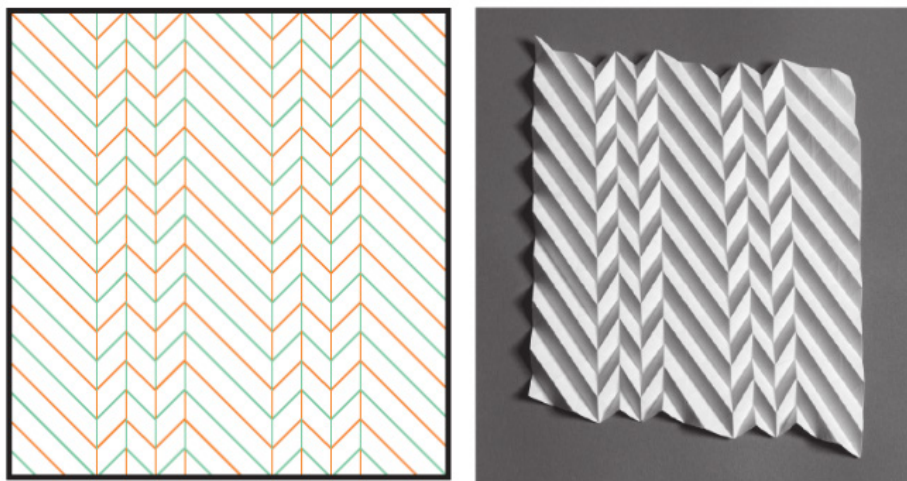


Al igual que en el Yoshimura, existen variaciones escalares, asimetrías, transformaciones seriadas, etc. Y se pueden dar combinaciones de ambos pliegues, siendo el resultado una suma del pliegue Yoshimura con el pliegue Miura-Ori.

Asimetrías.

Los ejes de simetría, de forma alternativa, pueden ser eliminados, de modo que en algunas secciones los pliegues en V aumentan su longitud.

22.

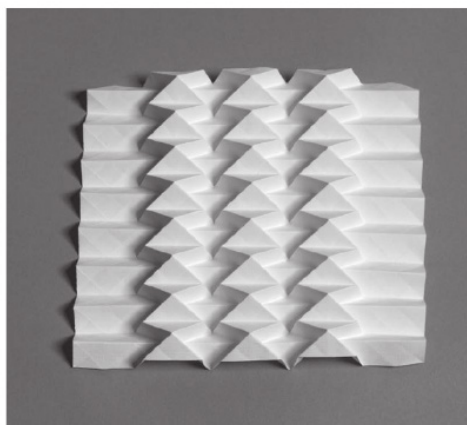
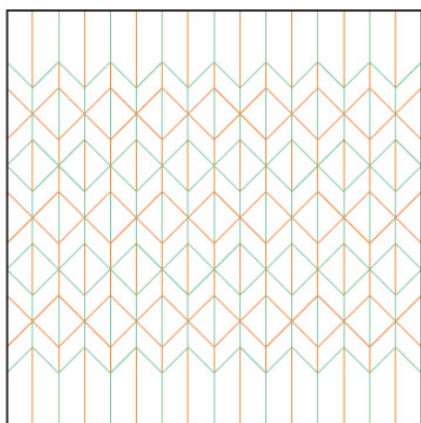


Yoshimura + Miura.

Gracias a la malla de diagonales, se pueden crear numerosas superficies extraordinarias más complejas que las vistas anteriormente, ya que combinan las variaciones de dos tipos de plegado diferentes.

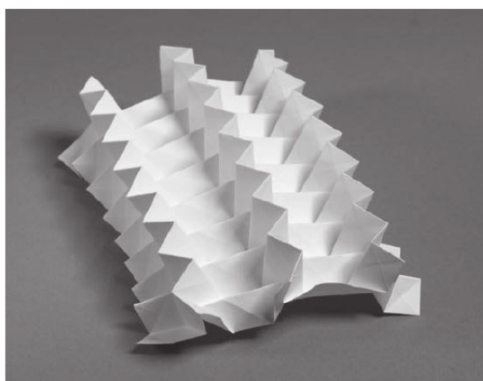
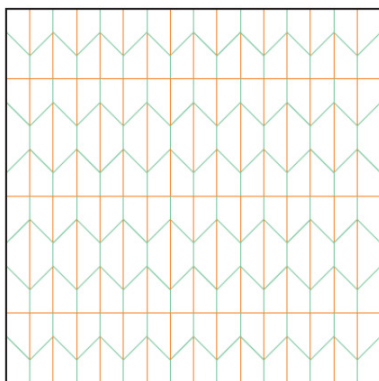
Alternando el pliegue Yoshimura con el Miura, se crea una teselación de origami; se origina una repetición de piezas (teselas) que cubren toda la superficie sin ser superpuestas.

Se pueden variar los ángulos, las distancias entre los tipos de pliegues, la escala, etc.

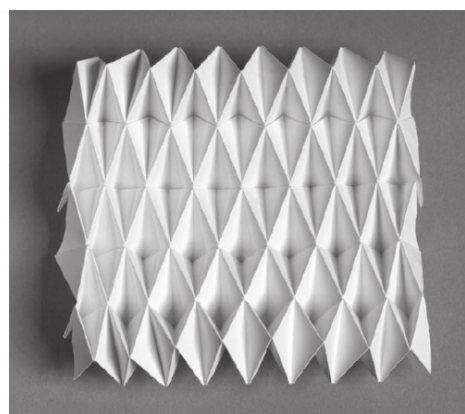
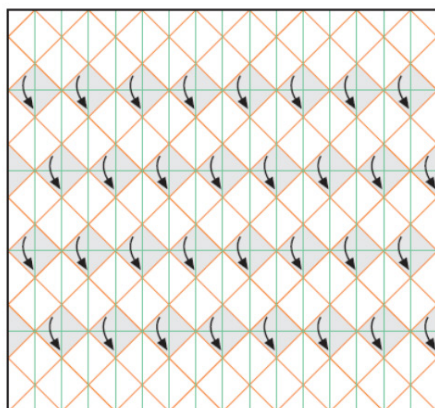


23.

Del mismo modo, se dan casos de combinación de Miura + Plisado, variaciones tridimensionales del Yoshimura que crean una apariencia de plegado Miura.

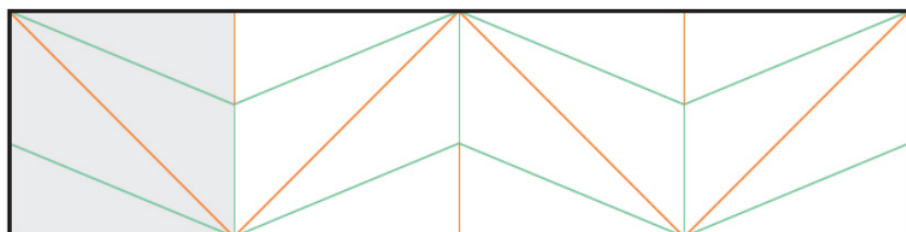
24. *Combinación
Miura + Plisado*

25. *Yoshimura lineal y recto.*

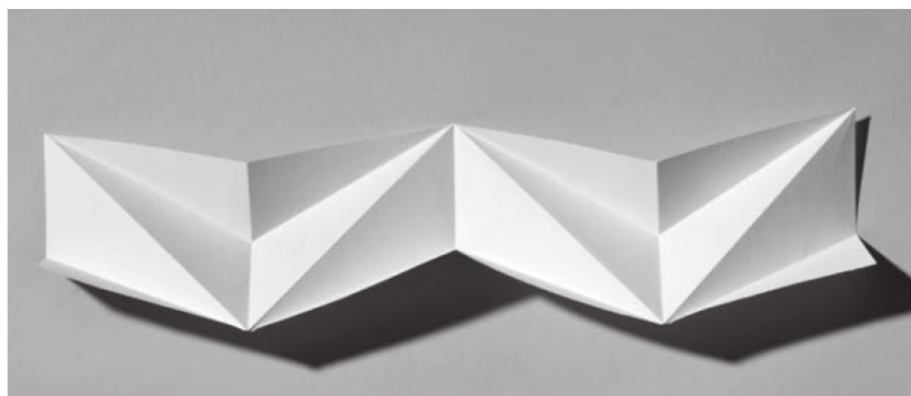


Patrón Fishbone.

Teniendo como base el pliegue Miura, se añaden dos diagonales a cada rombo y se vuelve a la forma de bóveda del pliegue Yoshimura, pero esta vez más gradual y menos marcada. Por lo tanto, vuelve a desaparecer la alternancia original de pliegue valle y montaña.



26.



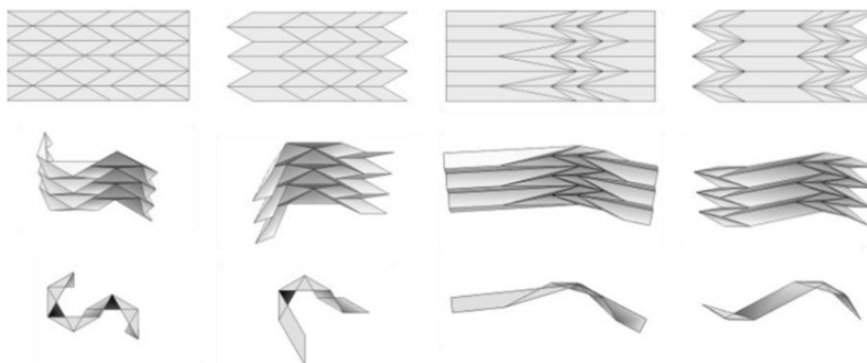
Como ya se ha declarado en el apartado de definición del pliegue Miura, existen numerosas combinaciones de los patrones base. Se pueden unir tanto de dos en dos, haciendo cualquier combinación, hasta los cuatro patrones a la vez.

El paso de un patrón a otro consigue el control pleno de la forma final de la figura, ya que según el empleo de cada patrón, la dirección del pliegue cambia, pasando de cóncavos a convexos, de lineal a curvo.

A medida que el número de uniones, variaciones y repeticiones se vayan incrementando en el prototipo, mayor complejidad alcanzará.

27. Combinaciones de los patrones de pliegue elementales.

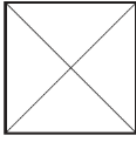
Fuente: Tesis doctoral
"The Fold in Architecture"
de Pablo de Souza.
Simulaciones realizadas en
el software Rigid Origami.



Aunque no sean pertenecientes a los patrones elementales, existe gran variedad de pliegues, observables en elementos arquitectónicos, que cumplen con las premisas del origami, denominadas por Paul Jackson como "origami abstracto".

Van desde la creación de elementos curvos, elementos creados a partir de un solo pliegue, pliegues en forma de caja o incluso se llega a la construcción en papel plegado de elementos que pueden ser puramente arquitectónicos, como paraboloides hiperbólicos.

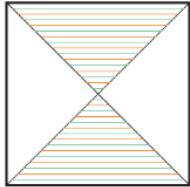
Paul Jackson, en su libro, describe el pliegue parabólico, o paraboloide hiperbólico, como uno de los pliegues más bellos pero más complejos, ya que una mala doblez afecta a la forma final del elemento. Al igual que en la construcción arquitectónica, los paraboloides son estructuralmente complejos de definir pero son estructuras muy fuertes y notablemente flexibles.



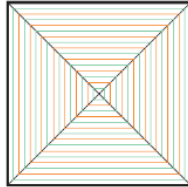
5.3.1.1
On a perfect square, make both diagonals as universal folds (see page 8).



5.3.1.2
This diagram is a copy of 1.1.1.8 on page 18, which teaches you how to divide a length of paper into 32 equal divisions. Please turn to the page and learn (or relearn) how to do this. You cannot proceed until you know how to divide a sheet into 32.



5.3.1.3
Divide the sheet into 32, using the method described in the previous step. Notice three important things: how each fold is contained entirely within either the top or the bottom triangle; how no fold touches the edge of the square; and how there is no centre fold (the centre point of the sheet is defined by the crossing of the two diagonals).



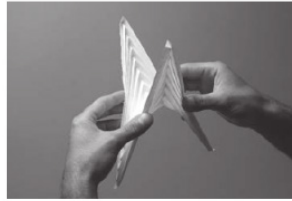
5.3.1.4
Divide the other two triangles into 32. Make sure that each concentric square is made only of mountain or valley folds (not a mixture of the two) and that the squares alternate valley-mountain-valley-mountain between the edge of the sheet and the centre point.

5.3.1.5
Starting at the perimeter, carefully fold the four sides of the largest creased square. To do this, hold the paper in the air, thumbs on the front and fingers on the back, and continuously rotate the paper like a windmill, folding the square bit by bit as you go round. Then, begin to fold the square inside the first. If the first square was a valley, this second square will be a mountain, or vice versa.



5.3.1.6
Continue to fold square after concentric square, rotating the paper all the time. Note how each corner collapses to make a familiar V-pleat.

5.3.1.7
After eight or so squares have been folded, the paper will begin to buckle – it will not want to lie flat. Note how a pair of opposite corners will gradually rise up, while the other pair will dip down. This is the start of the parabola. As you fold more and more concentric squares, the parabola will become more and more 3-D.



5.3.1.8
Near the middle, the final few concentric squares can only be gently pressed and popped into place, not folded strongly. This is best done by making the paper more and more stick-like, rather than by trying to keep it flat.

5.3.1.9
Eventually, all the concentric squares will have been folded and the paper will collapse into a narrow stick form. Press the four arms very strongly to strengthen the folds.



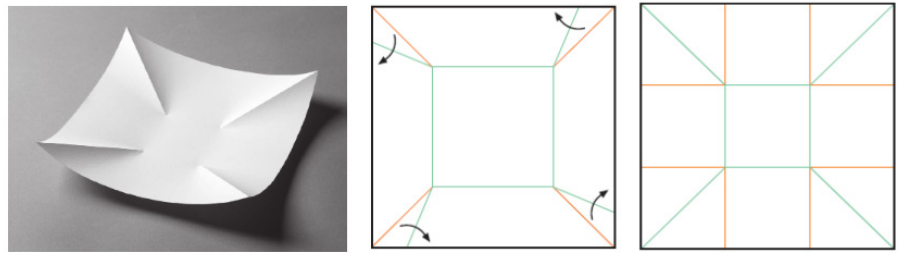
5.3.1.10
Open the parabola by pulling the middle of a pair of opposite edges, then pulling the middle of the other pair of opposite edges. The more the parabola is opened, the more beautiful it will look. For transportation or storage, collapse it back to the stick form.

28.

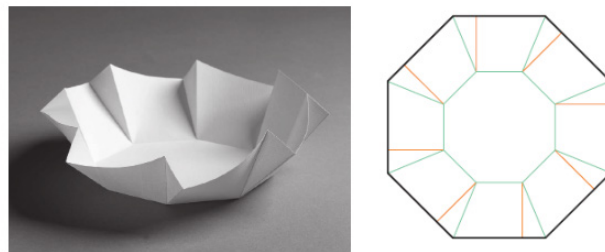
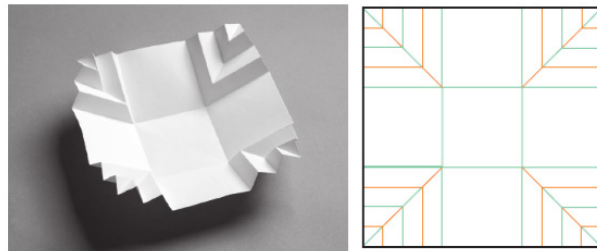
“Folding techniques for designers, from sheet to form” Paul Jackson.

Los parámetros para diseñar los pliegues en caja son más versátiles. Las variaciones posibles son casi infinitas; la relación entre el área de la base y el área de los lados en vuelo, la forma cuadrada de la base, la separación de los vértices para crear cuencos más o menos espaciosos, la apertura, la concavidad, etc. Todas las variaciones pueden combinarse de manera infinita, incluso las más simples pueden crear muchas formas diversas.

La creación de grandes voladizos de una forma tan sencilla, puede servir como inspiración para el diseño de estructuras paramétricas o construcciones laminares, ya que está adaptado para una amplia variedad de materiales en láminas.



29. Variación de pliegue
Miura-Ori en caja.



Un solo pliegue.

“En otro nivel, la extrema simplicidad y franqueza de esta técnica ofrece una limpieza del espíritu de plegado cuando se compara con los ejemplos de otros capítulos que requieren potencialmente docenas o cientos de pliegues. De esta manera, “sin arrugas”, “una arruga” no sólo es una técnica valiosa, sino también un respiro de los rigores del plegado complejo. Menos puede ser más.”

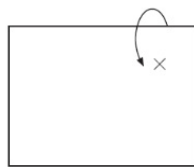
- Paul Jackson

A pesar de que, a mayor número de pliegues mayor cantidad de formas, se descubre una riqueza inesperada en la utilización de uno o ningún pliegue. La clave para llevar a cabo esta técnica es inducir la hoja a una curvatura.

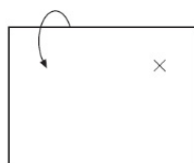
Se habla de roturas, o abolladuras, en vez de pliegues. Un pliegue es una línea bidimensional, mientras que una abolladura es una línea unidimensional que crea una hendidura en el papel. Puede cambiar de cóncavo a convexo y al inverso al conseguir que la colocación de las curvas gire en torno a la rotura. De esta forma, con una sola rotura se crean abundantes formas.



7.1.1_1
The position of the Break on the sheet remains the same for the following six examples.



7.1.1_2_1
These drawings and photographs show how different forms can be made from the same break when different parts of the edge are pulled forwards. The arrow on each drawing shows which part of the edge is pulled forwards and the corresponding photograph shows a possible result. With the Break in a different position on the sheet, other forms could be created. The paper is wet folded.

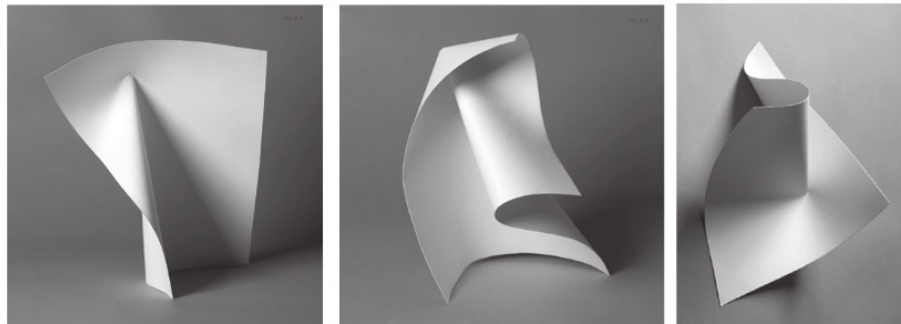


7.1.1_2_2

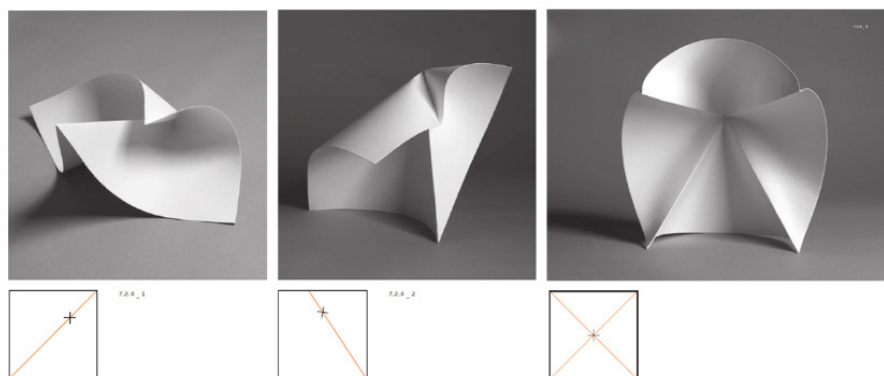
Eligiendo un punto aleatorio en el papel para realizar la rotura, la hoja asume distintas formas curvas dependiendo de cuál de las cuatro esquinas se mueve hacia adelante para originar la curva convexa dominante.

Distintas posibilidades de la rotura anterior:

30. "Folding techniques for designers, from sheet to form" Paul Jackson.



En conjunto, la rotura y el pliegue ofrecen muchas más posibilidades de formas que una rotura sin pliegues.



Casos arquitectónicos a analizar.

La arquitectura, dentro de un amplio rango, se puede tipificar de acuerdo a su posición en la historia o el destino de los edificios y, dentro de cada tipo, aparecen fuertes influencias.

Para poder realizar un catálogo arquitectónico, es imprescindible acotar temporal y técnicamente para realizar una búsqueda detallada de casos que se puedan comparar con los patrones de origami explicados anteriormente. Con el fin de concretar un periodo exacto en el que pueda abundar la posibilidad de edificios geométricos próximos geométricamente a patrones de origami, se limita desde el siglo XX hasta la actualidad; a un periodo de innovación, cambio y experimentación en el diseño arquitectónico gracias, en parte, a las tecnologías y a los cambios sociales y culturales.

En este periodo de tiempo se utilizan y se perfeccionan materiales como el acero, el hormigón armado y el vidrio, permitiendo crear estructuras más complejas, de mayor escala y más resistentes. Así mismo, se desarrollaron avances en la ingeniería estructural que mejoraron la distribución de las cargas en las estructuras y diseñaron edificios más innovadores y complejos en su forma. Dichos materiales y técnicas serán útiles para poder encontrar similitudes con los patrones de origami, ya que al conseguir estructuras autoportantes y de materiales desarrollables, surgen edificaciones con características propias a este.

La cronología, seguida para la delimitación temporal, es la siguiente:

Inicio del Siglo XX: se han estudiado y categorizado los movimientos arquitectónicos de esta sección del siglo, como son el Art Decó y el Modernismo.

Siendo estos promotores de la funcionalidad y del minimalismo y con formas y decoraciones sobrecargadas y tras realizar un estudio exhaustivo de elementos arquitectónicos propios de estos movimientos, se descartan para la realización del análisis arquitectónico con influencia en el origami.

Mediados del Siglo XX: periodo que transcurre tras la segunda guerra mundial, con el fin de reconstruir ciudades devastadas. Se caracteriza por su uso audaz de formas geométricas y materiales industriales, lo cual nos indica cierta relevancia para acontecer este periodo del siglo XX como caso de estudio.

Finales del Siglo XX: la experimentación moral y la complejidad geométrica fueron predominantes durante este periodo, siendo el auge del Posmodernismo y de la Deconstrucción.

Siglo XXI: se evidencian las inspiraciones en la naturaleza y en las formas complejas pero no sobre ornamentadas. La tecnología y la sostenibilidad tienen un papel relevante en el diseño y en el desarrollo de estructuras con

formas más difíciles y artísticas, muchas, como observaremos en el catálogo realizado en las siguientes páginas del trabajo, propias del origami.

Basándonos en las aportaciones de cada movimiento propio del Siglo XX y tras realizar un estudio de casos exhaustivo de cada uno de ellos, se descarta la primera mitad y la segunda mitad del Siglo XX, en parte, por su poca aportación geométrica al catálogo de pliegues a realizar. Durante estos periodos, se utilizaba ladrillo y piedra como materiales principales, lo cual no es útil para las estructuras ligeras y flexibles requeridas por el origami. Además, priorizan la ornamentación y los detalles decorativos, contrastando con la simplicidad del origami.

Se llega a la conclusión de que el Brutalismo es una principal fuente promotora de edificios creados a partir de superficies desarrollables propias del origami, que originan grandes estructuras con pliegues y geométricas que favorecen la resistencia estructural.

Pero, no se ve como fuente promotora una tipología de edificios cualquiera, sino que se repite, de manera significativa, la arquitectura religiosa. Grandes iglesias, capillas y templos religiosos emergen en este movimiento con formas y estructuras dignas de una geometría realizable en papel.

Para poder acontecer las similitudes y divergencias de la arquitectura religiosa de estilo Brutalista con el arte de plegado en papel, se describen brevemente las características propias del Brutalismo empleadas en los templos religiosos.

Brutalismo.

1950.

(Después de la II Guerra Mundial).

Se presenta una arquitectura de renovación y de reconstrucción tras las demoliciones ocasionadas en la II Guerra Mundial.

Surge una arquitectura con los materiales vistos, sin ornamentación y sin cuidado alguno en sus acabados estéticos. Aparecen grandes bloques de hormigón sin pulir, dejando vistas las imperfecciones, que crean estructuras masivas y con aires de grandiosidad con una escala enorme de los elementos; vigas y pilares extravagantes como principales protagonistas de las fachadas. No se oculta ningún aspecto de la estructura, ni del material, ni, por supuesto, del proceso de creación de este, dejando vistas las marcas del encofrado en el hormigón. Se crean formas simples pero compositivamente complejas, de grandes bloques y con aspecto robusto y tosco.



31. Central Hidroeléctrica, Proaza, España. Diseñada por Joaquín Vaquero Palacios, 1964.

Surgen estructuras poderosas pertenecientes a la iglesia y se demuestra la reputación que tiene el Brutalismo: asociación con la grandiosidad y con el poder. La arquitectura religiosa se nutre de la escala, la materialidad y la iluminación que este aporta, enriqueciendo los sectores de oración, conduciendo a los fieles a una experiencia sagrada a través del espacio.

Si buscamos similitudes entre Brutalismo y origami, aparecen gran variedad de premisas coincidentes. Se podría entender como la traducción de plegado de papel en plegado, principalmente, de hormigón.

En las estructuras religiosas, se observa la aportación de los pliegues interiores para transmitir sensaciones en los usuarios, al igual que las piezas de origami, que buscan una reacción en el receptor a través de figuras no necesariamente representativas.

Con los dos tipos de pliegues, tanto en cualquier material constructivo como en papel, se transmite equilibrio o tensión, según el enfoque del arquitecto o del artista del papel. Ambos utilizan el pliegue o las formas de pliegue como elemento conductor del mensaje, reflejando la función sensorial y significativa de la forma: uso de la luz, la sombra y la superficie mediante los frunces creados en la estructura. Se crean formas intrigantes que conducen la mirada a los espacios ocultos detrás de los pliegues, estableciendo recorridos y trayectorias visuales.

“El espacio plegado articula una nueva relación entre vertical y horizontal, figura y fondo, dentro y fuera y consigue una continuidad ininterrumpida entre el interior y el exterior.”

- Gilles Deleuze.
Su idea de pliegue.

El origami se centra en la estética y el Brutalismo se centra en la funcionalidad y en la estructura. No siendo atributos excluyentes, ambas cumplen las mismas cualidades en los materiales empleados, pudiendo cumplir tanto las necesidades estéticas como de funcionalidad:

Hormigón: lámina plegada. Autoportante.

Acero: lámina plegada. Autoportante.

Papel: lámina plegada. Autoportante.

Cualquier superficie creada con estos materiales a partir de la técnica de plegado, da lugar a una estructura o figura tridimensional creada a partir de superficies desarrollables, que cambia su sección plana inicial por una sección de canto constante en función del pliegue o pliegues, aportando rigidez, estabilidad y precisión en el reparto uniforme de cargas.

Catálogo arquitectónico de construcciones de origami.

Después de concretar el caso de estudio en los templos religiosos de estilo Brutalista y tras conocer previamente las distintas aportaciones o semejanzas que puede tener el origami en la arquitectura, se elabora, a continuación de la siguiente descripción de los parámetros a seguir, un catálogo arquitectónico analizando los distintos edificios propuestos y comparándolos con sus respectivos patrones de origami.

Inicialmente se catalogan según su arquitecto creador, ya que se encuentran tendencias de ciertos estudios de arquitectura de realizar arquitectura religiosa inspirada en los pliegues, la época de finalización de construcción, el estilo arquitectónico al que pertenecen, ya que se han sumado al catálogo varias iglesias contemporáneas, así como el material empleado y la acomodación al grosor en caso de que el edificio esté, originalmente, creado por pliegues.

En cuanto a técnica, se clasifican según el tipo de origami al que pertenecen y el patrón elemental, o no, que siguen. Haciendo hincapié en los detalles fundamentales de cada pliegue de papel, tales como los tipos de paneles que se crean al plegarse, las líneas de cruce o el ángulo.

Posteriormente, conociendo el patrón elemental o el origami abstracto por el que se puede crear la iglesia en papel, se detalla la escala de influencia del origami: será destacado si el diseño inicial está basado en la plegadura o si, por el contrario, la forma arquitectónica de la estructura es solo coincidente en topología con alguna figura de origami.

Si la arquitectura surge del pliegue, serán aportados los detalles, las características y los beneficios o desventajas que se producen utilizando dichas técnicas en su construcción.

IGLESIA DE SAN PABLO

Arq. Fritz Schaller

- 1 - Neuss, Alemania.
9 - **Arquitectura** religiosa.
6 - **Estilo** Brutalista.
8 - **Material:** módulo plegable de hormigón (7cm de espesor) y revestimiento exterior de cobre.



Imagen 32.

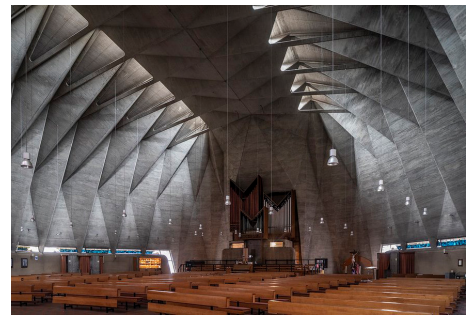


Imagen 33.

Tipo: rigid origami

Plegado: doble

Patrón: Yoshimura

Panelado: paneles triangulares

Pliegues: pliegues repetidos en forma de "X" (montaña) y pliegues paralelos (valle)

Líneas de pliegue: cruzadas 90°

Escala de influencia del origami.

La iglesia de San Pablo parece una obra de arte japonesa de plegado de papel de gran tamaño.

La forma y su techo plegado cumplen con la geometría exacta que proporciona el patrón de origami Yoshimura y refleja el orden exterior en el interior. Las superficies angulares y los pliegues visibles se construyen mediante una lámina de hormigón plegado recubierta posteriormente con placas de cobre. El diseño inicial del arquitecto Schaller y el ingeniero estructural Stefan Polonyi, no solo está inspirado en las técnicas del origami, sino que se usa la técnica de plegado para su construcción.

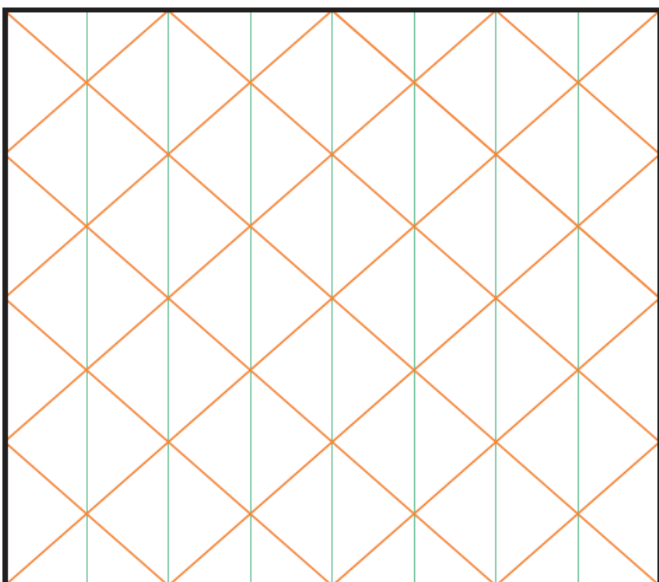


Imagen 34

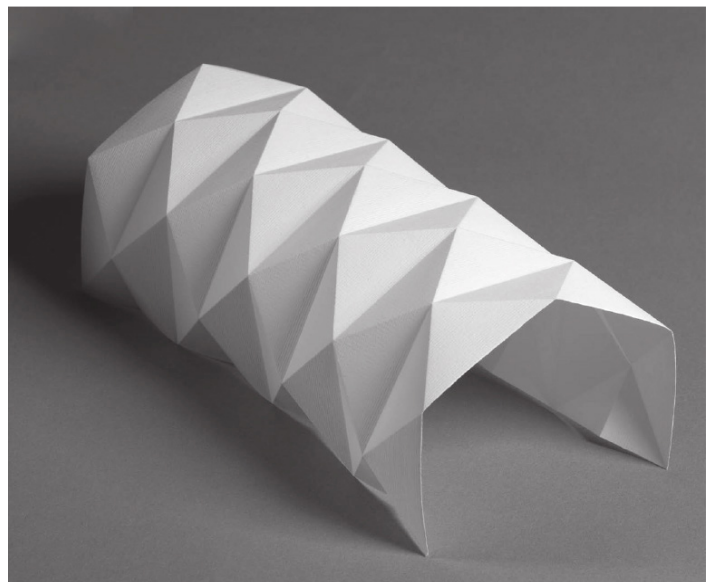


Imagen 35

IGLESIA SINT RITAKERK

Arq. León Stynen

- 1 - Harelbeke, Bélgica.
- 9 - Arquitectura religiosa.
- 6 - Estilo brutalista.
- 6 - Material: lámina plegable
- 8 de hormigón (8,5cm espesor)



Imagen 36.

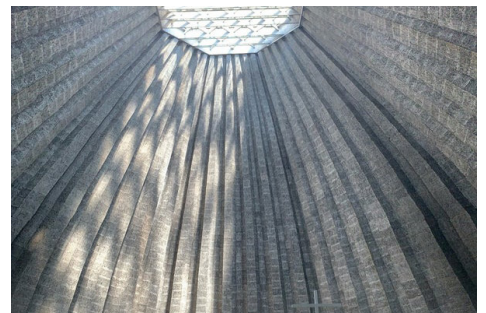


Imagen 37.

Tipo: rigid origami

Plegado: simple.

Patrón: plisado - pliegue caja

Panelado: paneles rectangulares

Pliegues: conjunto de cuatro pliegues repetidos en forma parcialmene rotacional que crean una superficie 2D. Patrón: valle-montaña-montaña-valle.

Líneas de pliegue: no se cruzan.

Escala de influencia del origami.

La iglesia, construida con una lámina de hormigón “plegada”, presenta ciertas características propias del origami, dando lugar a una paprioflexia arquitectónica casual; se emplea un elemento continuo, no una unión de varios, de un único material, una lámina de hormigón, que es plegada en forma de caja, es una estructura autoportante que permite la creación de un gran espacio diáfano en el interior y expresa el orden exterior en el interior aunque, en este caso, de forma inversa, ya que los pliegues valle del exterior serán pliegues montaña en el interior y viceversa.



Imagen 38.

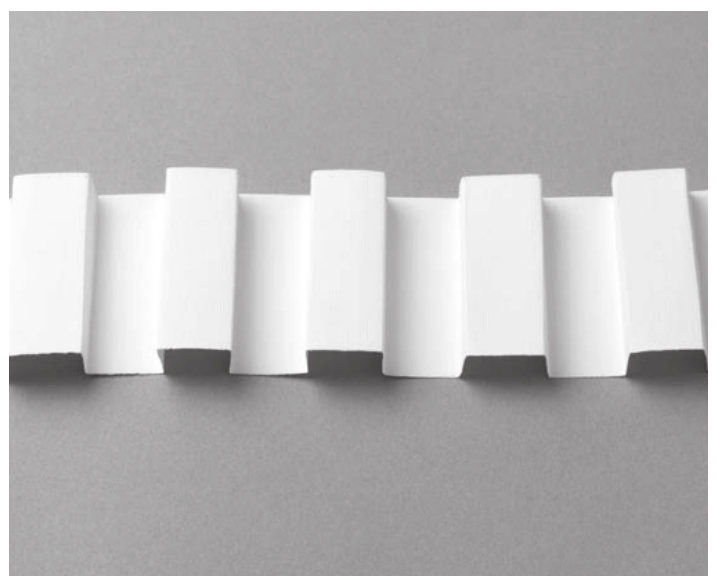


Imagen 39.

CAPILLA VALLEACERÓN

Sancho Madrideojos

- 2 - Almadén, España.
 0 - Arquitectura religiosa.
 0 - Estilo contemporáneo.
 1 - Material: hormigón (dorado) armado.



Imagen 40.

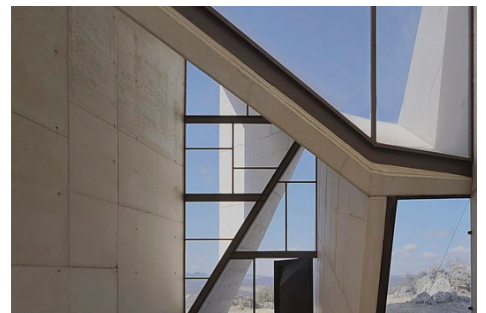


Imagen 41.

Tipo: origami abstracto - pliegue caja.

Plegado: multidireccional. Pliegues interconectados.

Patrón: pliegue caja.

Panelado: paneles poligonales según el pliegue.

Pliegues: pliegue caja tensionado focalmente que crea superficies fragmentadas compactas.

Líneas de pliegue: cruzadas indistintamente.

Escala de influencia del origami.

Utilización del pliegue como generador oculto de los diferentes espacios. La pieza de la Capilla se desarrolla alrededor del estudio y manipulación de un “pliegue-caja”, tensionado focalmente. En este intervalo de recorrido la escala variable del pliegue hace que el volumen, aunque compacto en un cierto momento, se rompa ofreciendo una sucesión de espacios - cerrado-compacto, abierto-fragmentado, en constante cambio de tiempos. Al plantear un pliegue en la caja - en la “boite” lecorbusierana - surge un único material: hormigón dorado, capaz de capturar todos los matices exigidos al volumen.

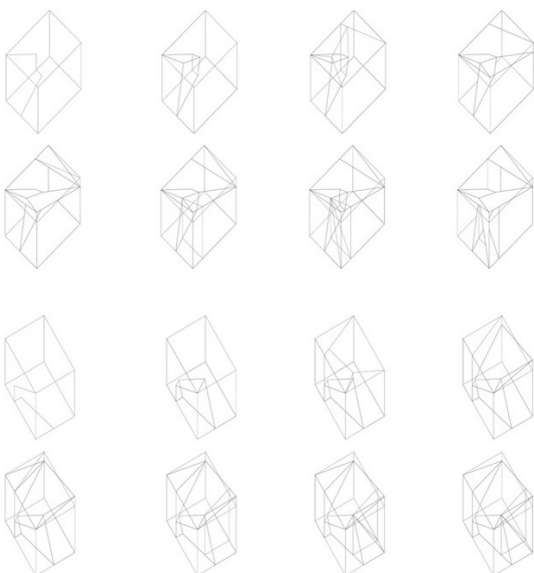


Imagen 42.

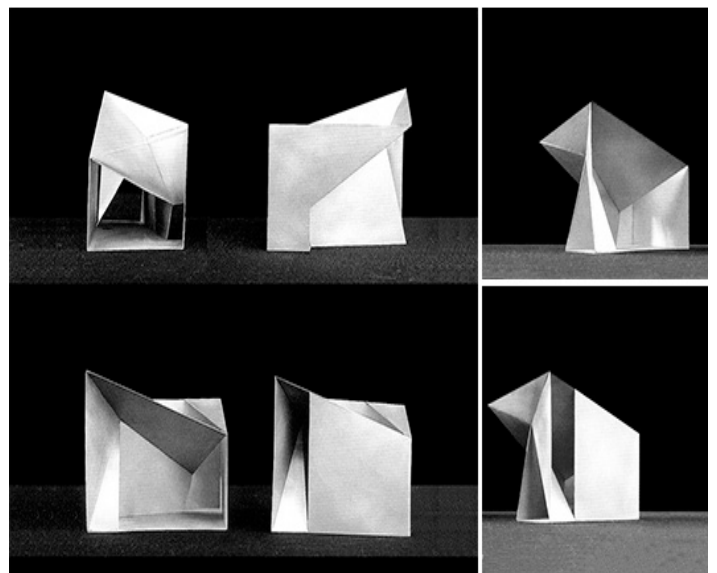


Imagen 43.

CAPILLA SIERRA LA VILLA

Sancho Madrideojos

- 2 - Villaescusa de Haro,
0 Cuenca, España.
2 - Arquitectura religiosa +
1 vivienda.
- Estilo contemporáneo.
- Material: hormigón (dorado) armado.



Imagen 44.



Imagen 45.

Tipo: origami abstracto - pliegue curvo unitario.

Plegado: multidireccional. Pliegues interconectados.

Patrón: no sigue ningún patrón elemental.

Panelado: paneles irregulares.

Pliegues: una única superficie curva se dobla de manera continua siguiendo líneas de pliegue curvas en lugar de rectas.

Líneas de pliegue: cruzadas indistintamente.

Escala de influencia del origami.

La capilla surge de un pliegue curvo unitario. Pliegue que necesita construirse en hormigón armado para que trabaje estructuralmente de manera unitaria y correcta. Se plantea un pliegue curvo como respuesta a las tensiones externas en una acción topológica compleja. Los arquitectos de Sancho Madrideojos aclaran: “no es un origami, es una expresión formal topológica - en equilibrio estructural-, debido a tensiones externas”.

Consiste en un volumen erigido con una potente visión plástica; el hormigón se flexiona sobre sí mismo dando lugar a curvas y ángulos imposibles que hacen virtud del vacío con la plenitud de sus espacios.

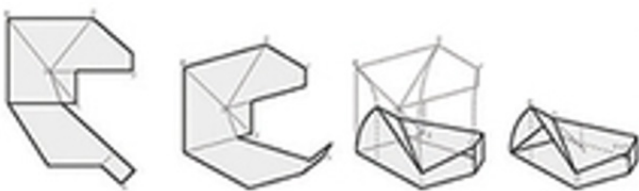


Imagen 46.

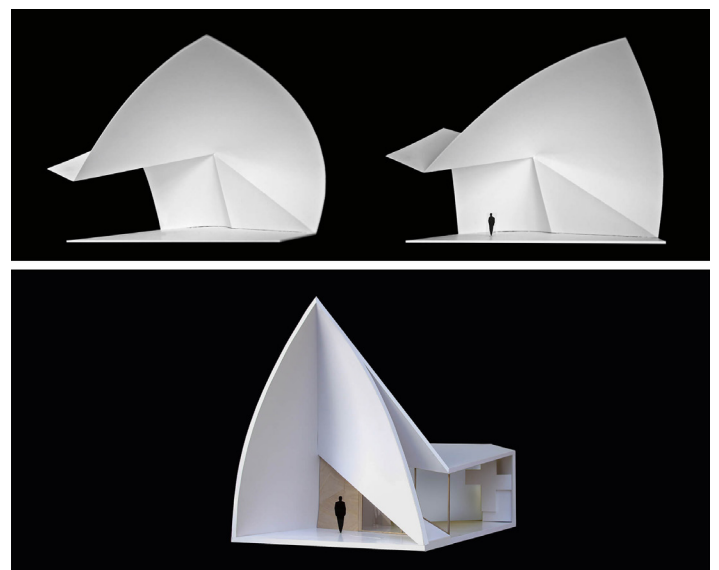


Imagen 47.

IGLESIA EN PINTO

Sancho Madridejos

- 2001
- Pinto, Madrid, España.
 - Arquitectura religiosa
 - Estilo contemporáneo.
 - Material: hormigón (dorado) armado.



Imagen 48.

Tipo: origami abstracto - pliegue unitario.
Plegado: multidireccional. Pliegues interconectados.
Patrón: no sigue ningún patrón elemental.
Panelado: paneles poligonales según el pliegue.
Pliegues: pliegue estructural angular.
Líneas de pliegue: cruzadas indistintamente.

Imagen 49.

Escala de influencia del origami. El diseño de la Iglesia de Pinto se basa en un concepto de pliegue estructural angular. El pliegue base se compone de líneas rectas que se doblan en ángulos específicos para formar las superficies del edificio. Esta técnica crea un efecto visual distintivo, con superficies facetadas que reflejan la luz de manera dinámica. El hormigón se flexiona sobre sí mismo, proporcionando soporte estructural; cada pliegue contribuye a la estabilidad general de la estructura, permitiendo un gran espacio diáfano interior sin la necesidad de pilares. El exterior tiene un impacto en la atmósfera del espacio interior, creando volúmenes, a partir de los pliegues, que delimitan diferentes áreas funcionales como el altar, las naves, etc.

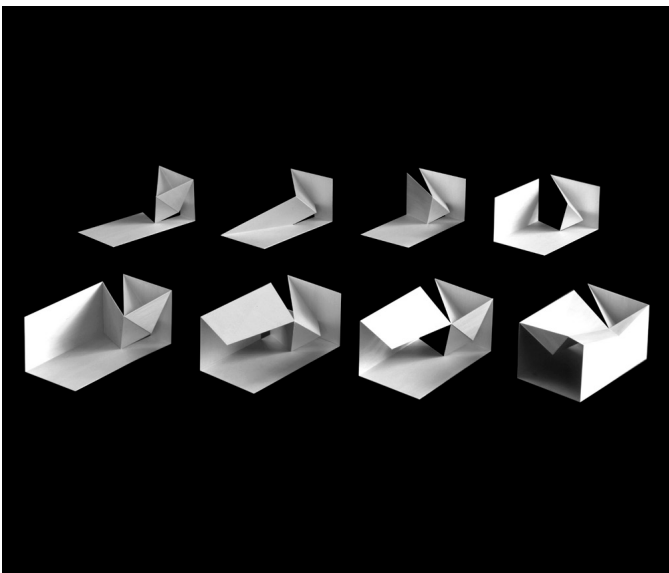


Imagen 50.

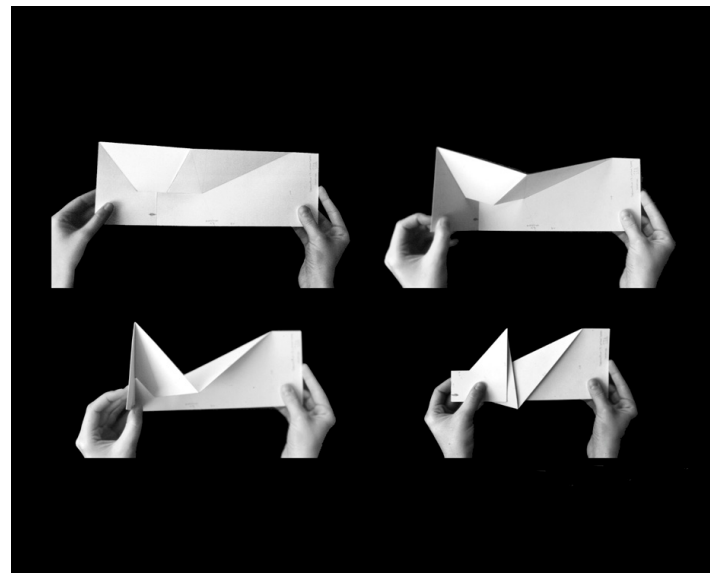


Imagen 51.

IGLESIA EN QINGPU

Sancho Madrideojos

- 2006
- Shanghai, China.
 - Arquitectura religiosa + centro cívico.
 - Estilo contemporáneo.
 - Material: hormigón (dorado) armado.



Imagen 52.



Imagen 53.

Tipo: origami abstracto - pliegue unitario.
Plegado: multidireccional. Pliegues interconectados.
Patrón: no sigue ningún patrón elemental.
Panelado: paneles poligonales según el pliegue.
Pliegues: pliegue estructural angular.
Líneas de pliegue: cruzadas indistintamente.

Escala de influencia del origami.

El carácter formal del proyecto utiliza el pliegue como elemento visual esencial, por lo que la estructura se divide en dos sistemas: el primero es una pieza de hormigón en forma de U formada por nervaduras laterales de 2 a 4 metros que se pliegan generando una serie de capillas laterales, y la segunda es una cubierta ligera -una 'tela de araña'- sostenida por las citadas nervaduras.

El espacio unitario del edificio se comprime y dilata a través de estos pliegues, y se abre longitudinalmente a la tenue luz del norte y a las vistas del canal.

La estructura, al estar dividida en dos sistemas, rompe la continuidad y deja de funcionar como un pliegue: no hay verdad estructural, el plano plegado no se soporta a sí mismo con el pliegue; se abandona el pliegue como estructura y pasa a ser solo generador del espacio.

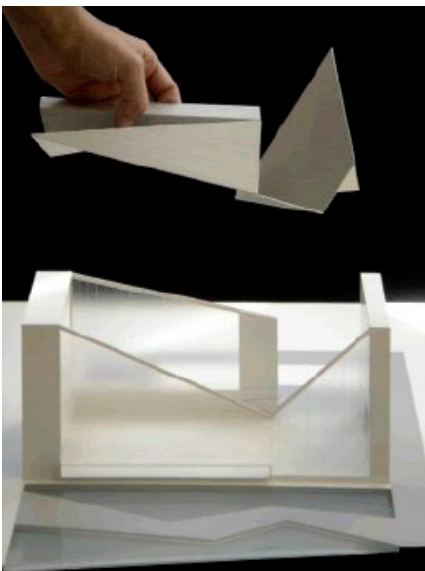


Imagen 54.

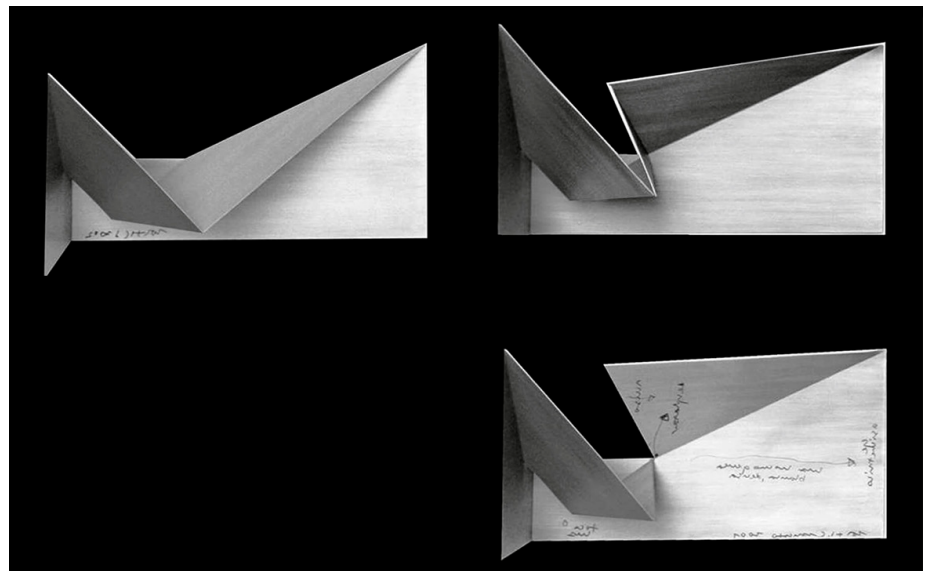


Imagen 55.

IGLESIA DA POLANA

Arq. Nuno Craveiro

- 1 - Mozambique.
- 9 - Arquitectura religiosa
- 6 - Estilo brutalista
- 2 - Material: hormigón armado.



Imagen 56.

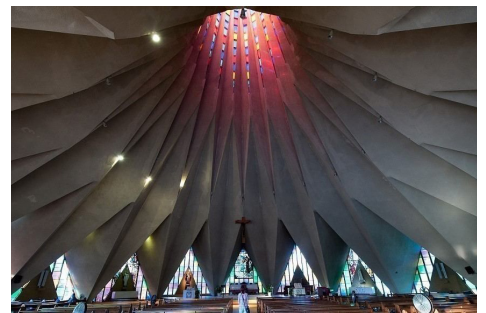


Imagen 57

Tipo: rigid origami.

Plegado: doble.

Patrón: Yoshimura rotatorio - variaciones escalares.

Panelado: paneles triangulares

Pliegues: pliegues radiales (montaña) y pliegues diagonales (valle) con diferentes distancias entre las líneas horizontales y diferentes ángulos.

Líneas de pliegue: cruzadas 51° (perímetro) y 36° (centro).

Escala de influencia del origami.

A pesar de que la iglesia no está diseñada pensando en patrones de origami, cumple con las geometrías y los principios de este, dando lugar a un origami arquitectónico casual que crea una estructura de hormigón con pliegues.

Se crea una cubierta autoportante, de una lámina de hormigón, que refleja el orden exterior en el interior.

Siguiendo el patrón de yoshimura rotatorio representado en la imagen inferior, se podría construir un prototipo en papel, ya que los ángulos y las dobleces permiten realizar con exactitud el modelo.

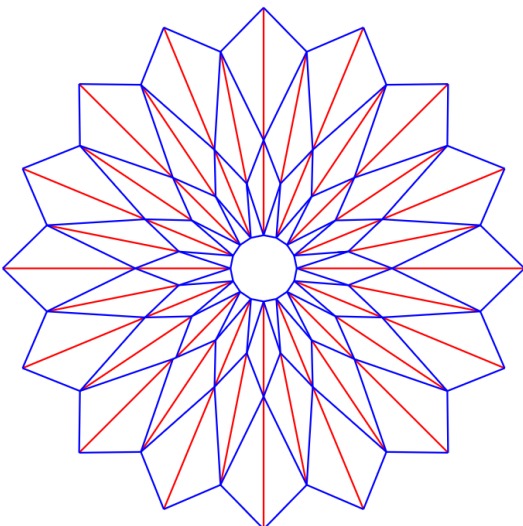


Imagen 58.

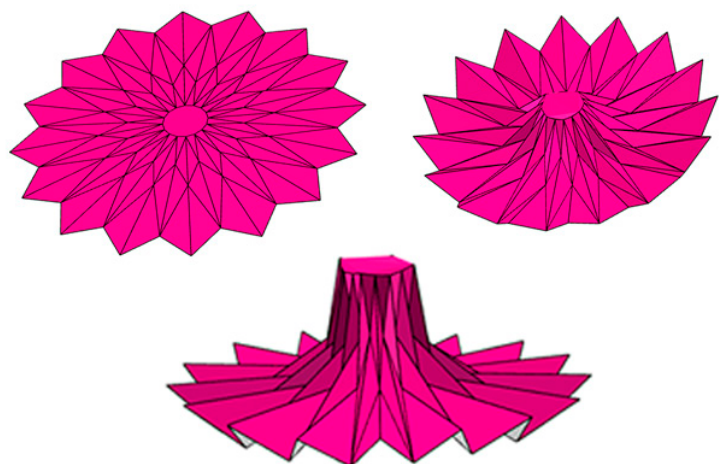


Imagen 59.

IGLESIA SAN JOSÉ OBRERO

**Enrique de la Mora +
Félix Candela**

- 1 - Monterrey, México.
9 - Arquitectura religiosa.
5 - Estilo brutalista.
9 - Material: hormigón armado.



Imagen 60.

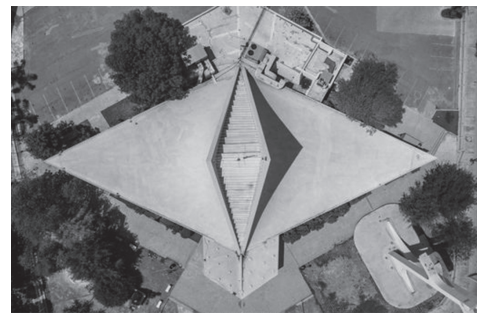


Imagen 61.

Tipo: origami abstracto - pliegue parabólico.
Plegado: doble.

Patrón: no sigue ningún patrón elemental.

Panelado: parabólico

Pliegues: alternancia de pliegues valle-montañavalle- montaña entre el borde de la hoja y el punto central.

Líneas de pliegue: cruzadas 90°.

Escala de influencia del origami.

A pesar de que la idea de enfrentar dos paraboloides de borde recto y asimétricos no surja del plegado de papel, se demuestra la posibilidad de realizar estas formas, a pequeña escala, realizando ciertas dobleces en una hoja: siguiendo la creación en papel del paraboloide hiperbólico a partir de pliegues, que enuncia Paul Jackson en su libro, pero puliendo el resultado final con la técnica de origami húmedo: se humedecen los vértices para suavizar los pliegues y conseguir una forma homogénea y lisa. Cuanto mayor sea el número de aristas que tenga el polígono, más flexible se vuelve la parábola final.

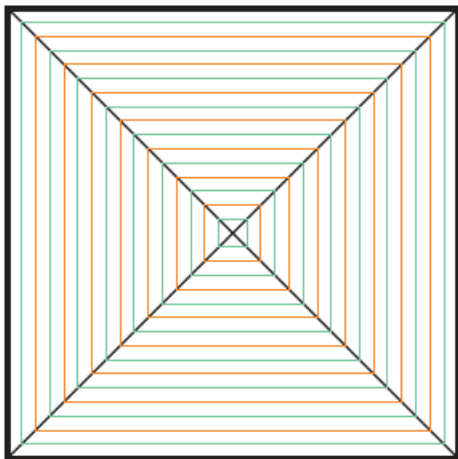


Imagen 62.



Imagen 63.

PARROQUIA NUESTRA SRA. DE GUADALUPE

Enrique de la Mora

- 1 - Madrid, España.
- 9 - Arquitectura religiosa.
- 6 - Estilo brutalista.
- 3 - Material: hormigón armado.

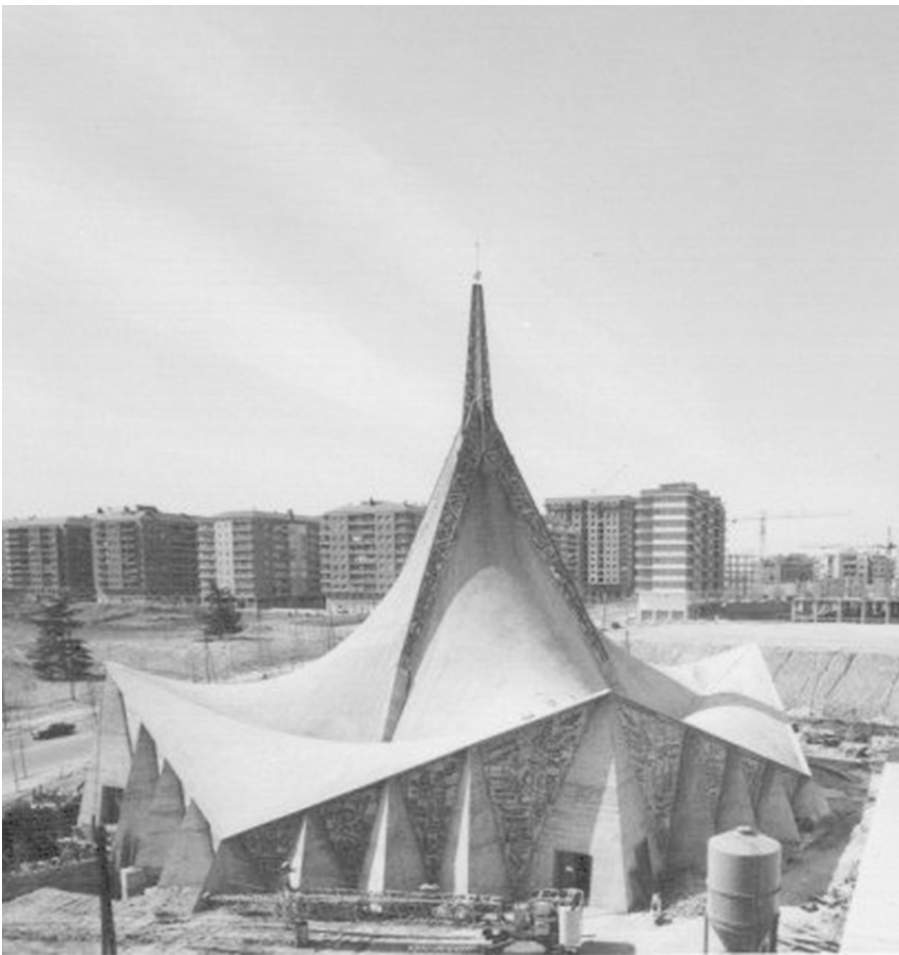


Imagen 64.

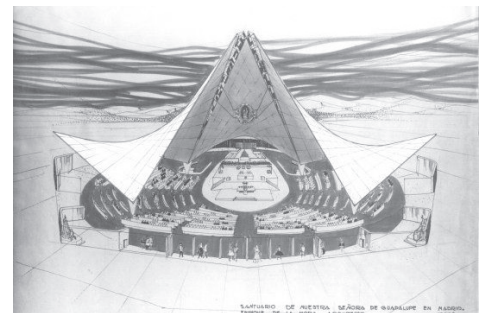


Imagen 65.

Tipo: origami abstracto - pliegue parabólico.

Plegado: doble.

Patrón: no sigue ningún patrón elemental.

Panelado: parabólico

Pliegues: cuadrado grande: solo pliegues valle o pliegues montaña (no mezcla)

cuadrados inscritos: alternancia de valle-montaña valle- montaña entre el borde de la hoja y el punto central.

Líneas de pliegue: cruzadas 90°.

Escala de influencia del origami.

A pesar de que la idea de crear una cubierta con la unión de 8 paraboloides hiperbólicos no surja del plegado de papel, se demuestra la posibilidad de realizar estas formas, a pequeña escala, realizando ciertas dobleces en una hoja: siguiendo la creación en papel del paraboloide hiperbólico a partir de pliegues, que enuncia Paul Jackson en su libro, pero puliendo el resultado final con la técnica de origami húmedo: se humedecen los vértices para suavizar los pliegues y conseguir una forma homogénea y lisa. Cuanto mayor sea el número de aristas que tenga el polígono, más flexible se vuelve la parábola final.

La forma de unir los 8 paraboloides, primero los 4 principales (imagen prototipo) y luego los 4 auxiliares, se realiza mediante clavijas, grapas, pegamento o hilo.

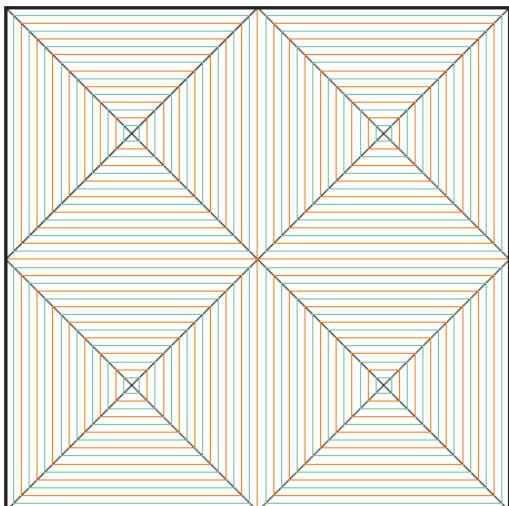


Imagen 66.

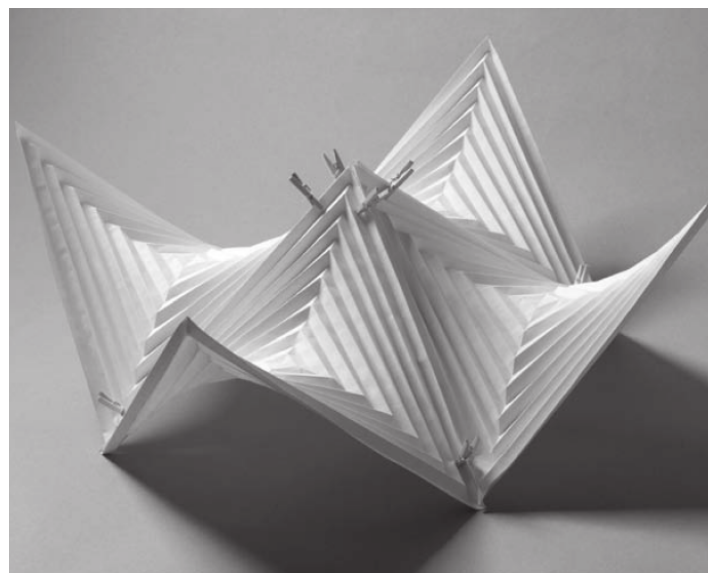


Imagen 67.

Paraboloide hiperbólico - Patrón Miura Ori

Existe otra posibilidad de crear paraboloides hiperbólicos mediante plegado: teselados que siguen el patrón miura-ori.



Imagen 68.

Teselado de origami calculado óptimamente.

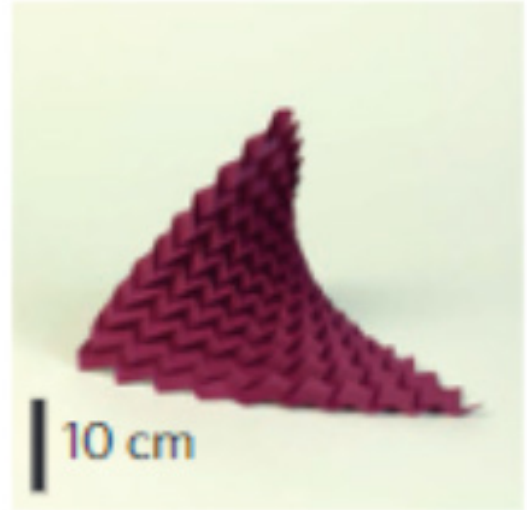
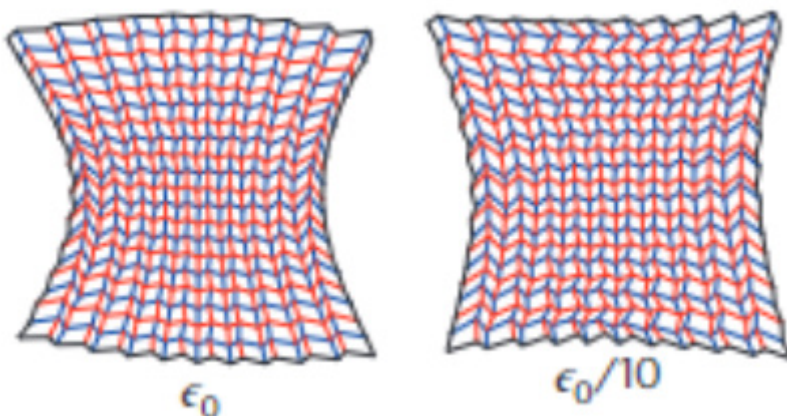
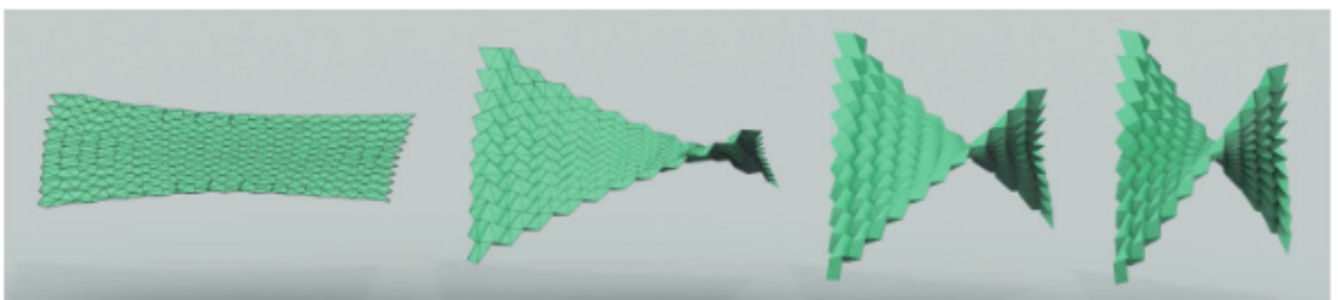


Imagen 69.

Su análogo físico en papel.

Se obtiene la forma parabólica con los patrones generalizados Miura-Ori resueltos numéricamente en superficies curvadas. Para completar la forma geométrica, se agrega un borde adicional a cada cuadrilátero plano, lo que permite doblarse para desplegar estas estructuras.

En la imagen se muestra el plegado rígido de un patrón de paraboloide hiperbólico triangulado desde estados planos (izquierda) a resueltos (derecha).



Orientaciones de pliegue montaña/valle y patrón de nodos fijos/libres para el método de optimización numérica.

Imagen 70.

CAPILLA AMARA

Buensalido Architects

- 2015
- Cebú, Filipinas.
 - Arquitectura religiosa.
 - Estilo contemporáneo.
 - Material: hormigón prefabricado.



Imagen 71.



Imagen 72.

Tipo: kirigami.
Plegado: simple + corte.
Patrón: plisado + corte paralelo.
Panelado: paneles rectangulares.
Pliegues: combinación del pliegue plisado con técnicas de corte siguiendo el pliegue.
Líneas de pliegue: no se cruzan.

Escala de influencia del origami.

La capilla utiliza un concepto similar al kirigami al incorporar elementos estructurales que parecen “cortados” y “plegados” a partir de un plano inicial. Las paredes y techos están formados por paneles precolados que se levantan y ensamblan para crear una estructura tridimensional. Los paneles de concreto y las paredes inclinadas crean una estética geométrica precisa y repetitiva, al igual que en el kirigami.

La estructura de la capilla utiliza cortes y pliegues que permiten la entrada de luz natural de manera controlada. Esto genera un juego de luces y sombras en el interior del edificio, similar al efecto visual que se obtiene en el kirigami, que crea sombras y patrones interesantes al interactuar con la luz.

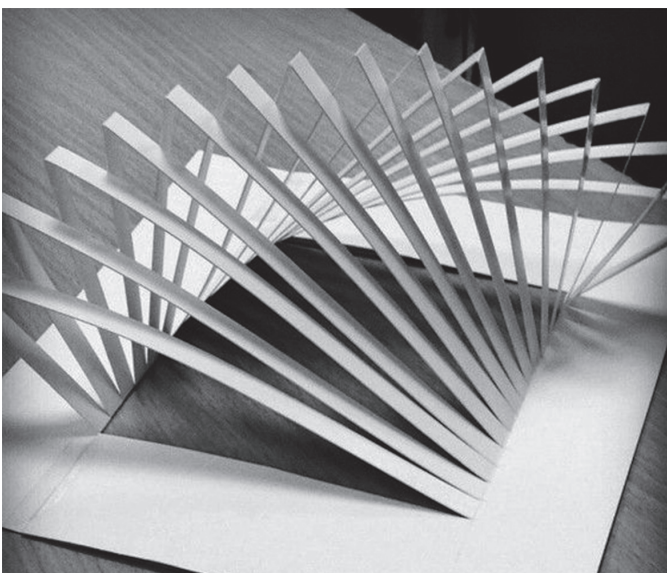


Imagen 73.

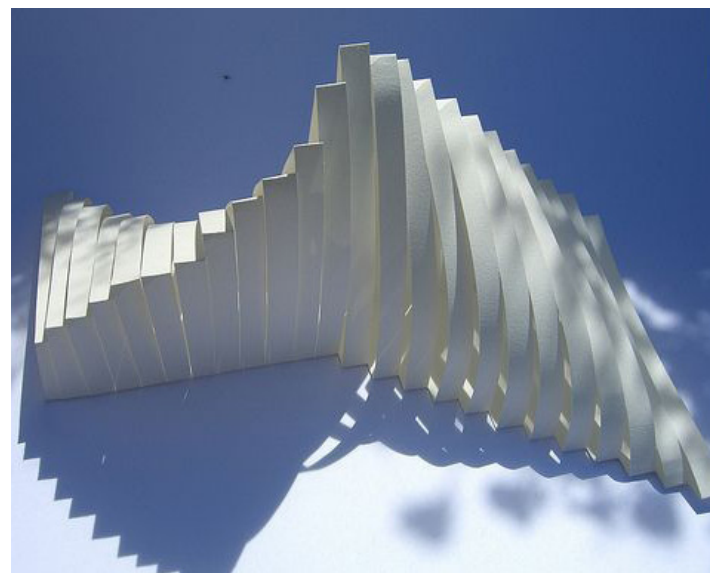


Imagen 74.

IGLESIA DE CRISTO

Dieter Oesterlen

- 1 - Reconstrucción.
9 - Bochum, Alemania.
5 - Estilo contemporáneo +
9 brutalista.
- Material: losa de hormigón
cubierta parcialmente de cinc
+ ladrillo.



Imagen 76.

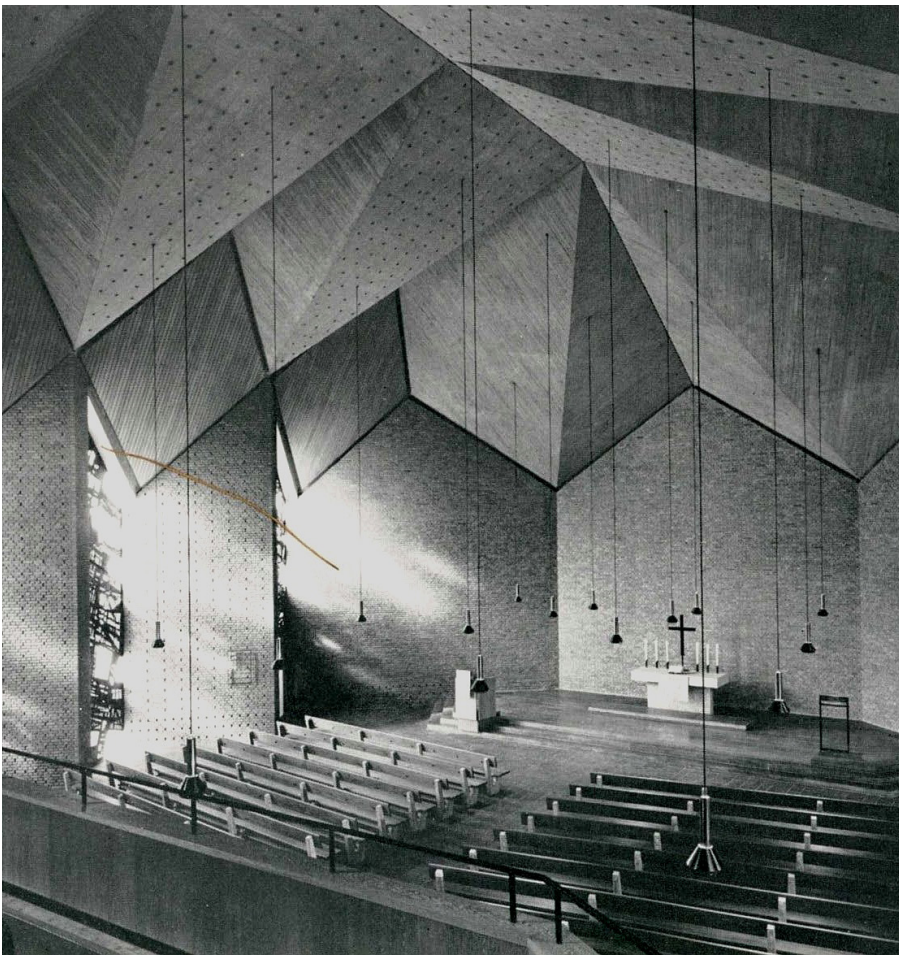


Imagen 75.

Tipo: rigid origami.

Plegado: simple.

Patrón: plisado recto + plisado rotacional.

Panelado: paneles triangulares.

Pliegues: alternancia de pliegues valle - montaña paralelos unidos a pliegues valle - montaña rotacionales.

Líneas de pliegue: recto: no se cruzan. rotacional: se cruzan en el vértice.

Escala de influencia del origami.

Cerramiento dentado. El cerramiento plegado de la iglesia tiene su correspondencia en la cubierta. La losa de hormigón que cubre el templo tiene una forma poliédrica, como una intersección de planos y superficies quebradas, que confieren un aspecto cristalino y expresivo al interior. La cubierta se cubre de chapas de cinc al exterior, quedando el hormigón visto en el interior. Algunas de las superficies facetadas se revisten de listones de madera, como una transición material con los muros de fábrica de ladrillo.

La reconstrucción es una pieza que muestra su independencia geométrica y de lenguaje pero que se articula con el antiguo campanario. La geometría quebrada de la planta se completa con una cubierta triangulada que envuelve el espacio interior.

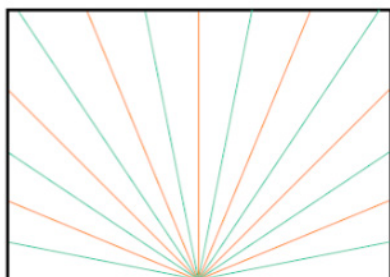


Imagen 77.

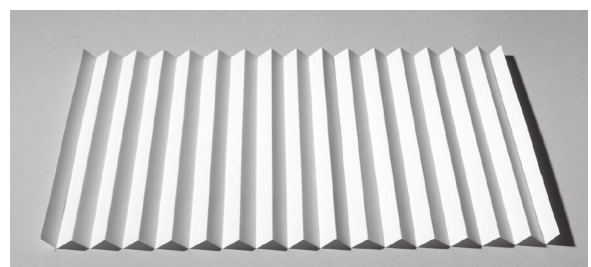
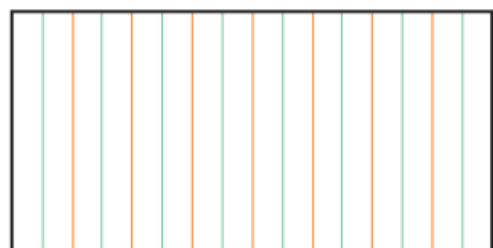


Imagen 78.

U S A F A cadet chapel

SOM - Walter Netsch

- 1 - Capilla de cadetes de la Academia de la Fuerza Aérea de EEUU.
- 9 - El Paso, Colorado, EEUU.
- 5 - Arquitectura religiosa.
- 4 - Estilo brutalista.
- Material: aluminio



Imagen 79.

Tipo: rigid origami.
Plegado: doble.
Patrón: Yoshimura.
Panelado: paneles triangulares.
Pliegues: pliegues repetidos en forma de "X" (montaña) y pliegues paralelos (valle).
Líneas de pliegue: cruzadas 20°.

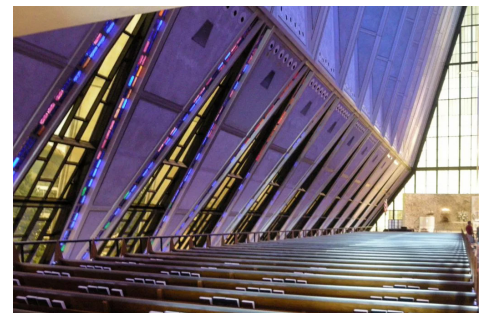


Imagen 80.

Escala de influencia del origami.

El arquitecto Walter Netsch, a la hora de diseñar la forma de la estructura de la capilla, ideó, en papel, un prototipo porvisional. Aparecieron las geometrías y la relación interior-exterior propias del origami, así como la recurrencia de tener una estructura autoportante que cree un gran espacio abierto en el interior.

Al crear algo repetitivo, a través de pliegues consecutivos, la forma base de la capilla aparece por sí sola, formando tetraedros.

Se analizará mas concretamente la relación con el origami en las siguientes páginas.

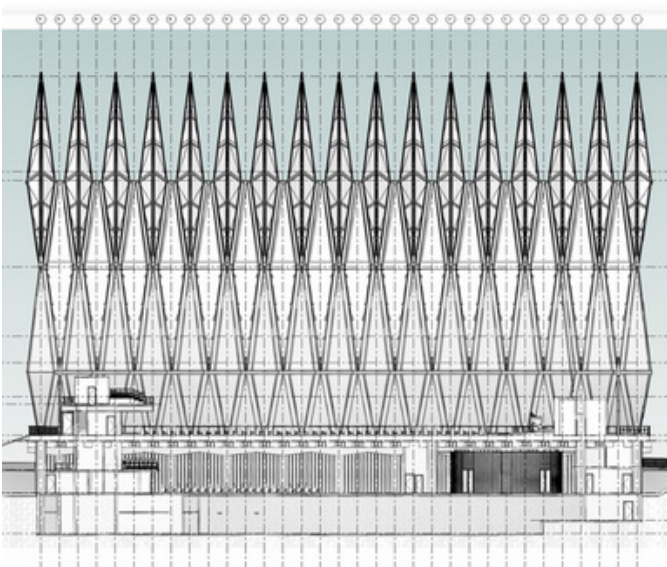


Imagen 81.

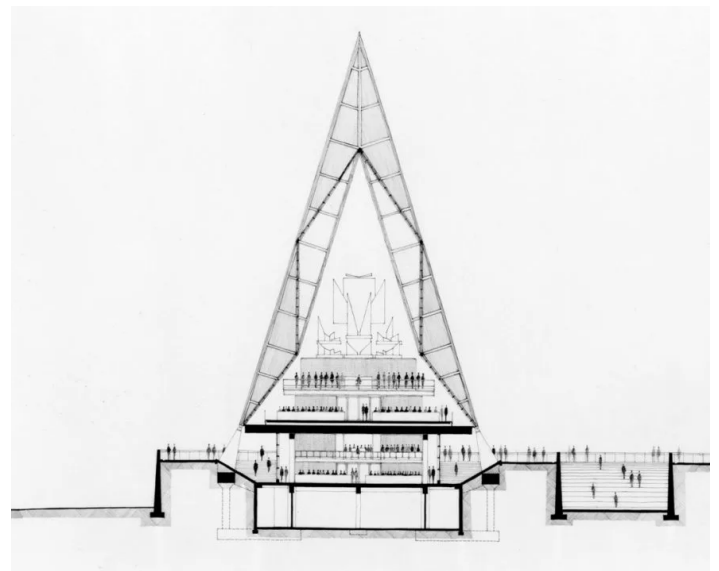


Imagen 82.

A lo largo del catálogo, se ven edificios que no fueron diseñados o pensados con la idea del pliegue o de su construcción a pequeña escala en papel, pero se demuestra que, a pesar de no ser intencionado, las iglesias presentadas podrían ser creadas plegando papel; siguen múltiples premisas del origami, así como el seguimiento en ciertas ocasiones de patrones elementales exactos.

Después de reflejar de manera ilustrativa y analizar topológica y geométricamente los templos religiosos, de estilo Brutalista en su mayoría, surge la siguiente pregunta:

¿Es lo Brutalista algo ligado inconscientemente a las geometrías del plegado?

Se ha demostrado que la arquitectura religiosa Brutalista y las técnicas de origami, comparten una estética basada en la geometría clara y definida. Las formas angulares y los pliegues visibles en ambas disciplinas sugieren una apreciación compartida por la pureza de las formas geométricas.

Se podría decir, respondiendo a la pregunta, que sí. No de manera directa en algunas ocasiones, pero si se relacionan de forma continua ambas disciplinas. En algunos casos (como la iglesia de San Pablo, de Fritz Schaller) se evidencia que, a lo mejor, la inspiración inicial fue superficial en el origami mientras que otros dan resultado a un uso avanzado de patrones en la estructura de forma inintencionada (como por ejemplo, la iglesia da Polana de Nuno Craveiro).

Se observa la dualidad de conceptos. Si el origami demuestra una estructura honesta, el Brutalismo también. El Brutalismo deja vista la estructura, y esta es la que le da la imagen al edificio. Y el papel deja visto todo, no necesita ningún elemento más para reflejar lo que se quiere transmitir. ¿Por qué algo tan fino y delicado como el papel se traduce en algo basto y masivo como el hormigón?

La forma de trasladar el origami a algo arquitectónico real, tangible, es a través de la lámina de hormigón armado plegada. A priori, no parece el material más acorde al papel, pero la forma en la que se desarrolla durante el proceso de construcción da lugar a algo análogo, con las mismas aportaciones estructurales, salvando las distancias del grosor, material, peso, etc. Una lámina de hormigón reforzado, no se pliega literalmente. El armado de refuerzo de su interior, es lo que se pliega, mientras que el hormigón adopta la forma del pliegue y se aprovecha de sus ventajas.

Los pliegues en hormigón armado añaden rigidez y estabilidad a la estructura y las geometrías plegadas distribuyen la carga de manera más uniforme y eficaz, evitando el pandeo y deformaciones excesivas, similar a como los pliegues en una hoja de papel aumentan su rigidez. La resistencia aportada por el hormigón es a compresión, mientras que las cargas a tracción son soportadas por el armado; gracias a los pliegues, la flexión pura se transforma en esfuerzos axiales (compresión y tensión). Se hace un uso más eficiente del material, permitiendo utilizar menos cantidad de hormigón y logrando la misma resistencia estructural, reduciendo el peso de la estructura y en costes económicos.

Aunque se haya demostrado la gran utilidad del hormigón, si nos hiciéramos la pregunta de qué material constructivo tiene características similares al papel, el hormigón no sería la respuesta principal. Aparecerá el aluminio.

El aluminio, al igual que el papel, parte de una superficie plana desarrollable que al plegarse completamente cambia de una superficie plana a un perfil de sección uniforme. Se da lugar a una estructura rígida, autoportante, capaz no sólo de soportar su propio peso, sino capaz de resistir a grandes esfuerzos y tracciones.

Si realizáramos las construcciones con este material y con pliegues, aparecen una serie de inconvenientes propias del aumento del grosor del material, en comparación con el papel o con la posibilidad de pliegue en hormigón, tal como el coste, tanto físico como económico, de realizar pliegues a gran escala con la resistencia del material. Según se fueran realizando los pliegue, el grosor podría causar dificultades en la pieza, concretamente en los vértices donde múltiples capas se solapan, creando abultamientos o dobleces irregulares que quiebran la armonía de la estructura y rompen la delicadeza y precisión de los pliegues necesarios en el origami.

Al contrario que el hormigón, el aluminio puede presentar con el paso del tiempo estrés y deterioro en los puntos de doblez, lo que podría originar grietas y deformaciones estructurales y debilitación de esta con el tiempo.

En el catálogo se expone una única edificación hecha de aluminio, la Capilla de Cadetes de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, pero no está construida con pliegue al uso, ya que como se observa a primera vista en cualquier foto de la capilla, la fachada está creada con piezas ensambladas de aluminio, en vez de una sola pieza plegada.

Al ser la edificación catalogada con características más divergentes al resto, se analiza de forma más detallada a continuación.

Capilla de Cadetes.

Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.



83. Izquierda: interior capilla. Derecha: fachada Sur, entrada principal.

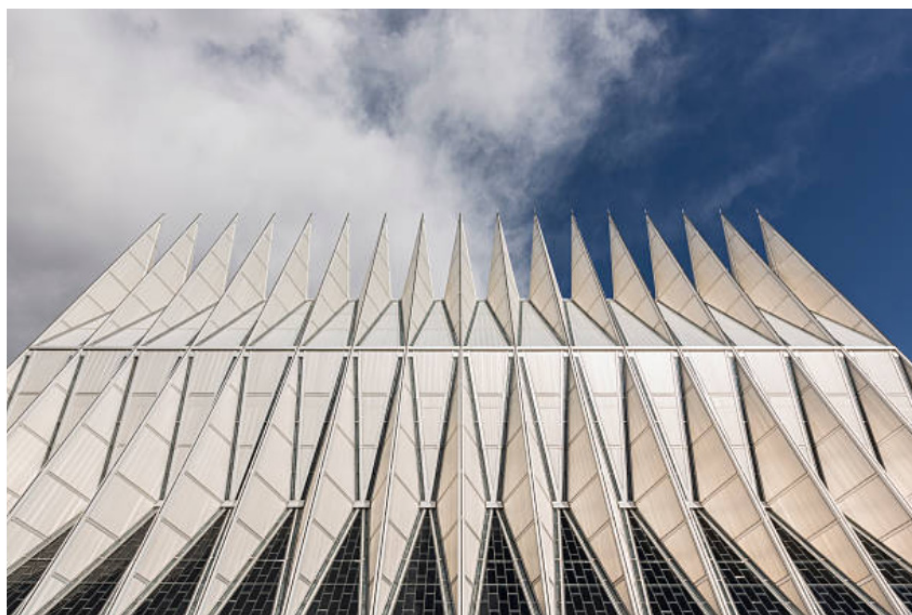
En 1954 encargaron al estudio de arquitectura SOM (Skidmore, Owings, y Merrill Architects) el proyecto de la academia de cadetes de la fuerza aérea de los estados unidos en El Paso, Colorado, ubicado próximo a las montañas rocosas de Rampart Range. El estudio diseñó el edificio administrativo de la Academia, los edificios de aulas, el centro social, el alojamiento para estudiantes, el comedor, la capilla y el edificio de educación física. Nos vamos a centrar, evidentemente, en la capilla.

El equipo fue designado en 1954 y la capilla se inauguró en 1962. En 1996 recibió el Premio 25 Años del Instituto Americano de Arquitectos y en 2004 fue nombrada Monumento Histórico Nacional de los Estados Unidos.

La responsabilidad del diseño recayó sobre el arquitecto Walter Netsch⁸, teniendo de jefe de diseño a Gordon Bunshaft y a Ken Nasland como ingeniero. La premisa de partida era la confección de un espacio de convergencia de tres religiones distintas, lo cual fue decisivo para la imagen exterior del diseño final. Entendieron que crear una capilla con una sola aguja simbolizaría una única religión, pero la idea de una cubierta con tres se descartó directamente. Y, aunque originalmente se diseñó con diecinueve, se finalizó con diecisiete agujas, creando, sin ninguna duda, un espacio de adoración único y reconocible, prescindiendo de elementos arquitectónicos convencionales asociados a cualquier fe. Para comprender la idea de una capilla multidisciplinar que albergara tres religiones nos remontamos al origen del diseño, a la inspiración, al estudio inicial.

8. Walter A. Netsch fue un arquitecto estadounidense relacionado directamente con el estilo brutalista y con el estudio de arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill. Su estética se conoce como "teoría de

84. fachada este.



Trás haber viajado a Europa por orden de Gordon con el fin de poder justificar, al haber visto Chartres y Notre Dame, la realización de otro edificio controvertido, Walter y Nalsand se cuestionaban cómo se puede lograr el efecto de agregar algo nuevo dentro del mismo vocabulario cada década, cómo, en esa época “tan moderna de tecnologías”, podía crear algo que fuera tan inspirador como Chartres y con la luz de Sainte-Chapelle. De la capilla de doble altura de Sainte-Chapelle, surgió la idea de un todo, de un conjunto. La unificación, en un mismo edificio, de la capilla protestante, la capilla católica y la capilla judía.

Pero, ¿cómo nace la forma?

Según explica Walter en la entrevista publicada en Medium ⁹, fue su ingeniero, Ken Nasland, quien hizo esta contribución mientras almorzaban en una cafetería próxima al estudio.

De un plato de papel, surgió un pequeño modelo que estaba al corriente. De ahí, un trozo de papel doblado, y otro, y otro. Origami. Al crear algo repetitivo y consecutivo, la forma base apareció por sí sola, dicho por Nasland, un tetraedro. Walter, discrepante, trabajó tanto de noche como de día. Lo hizo girar. Podía darle la vuelta, ponerlo del revés. Compilando los tetraedros juntos, se invierten. Obtienes dos tetraedros, uno encima del otro, y obtienes lo inverso. Y, en el interior, obtienes lo contrario.

Aumentó la escala del modelo para presentar la propuesta. Plegó papel hasta formar dos tetraedros con una altura alrededor de un metro. Y la propuesta triunfó.

Si nos centramos en lo que nos interesa realmente, nos preguntamos... ¿por qué brota en Walter la idea de iniciar un proyecto plegando papel?

9. Medium es un servicio de publicación de blogs creado por los fundadores de Twitter Evan Williams y Biz Stone en agosto de 2012.

Bauhaus. Profesor Josef Albers.

En la escuela, Albers enseñaba la importancia del material, no solo del de construcción sino del material inicial para originar la idea. Pedía a sus alumnos que, con un simple periodico, convirtieran ese material en algo más de lo que era ahora, y, si podía ser sin la utilización de tijeras, pegamento o cualquier otro utensilio, mejor.

La forma de crear respetando el material, pudiendo explorar a través de formas cinéticas representado el movimiento, es igual a lo que se consigue con el origami.

“Cada obra de arte cuenta con un determinado material de partida y, por tanto, primero debemos investigar cómo está hecho este material. Para ello, primero deberemos experimentar, sin confeccionar nada. En estos momentos preferimos la habilidad a la belleza. El lujo dependerá del material con el que trabajemos. Piensen que en general conseguirán más cuanto menos hagan. Nuestro estudio debe fomentar el pensamiento constructivo.”

- Hannes Beckmann, estudiante de la Bauhaus, como recuerdo de una clase de Josef Albers.

A pesar de que Netsch admitiera en la entrevista que no tenía tanta dedicación a la Bauhaus, al no sentirse perteneciente a ella, en la raíz del diseño de la capilla, en el proceso creativo, se observa la influencia intrínseca de la aportación de Albers a la escuela.

El prototipo, el papel, el plegado, permitieron una nueva correspondencia entre vertical y horizontal, figura y fondo, dentro y fuera, consiguiendo una continuidad ininterrumpida entre el interior y el exterior, propia de construcciones laminares¹⁰ y propia del Origami. Pero había que organizar la forma, darle un sentido. El resultado fue continuar con la idea de Gordon de seguir un sistema proporcional corbusiano. Todo el conjunto de la academia estaba basado en el módulo de dos metros, y Walter, con la influencia de la funcionalidad del módulo de tatami que descubrió en su estancia viviendo en Japón, elaboró el sistema basado en el número siete. Tres y medio y siete. Dando lugar a un funcionamiento racional de la forma de la estructura, permitiendo a la vista la percepción de un encajonamiento en un módulo, tanto vertical como horizontal.

El paso del papel al material final fue un tanto tedioso. El arquitecto estaba fascinado por la imagen fantasmal que crearía el onix y le apasionaba la idea de enormes tetraedros de onix translúcidos y blancos combinados con los reflejos coloreados provenientes de los cristales intersecados en la estructura. Fue, inevitablemente, una idea desechada. Era algo extravagante más allá de lo posible, la construcción se enfrentaría a desafíos significativos debido al tamaño minúsculo de las piezas, la gran cantidad de

10. Las construcciones laminares son estructuras basadas en la utilización de láminas delgadas de hormigón, acero, etc. para formar superficies continuas y resistentes, cubriendo grandes espacios sin necesidad de soportes intermedios.

uniones, todas susceptibles a fugas de frío, lo que resultaría en una tarea prácticamente inviable de llevar a cabo.

Se volvió al prototipo inicial, sin detalles, sin ventanas, solo con pequeños puntos de colores que representaban los puntos de luz de color que quería transpasarse. Se tuvo en cuenta la paleta de materiales que el estudio SOM eligió para el resto de la academia: aluminio natural y vidrio, y se consiguió así una estructura viable constructivamente y que trabajara acorde con la integración en la academia y la interacción de la capilla con el paisaje accidentado.

Finalmente, la capilla se originó con 17 agujas monumentales consecutivas, formadas por 100 tetraedros recubiertos de paneles de aluminio triangular y distanciados por 30 cm de vidrio de murano de 25 milímetros de grosor. Cada tetraedro tiene 23 metros de largo y pesa 5 toneladas, y el conjunto de ellos, en cada aguja, crea una altura ascendente hasta el cielo de 46 metros. Las dimensiones exteriores de la nave son de 26 x 85, y la altura máxima alcanzable en el interior es de 28 metros.

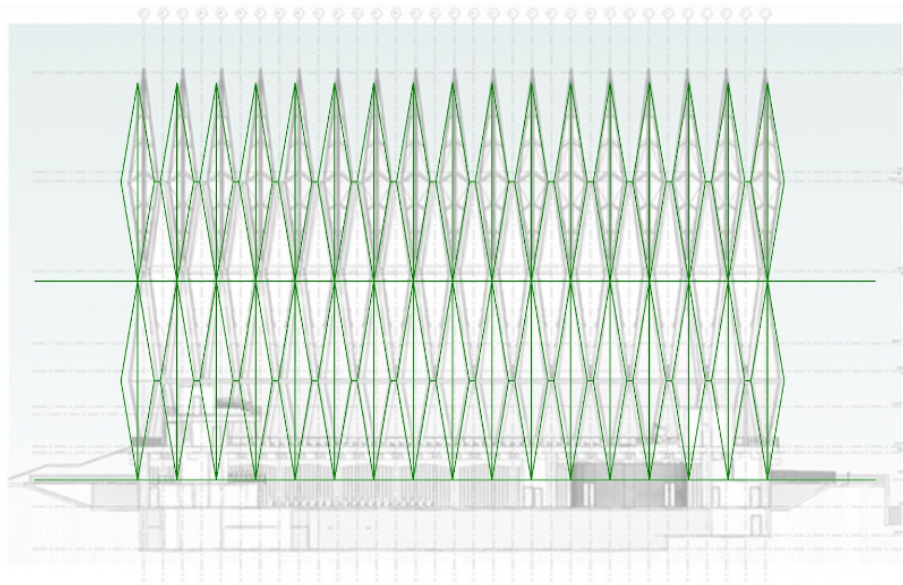
85. Detalle unión
vidrio-aluminio.



Relación de la capilla con un patrón concreto de origami.

El primer acercamiento para establecer qué patrón o patrones, o qué similitud geométrica tiene con un patrón de origami, es a través del plano. Analizaremos los planos exteriores de la capilla, en dos dimensiones, para ver, a priori, qué tipos de pliegue parece que sigue y su factibilidad.

Análisis geometría exterior capilla:



86. Patrón de origami.

Imagen de creación propia

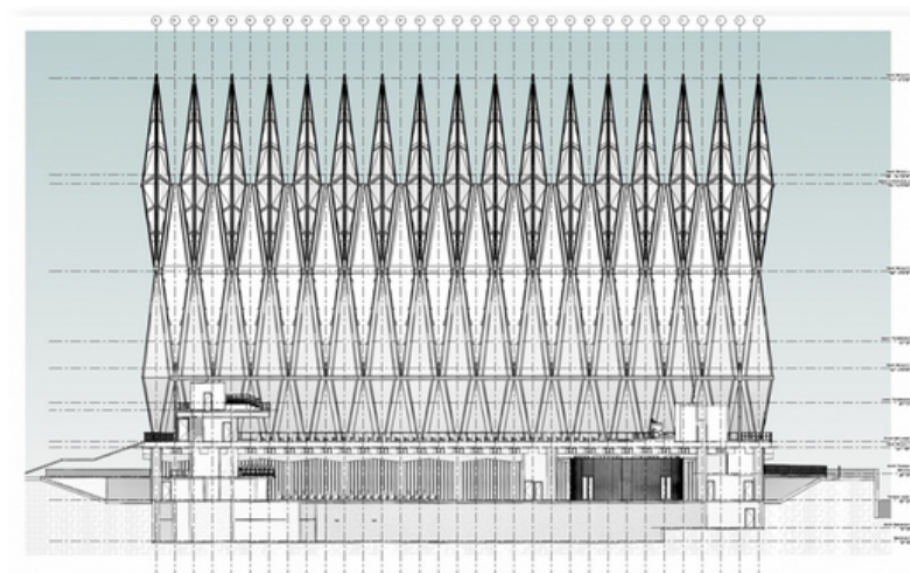
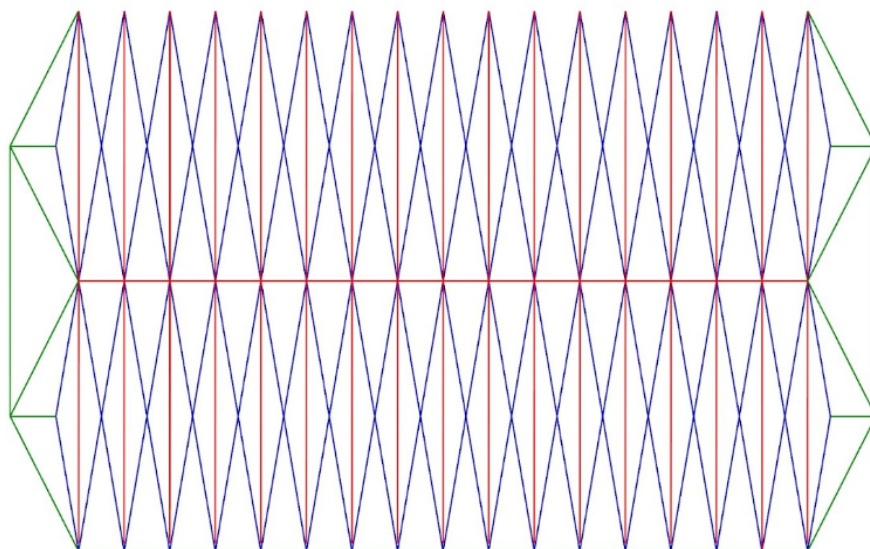
Tomando como base el alzado principal, se elabora un diagrama siguiendo las líneas directrices de las formas geométricas conformadas por la fachada. Se realzan las formas tetraédricas de cada aguja y se muestran, sobre el diagrama, los dos triángulos equiláteros que forman las dos caras exteriores de los tetraedros de la fachada.

Al igual que en el origami más purista, se crean repeticiones y simetrías. Se crea una doble repetición; 17 veces longitudinalmente y 17 veces de forma simétrica.

Siguiendo el sistema de lenguaje Yoshizawa - Randlett y el código de color de Tomohiro Tachi, se elabora el patrón inicial de origami para el exterior de la capilla de Walter.

87. Arriba: Patrón de origami.
 Valle: color azul. Montaña:
 color rojo. Delimitación
 contorno y pliegues sin
 definir: verde. Imagen
 de creación propia.

Abajo: alzado fachada este.



Una vez sacado el patrón, se extraen los siguientes recursos y se analiza la aportación a nivel estructural y constructivo de los pliegues definidos:

Tipo: rigid origami.

Plegado: doble.

Patrón: Yoshimura.

Panelado: paneles triangulares.

Pliegues: pliegues repetidos en forma de "X" (montaña) y pliegues paralelos (valle).

Líneas de pliegue: cruzadas 20°.

¹² Las superficies desarrollables son casos especiales de las superficies regladas que, mediante deformaciones que no alteran las distancias entre sus puntos, pueden ser transformadas en un fragmento plano. Es decir, es una superficie que puede ser desplegada en una superficie plana sin deformación.

La estructura está formada por superficies desarrollables ¹² que, siguiendo el patrón, se pliegan completamente hasta cambiar de una sección plana a una sección uniforme. Esto se consigue, en este caso, con la utiliza-

ción de pliegues dobles que confieren una mayor resistencia y definición de la figura resultante, consiguiendo la estructura sólida y estable que define el rigid origami.

Como ya se describió anteriormente, el patrón Yoshimura es una cuadrícula de pliegues alternativos en direcciones opuestas que crea una retícula de “valles” y “montañas”. El orden en cuadrícula en el pliegue permite la distribución uniforme de las tensiones y las cargas a lo largo de la estructura, favoreciendo la estabilidad y resistencia al no contar con ningún punto débil con una carga desproporcionada. Las líneas de pliegues forman un ángulo de 20° en el panelado triangular que se forma, manteniendo la proporción original del edificio y añadiendo complejidad y rigurosidad con la geometría inicial, y ayudando a la distribución uniforme de la carga.

Prototipo A

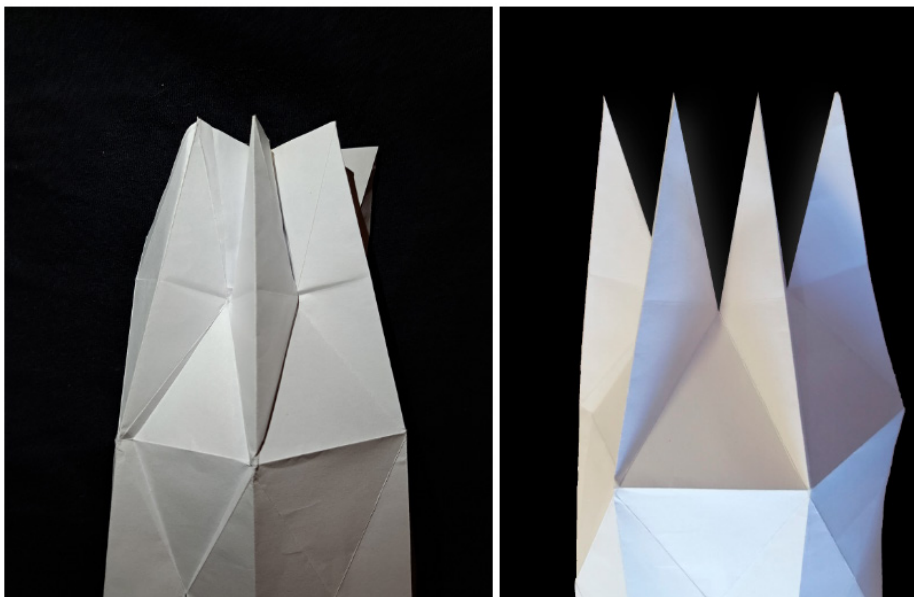
papel - 2 dimensiones. Fachada exterior

Se elabora rigurosamente un modelo en papel siguiendo el diagrama resultante (imagen 87) para conocer los primeros inconvenientes y errores que aparecen al pasar del diagrama al modelo:

88. Patrón de origami en papel.



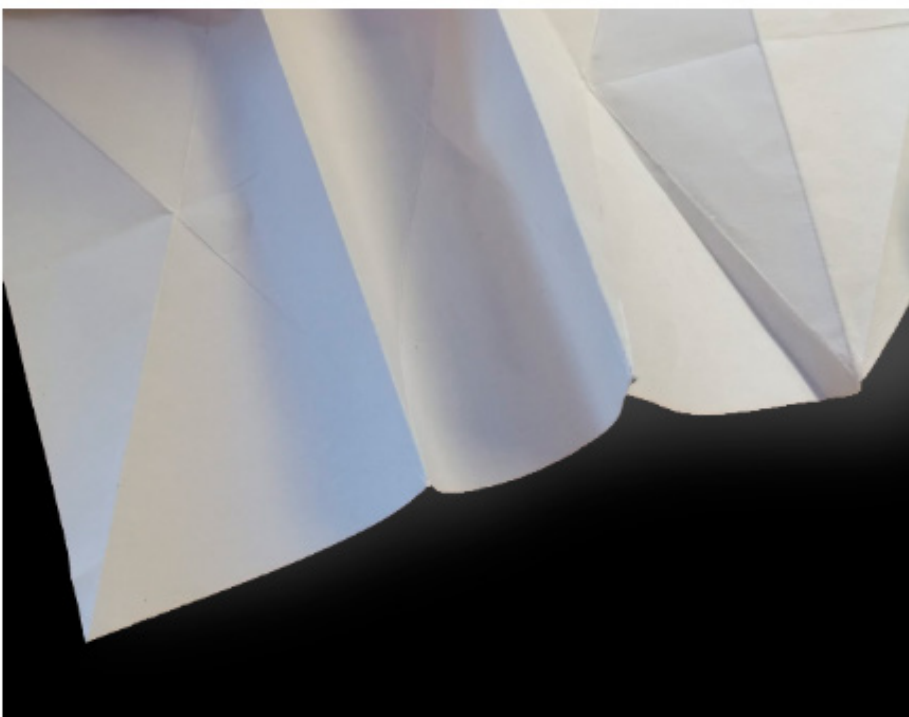
Aparecen al seguir de forma precisa el patrón dibujado. Como se describe en el apartado “Tipo de origami en la arquitectura - patrones” y como se puede observar en la imagen, el patrón Yoshimura da lugar a una figura rotacional. Para conseguir la forma exacta de la capilla, se realiza un corte en la parte de arriba de las agujas, extrayendo el triángulo equilátero resultante de los pliegues en diagonal, solucionando a su vez el inconveniente de la estructura curva creada:



89. Izquierda: forma curva
parte superior de las agujas.
Derecha: corte superior.

Imagen de creación propia.

El siguiente problema que aparece en este primer prototipo es que el pliegue simétrico al recortado anteriormente, es decir, el triángulo equilátero que forma el perímetro inferior, queda curvo:



90. Forma curva
triángulo base.

*Imagen
de creación propia.*

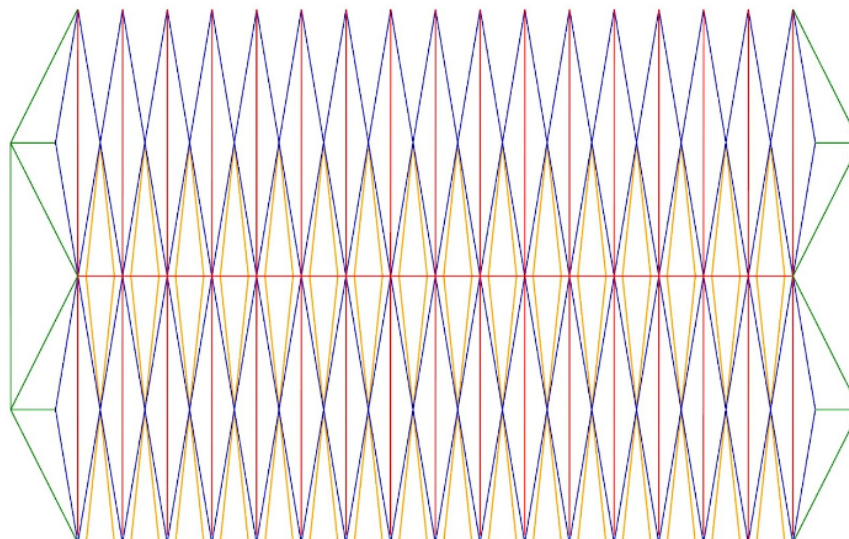
Se estudian varias opciones para intentar solventar el problema:

1. *Pliegue doble desde vértice en los tres triángulos “valle”.*

91. Patrón de origami.

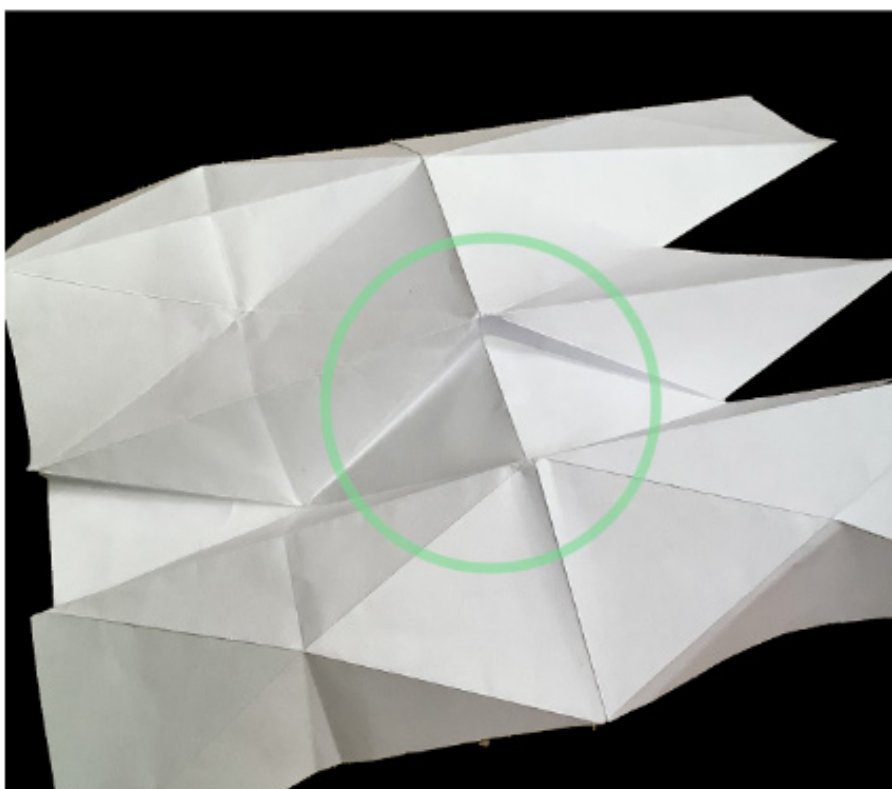
Pliegue doble: amarillo.

Imagen de creación propia.

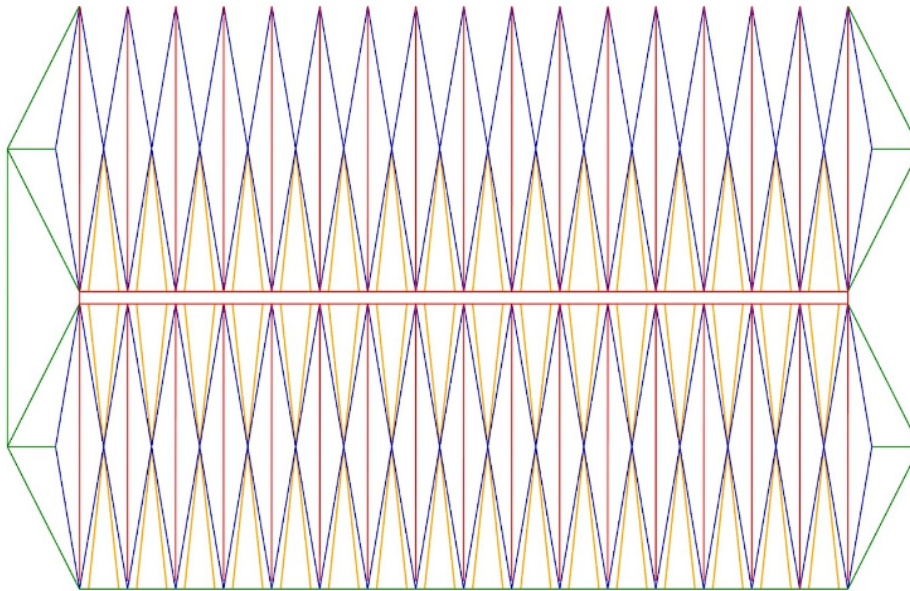


La realización de este pliegue tampoco consigue una solución geométrica favorable. Los nuevos pliegues originan una “pérdida” de papel crucial para mantener la proporción, creando irregularidades en la unión de los dos tetraedros “montaña”:

92. Imagen de creación propia.

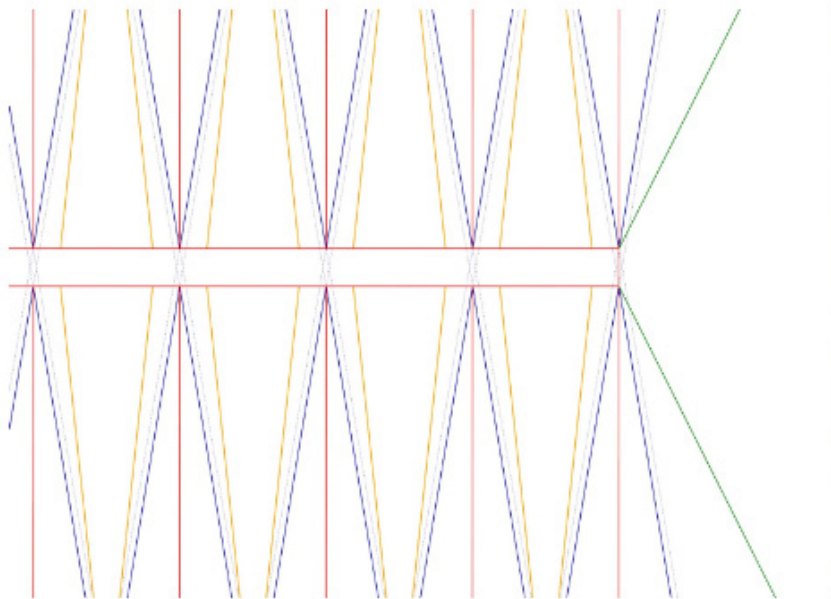


Añadiendo un pliegue paralelo al pliegue valle horizontal, y partiendo de ahí los tetraedros, se solucionarían, a priori, los problemas. Sin embargo, la nueva distribución de diagonales crea un conjunto de pliegues complejos que dificultan la forma orgánica de realizar el plegado, ya que las diagonales no serían coincidentes.



93. Patrón de origami.
Demostración de diagonales
no coincidentes.

Imagen de creación propia.



Finalmente, otro de los obstáculos de este patrón es la desigualdad del exterior con el interior, ya que la forma de que los pliegues exteriores queden proporcionados es “escondiéndolos” en el interior y creando pliegues a pequeña escala en las artistas de los tetraedros. Esto produce un efecto negativo en la similitud con la forma original y en el cumplimiento del reflejo del orden exterior en el interior propio del origami. La forma de evi-

tar este suceso se resolverá en el apartado “prototipo B” al realizar el modelo en tres dimensiones.

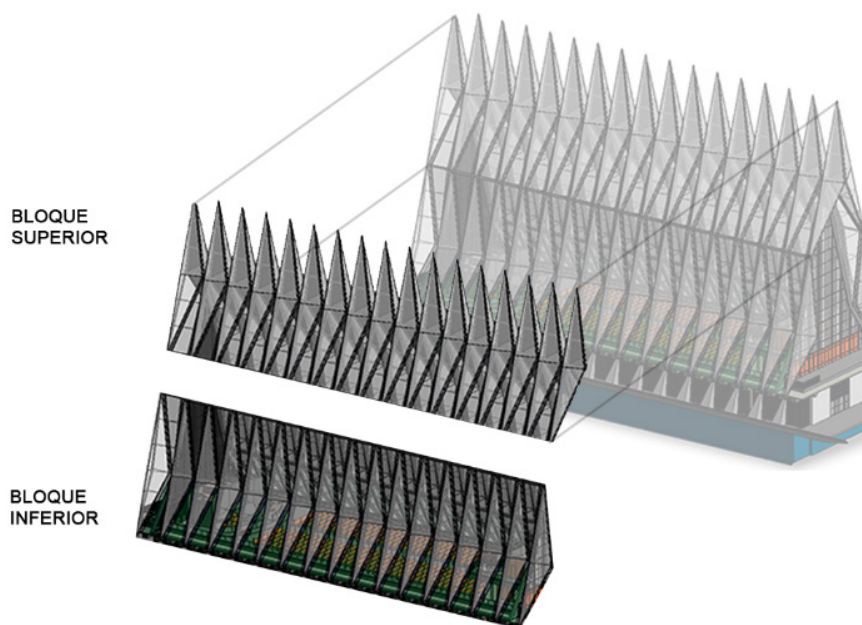
2. Separación de la estructura en dos bloques.

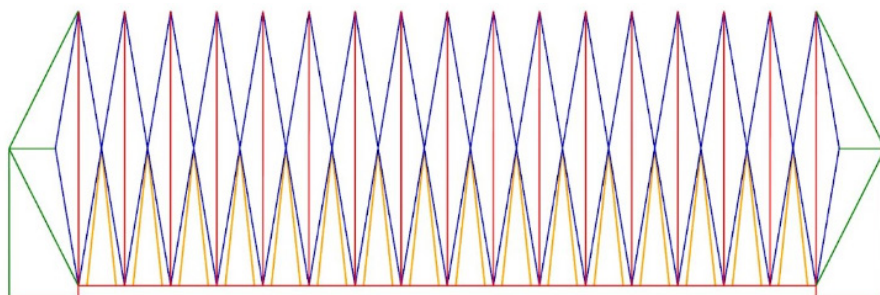
Para reducir pliegues y simplificar la ejecución, se opta por separar la pieza de papel en dos. La forma más correcta de dividir la estructura sería partiendo por el pliegue valle horizontal, quedando una hilera de tetraedros y un triángulo equilátero para la parte superior y otra hilera de tetraedros con dos triángulos equiláteros para la inferior.

El rectángulo inferior resultante en el bloque superior serviría de solapa para la posterior adhesión de las piezas.

94. Separación en dos bloques.

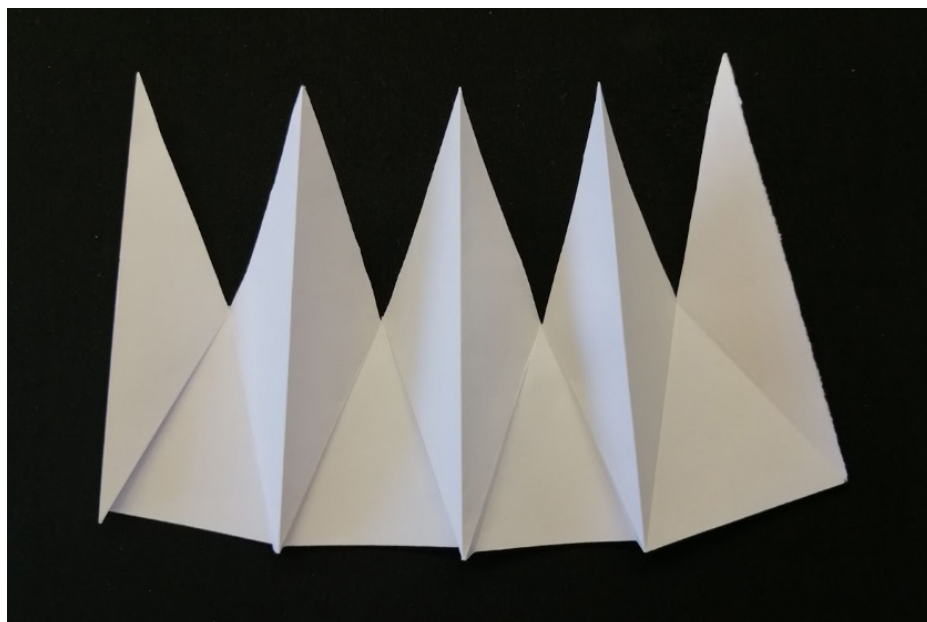
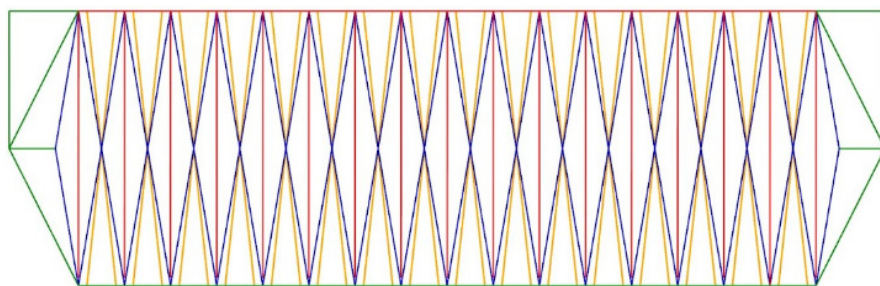
Imagen modificada de Hum3D.





95. Patrón de origami. Arriba:
bloque superior del prototipo.
Abajo: bloque inferior.

Imagen de creación propia.



96. bloque superior
del prototipo.

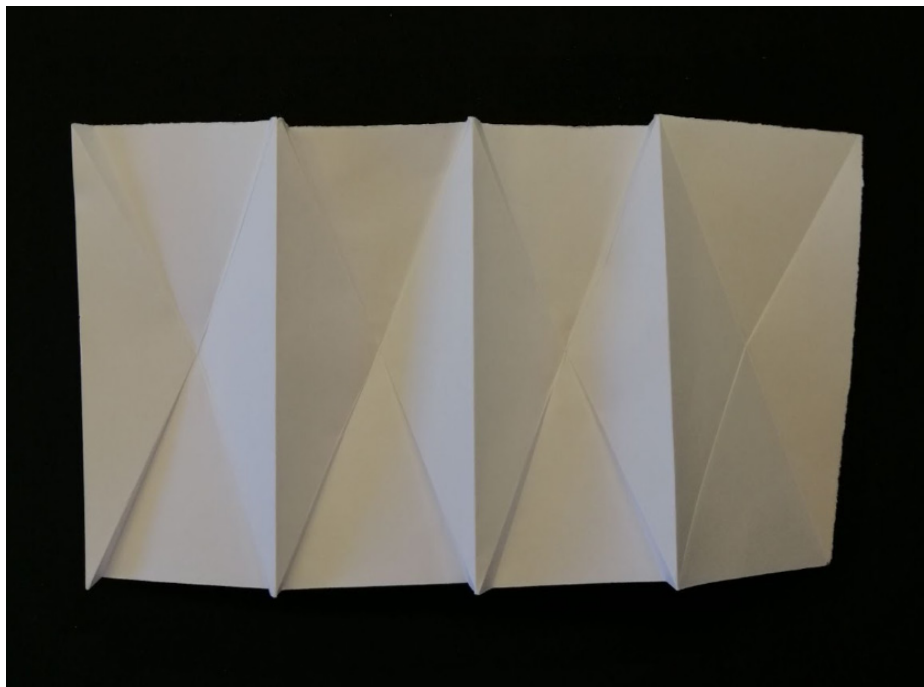
Imagen de creación propia.

Bloque superior: se opta por la solución 1 (pliegue doble desde vértice en el triángulo “valle”) Bloque inferior: existen dos soluciones posibles.

opción 1: siguiendo la solución 1 (pliegue doble desde vértice en los dos triángulos “valle”)

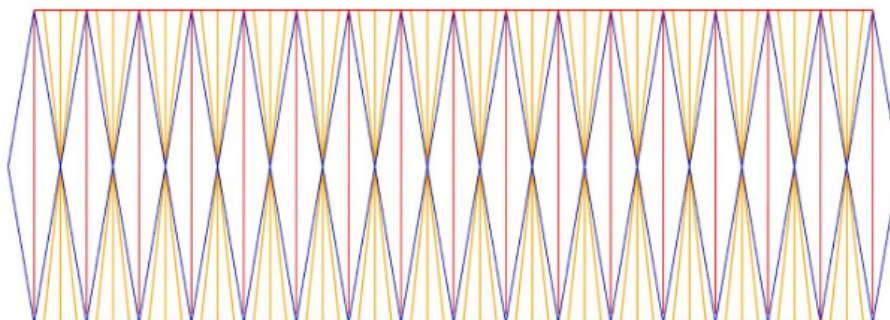
97. bloque inferior
del prototipo.

Imagen de creación propia.



opción 2: siguiendo la solución 1 pero aumentando un pliegue y cambiando la ejecución del plegado:

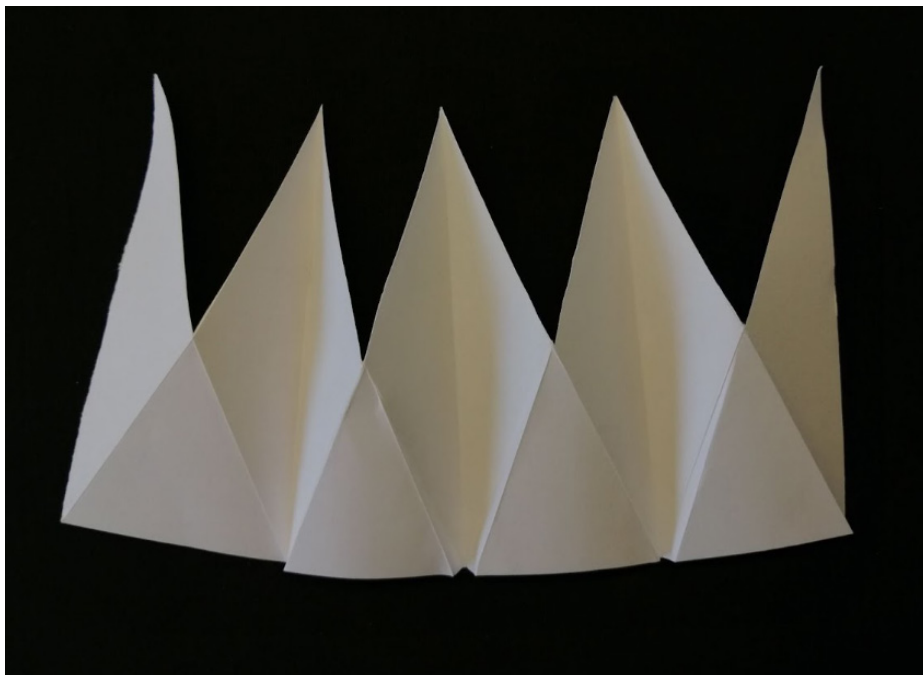
98. Patrón de origami.
Imagen de creación propia



De esta forma, varía la desigualdad que se produce en el interior; los vértices interiores de los tetraedros se mantienen intactos mientras que los triángulos equiláteros producen un triángulo adosado a ellos.

Trás barajar todas las opciones factibles de plegado a partir del plano, se llega a la conclusión de que la forma más adecuada para formar la fachada es separando la estructura en dos bloques y siguiendo la primera opción en el módulo inferior, ya que se reducen los pliegues al mínimo y permite mantener la proporción y la geometría. Demostrando, a pesar de los inconvenientes, la posibilidad de replicar mediante los plegados del patrón yoshimura la forma exterior de la fachada.

Sin embargo, a pesar de ser la alternativa que menos deforma el interior, no se refleja el orden exterior en el interior; al ser un pliegue en dos dimensiones, los tetraedros que forman la pared interior de la capilla, en el modelo de papel en dos dimensiones son inexistentes, ya que con los pliegues realizados no se forman las dos caras necesarias para conformar la forma tetraédrica:



99. interior del prototipo con "tetraedros" incompletos.

Prototipo B

papel - 3 dimensiones

Origami modular.

Al encontrarnos con la problemática de que la forma interior no se origine a partir de la exterior, o viceversa, se plantea resolver el plegado de papel a través de origami modular, creando, con la unión de varios papeles, las distintas piezas individuales (módulos) que conformarán la estructura final.

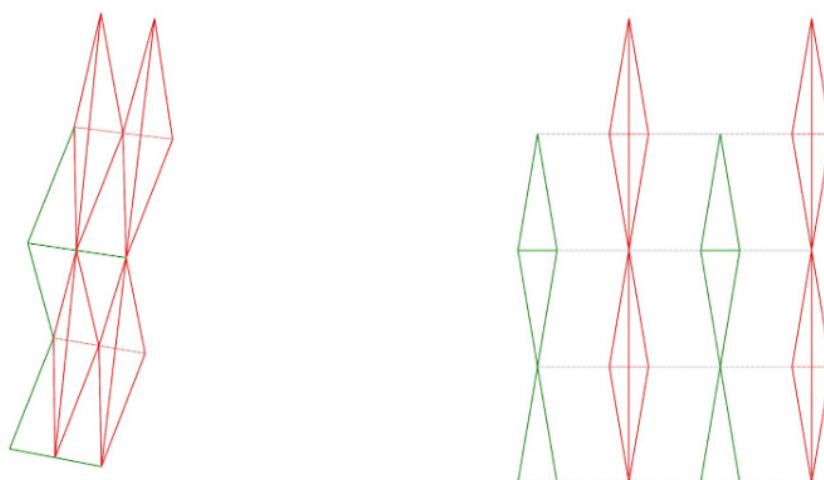
Para poder hacer una representación física, y establecer las condiciones de plegado y de ensamblaje, se examinan las propiedades del tetraedro tales como los grados de los vértices, la dualidad, aristas, caras y simetría.

La estructura que queremos representar está formada de dos tipos de piezas; triángulo equilátero (2D) y tetraedro (3D).

Los tetraedros están unidos entre sí a través de uno de sus vértices, mientras que los triángulos están unidos a los tetraedros por dos de sus aristas y, a su vez, están unidos entre sí por la arista restante. Estas uniones serán por donde se ensamblen los módulos del prototipo de origami.

100. Rojo: tetraedros.
Verde: triángulos.

Imagen de creación propia.

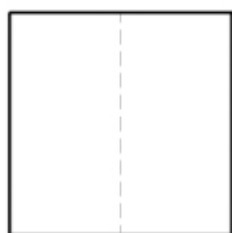


Dependiendo de la característica principal que se necesite para describir el poliedro, existen varias bases para la creación de módulos: módulos basados en aristas, módulos basados en caras y módulos basados en vértices.

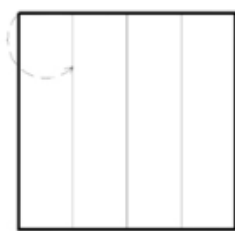
Consideramos que los poliedros a representar pertenecen a la familia de las caras y como unidad de plegado modular elegimos el módulo Sonobe¹³, que consiste en obtener, por plegado, piezas idénticas en forma y tamaño que encajen entre sí, sin pegamento, formando estructuras tridimensionales. Se caracteriza por tener dos solapas y dos bolsillos, por los cuales se pueden ensamblar los distintos módulos.

¹³. Desarrollado en la década de 1960 por el origamista japonés Mit-sunobu Sonobe.

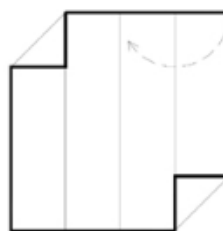
Cada módulo de Sonobe se crea de la siguiente manera:



Paso 1



Paso 2



Paso 3



Paso 4



Paso 5



Paso 6



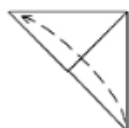
Paso 4



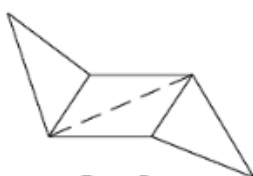
Paso 5



Paso 6



Paso 4



Paso 5

101. Proceso de plegado
módulo de Sonobe. Imagen
de Bermarez.com

En el prototipo, cada aguja se divide en dos tetraedros, un triángulo equilátero (base) y un cuadrado (plegado da lugar a los dos triángulos equiláteros que unifican los dos tetraedros).

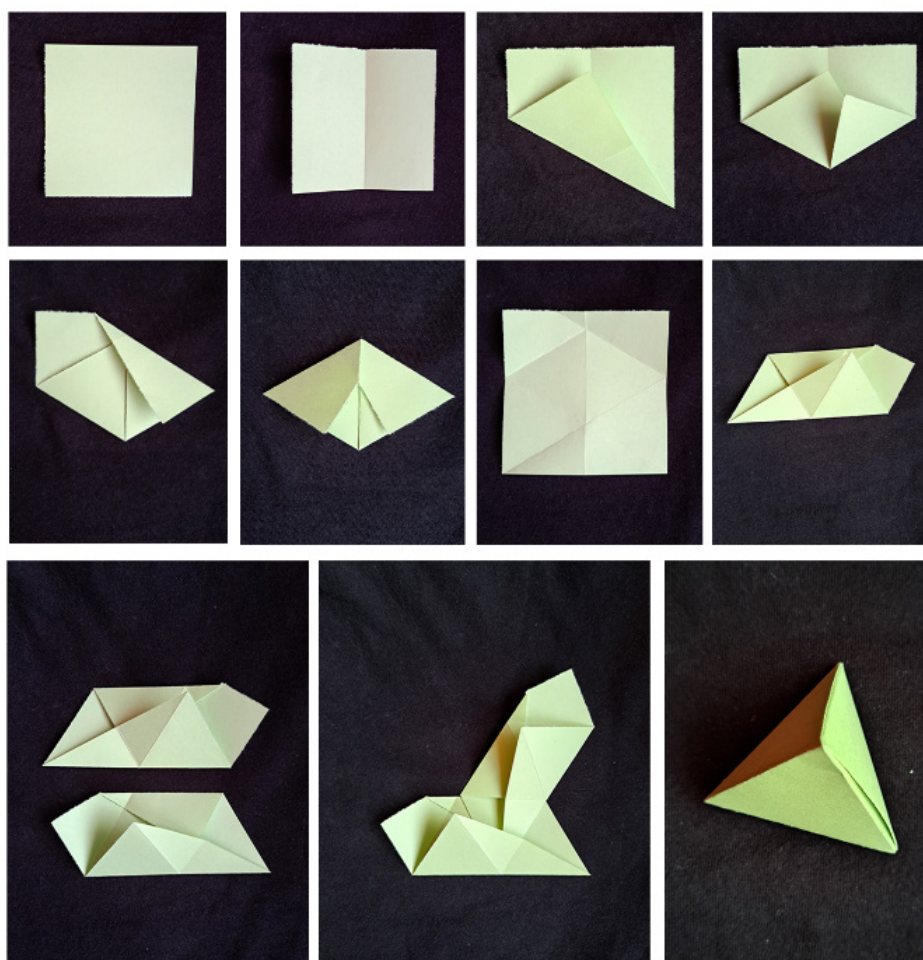
Proceso de creación del prototipo.

Aclarar que el prototipo en papel no cumple con las proporciones originales de la capilla sino que cumple con las propiedades geométricas de los poliedros regulares, es decir, todas sus caras son polígonos regulares iguales y todos sus diedros y ángulos poliédricos también son iguales entre sí.

Tetraedro.

El punto de partida son dos hojas de proporción 1:1 posteriormente ensambladas. Se necesitan dos módulos idénticos.

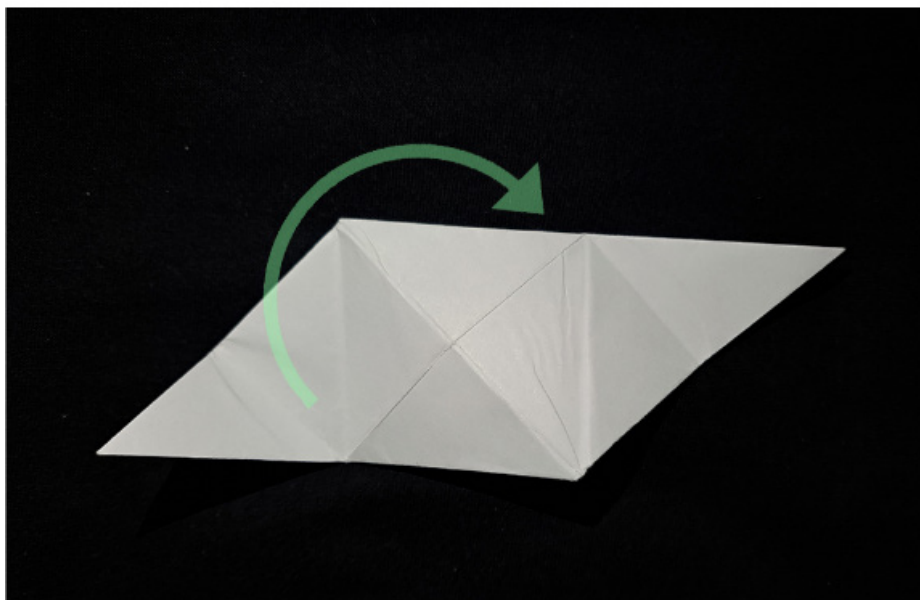
102. Proceso de plegado tetraedro. Imagen de creación propia.



Triángulo equilátero.

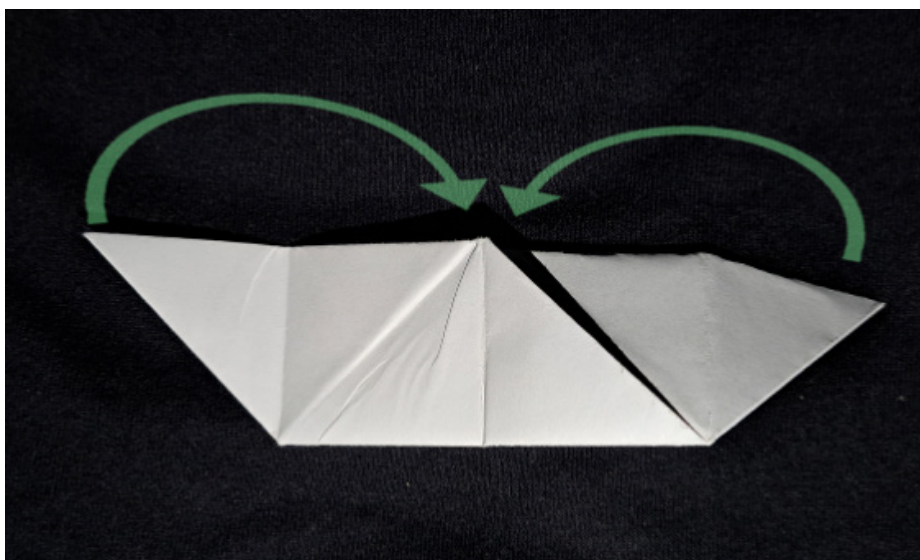
El punto de partida es una hoja de proporción 1:1.

Se sigue rigurosamente la construcción del método Sonobe y se añaden dos pliegues finales para dar forma al triángulo y a sus dos pestañas de ensamblaje



103. Imagen de creación propia.

1. Una vez obtenido el módulo de Sonobe, se juntan los vértices para configurar el triángulo



104. Imagen de creación propia.

2. Se reducen los salientes del triángulo, originando las pestañas de ensamblaje a los tetraedros

105. Imagen de creación propia.



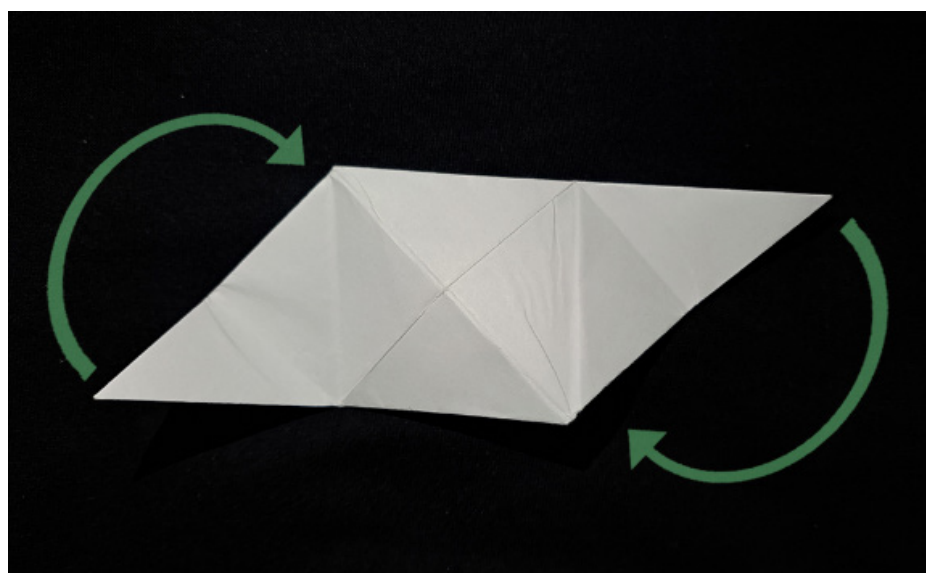
3.Figura final triángulo equilátero base estructura.

Cuadrado (unión de dos triángulos equiláteros)

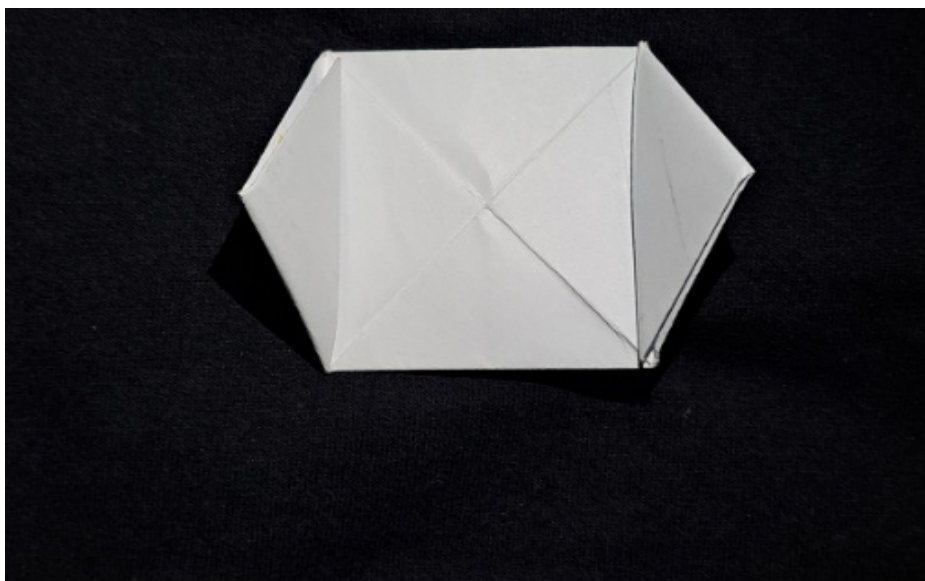
El punto de partida es una hoja de proporción 1:1.

Se sigue rigurosamente la construcción del método Sonobe y se añaden un pliegue final para dar forma al cuadrado (que plegado son los dos triángulos) y a sus dos pestañas de ensamblaje:

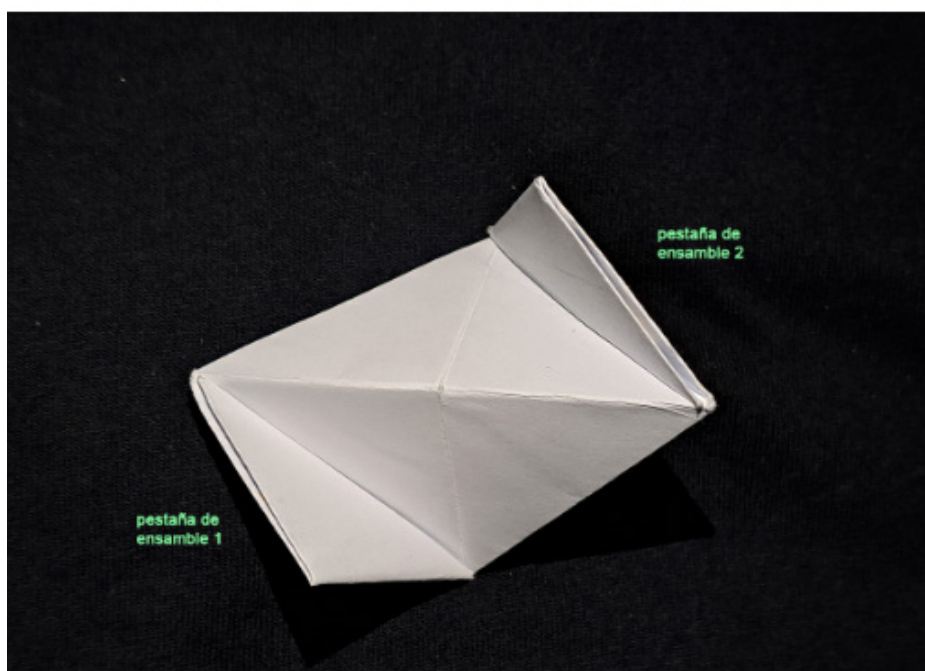
106. Imagen de creación propia.



1. Una vez obtenido el módulo de Sonobe, se juntan los dos vértices para configurar las dos piezas de ensamblaje.

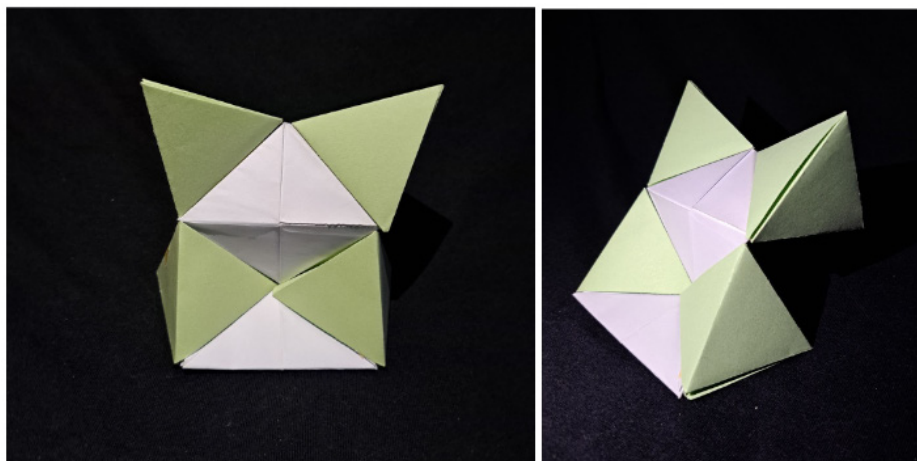


107. Imagen de creación propia.



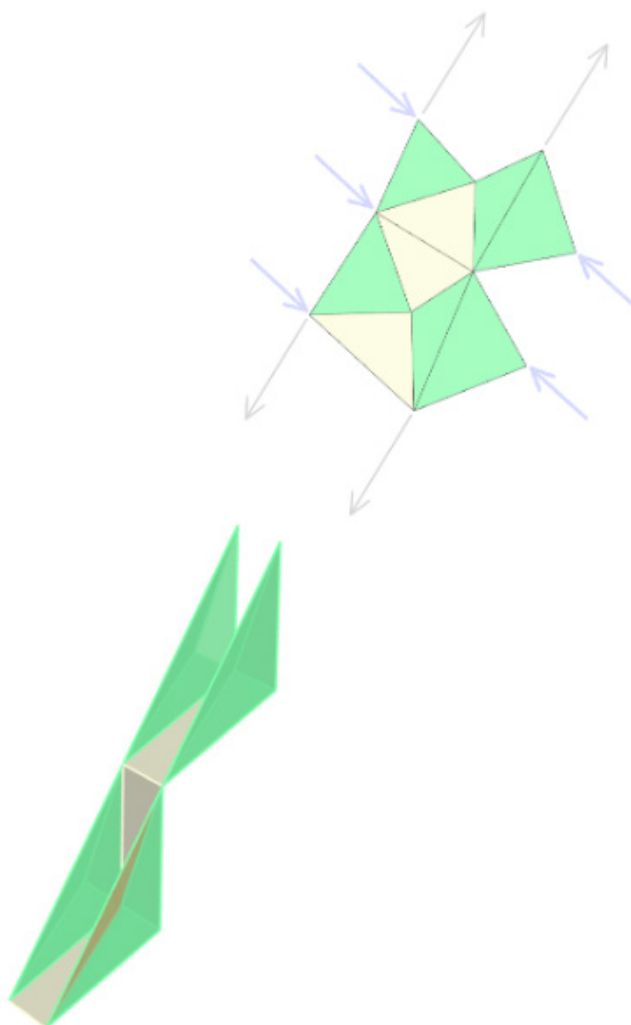
2. doblando el cuadrado por la mitad, se obtienen los dos triángulos equiláteros que unifican los dos tetraedros de cada aguja.

108. Sección del prototipo.
Dos agujas. Imagen de
creación propia.



Según el método de origami modular, para conformar las 17 agujas de la capilla, se necesitan 68 tetraedros (34 por fachada), 32 triángulos (16 por fachada) y 32 cuadrados (16 por fachada).

109. Sección del prototipo
tracción-compresión y
sección real iglesia. Imagen
de creación propia.



Aunque el prototipo de papel (figura superior) y la forma original de la capilla (figura inferior) tienen la misma topología (conexión de caras y aristas), sus proporciones y sus ángulos difieren:

El prototipo tiene una estructura tridimensional con un equilibrio entre sus caras y ángulos. Su geometría ha permitido crear en papel una forma con la misma topología que la original.

La figura inferior presenta la forma original de la capilla en su estado no deformado; es más prolongada y delgada en comparación con el modelo en papel.

Para transformar la figura superior en la inferior, de forma conceptual, se podrían ejercer ciertas fuerzas físicas sobre el prototipo de forma que se comprimieran las horizontales y se alargaran las verticales:

Aplicando varias fuerzas de compresión en la dirección horizontal (indicadas por las flechas azules en la imagen) se reduce el ancho de la figura, acercando las caras y aristas y aumentando la densidad de la estructura en esa dirección. Como resultado, la figura se vuelve más estrecha y compacta horizontalmente. Simultáneamente, si se aplican fuerzas de tracción en la dirección vertical (indicadas por las flechas grises en la imagen) la figura se alarga verticalmente, aumentando su altura y modificando los ángulos entre las caras.

La combinación de ejercer ambas fuerzas sobre la geometría diseñada cambia las proporciones de la figura, haciéndola más alta y delgada, de manera idéntica a la capilla real. Aunque los ángulos y las proporciones cambian, la estructura básica de la figura, la forma en que las caras y las aristas se conectan, se mantiene.

Estudio de la geometría.

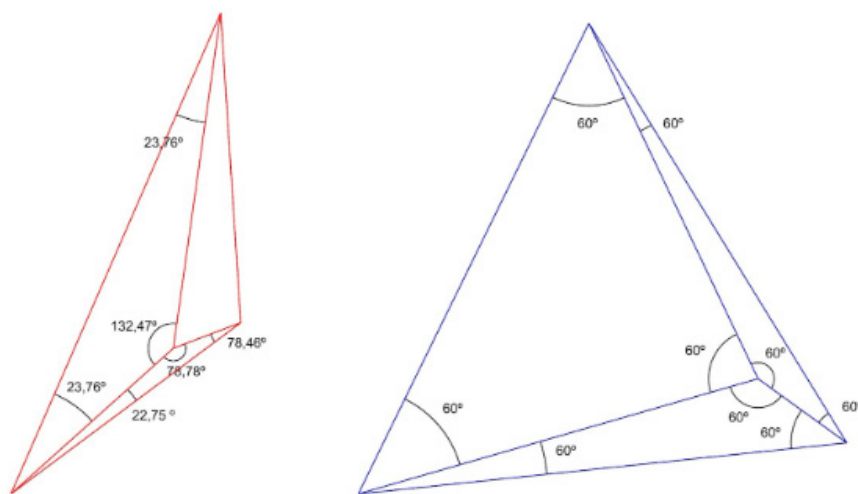
Este apartado del trabajo no consiste en la realización del prototipo real sino en la explicación de las pautas a seguir para realizar las modificaciones del módulo con las proporciones correctas.

Realizamos un análisis de la geometría presentada en ambos casos con el fin de llegar a alcanzar una similitud plena del prototipo con la forma original.

El prototipo parte de un tetraedro regular, caras y ángulos iguales, mientras que en la capilla se utilizan tetraedros irregulares:

110. Izquierda: proporción real. Derecha: proporción del prototipo.

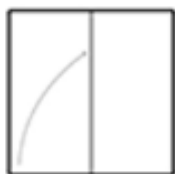
Imagen de creación propia.



Se aporta, para realizar la modificación de las proporciones del prototipo, el patrón de los dos módulos del tetraedro regular (hechos en papel en la imagen 102):

III. Proceso de creación
módulo tetraedro.

Imagen de creación propia.



Paso 1



Paso 2



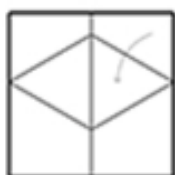
Paso 3



Paso 4



Paso 5



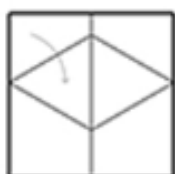
Paso 6



Paso 7



Paso 8
módulo 1



Paso 9



Paso 10

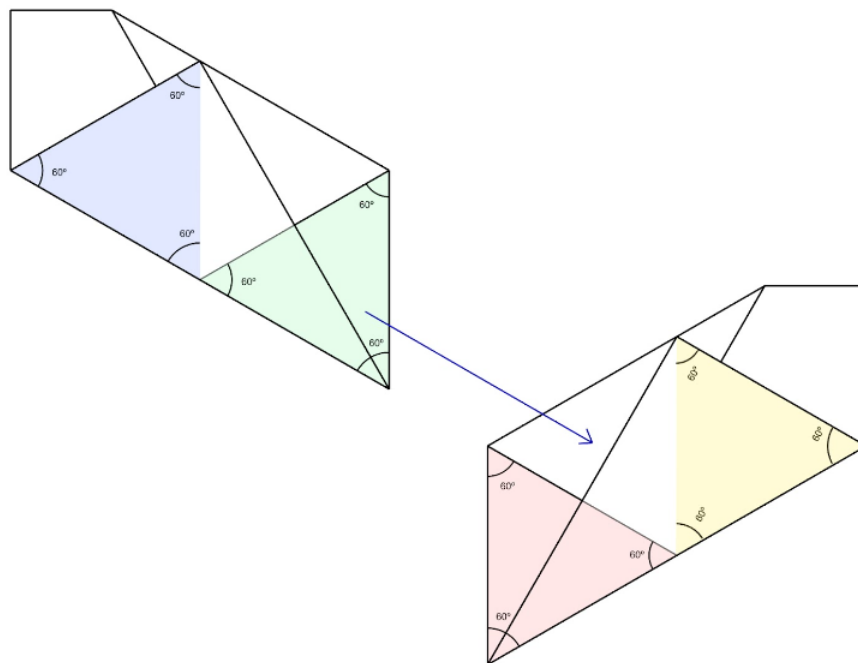


Paso 11
módulo 2

Conociendo los pasos pertinentes para conseguir dar forma, con un papel, a un tetraedro, se encuentran las líneas de pliegue que originan las dimensiones y ángulos que definen la proporción de cada cara del tetraedro:

112. Figura donde se muestra como se unen los dos módulos.

Imagen de creación propia.



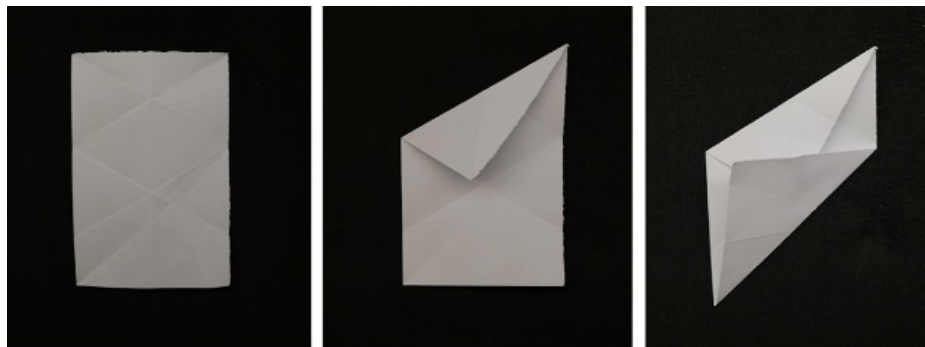
En la imagen se muestra la forma en la que se ensamblan ambos módulos y las dimensiones que debe tener cada triángulo que lo forma. El triángulo verde es la pieza de ensamble mientras que el blanco, al que apunta la flecha, es el bolsillo en el que se inserta, lo que significa que la forma de ambos tiene que ser idéntica. Por otro lado, el azul y el verde tienen que tener igual la arista coincidente.

Cogiendo como medidas base las del triángulo isósceles más pequeño que forma el tetraedro original, cuyos lados miden 12,81 y 5 metros y cuyos ángulos son de $78,46^\circ$ y $22,75^\circ$, se realiza la modificación del módulo regular para que sea proporcionado a la geometría de la Capilla:

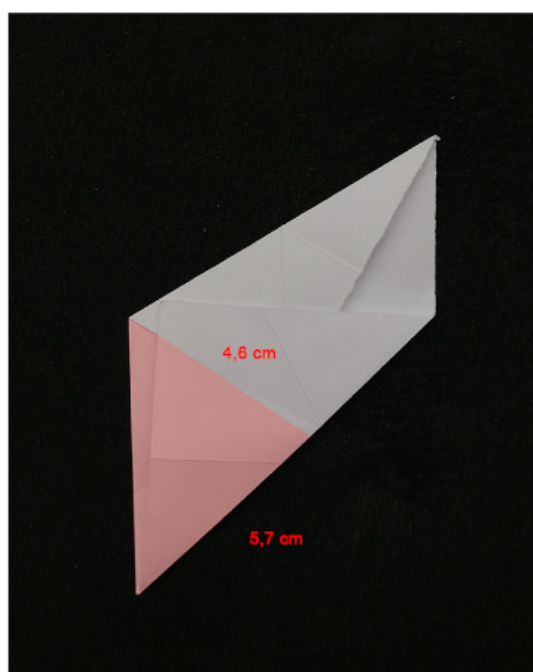
Para concretar los pasos a seguir en la transformación del módulo, se realiza un estudio empírico a través de la construcción física del modelo, haciendo variaciones de plegado y de dimensiones, requiriendo un enfoque creativo de prueba y error.

Se parte de una hoja de papel cuadrada (proporción 1:1) para hacer el tetraedro regular. Por lo tanto, el primer acercamiento a la modificación de los ángulos se hará partiendo inicialmente de una forma rectangular de proporción (1,5:1).

Realizando las mismas instrucciones de plegado que en el tetraedro regular:



113. Imagen de creación propia.

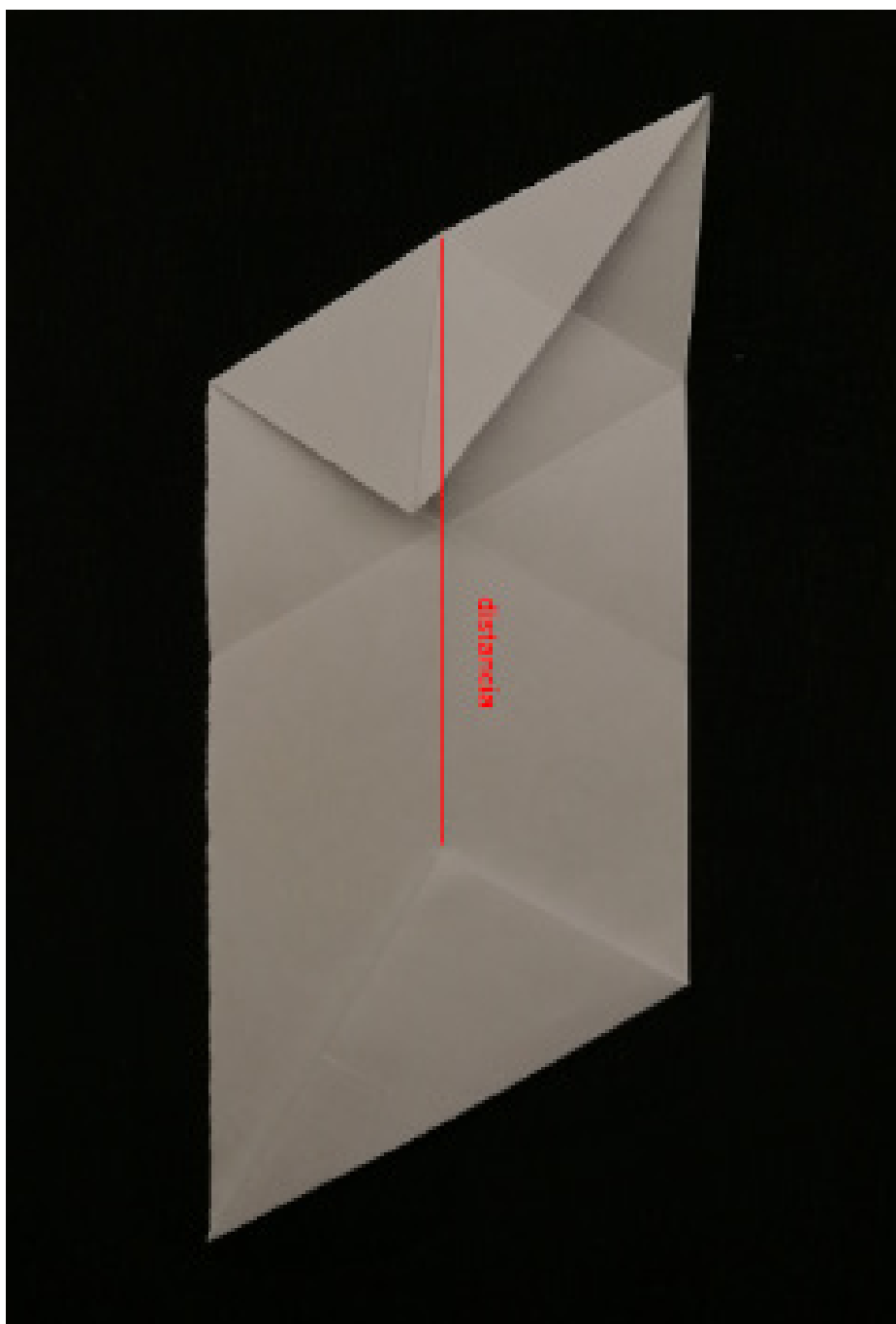


El rectángulo inicial del modelo realizado en papel tiene como medidas 9,2 x 6,3 cm, a partir del cual se obtiene el módulo cuyos triángulos tienen la proporción 1,23 : 1.

El resultado obtenido partiendo de un rectángulo no es proporcional a las formas de la capilla, ya que los triángulos pequeños del tetraedro real están en proporción 2,5 : 1.

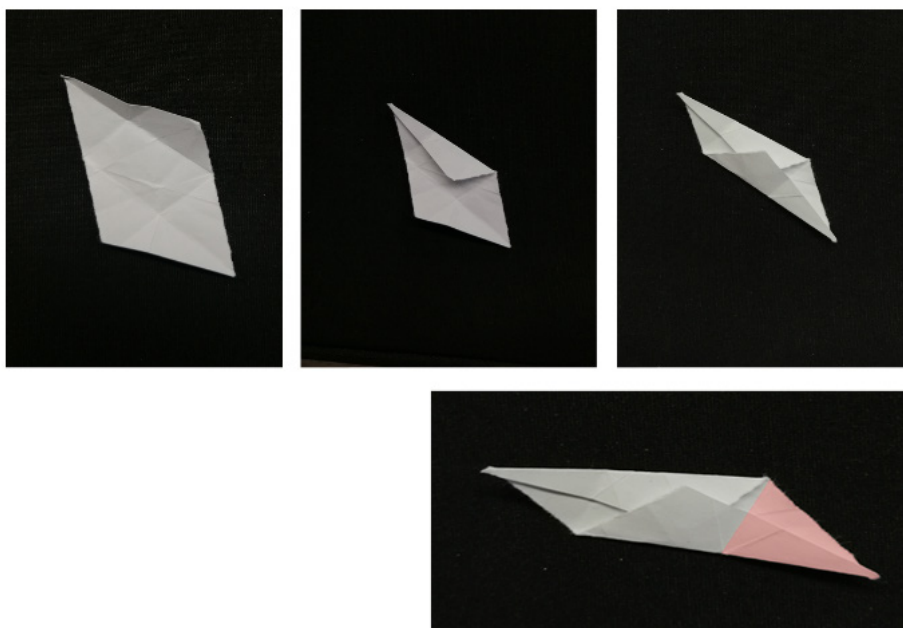
Al realizar el proceso de plegado con un rectángulo de mayor escala, más alargado, la posibilidad de hacer el pliegue de forma correcta se imposibilita, ya que la distancia entre el pleigue superior y el inferior es demasiado extensa:

114. Imagen de creación propia.



La siguiente propuesta para iniciar el proceso, es partir de una forma romboidal:

115. *Imagen de creación propia*



Al comenzar los pliegues con una forma irregular, los pliegues se crean de forma asimétrica, dando lugar a triángulos isósceles de proporción 2,5 : 1, que es coincidente con la de los propios triángulos de los tetraedros de la capilla.

Esta modificación mantiene la geometría inicial de los tetraedros regulares, pero transforma los ángulos y las longitudes para conseguir la exactitud de la forma original. Este proceso, pero variando las dimensiones del tamaño del papel inicial, se podrá utilizar para crear los distintos triángulos que conforman cada tetraedro.

De esta forma, si se realizara la modificación de los dos módulos que forman cada tetraedro, se conseguiría la réplica exacta de la capilla, ya que la proporción del resto de piezas que forman las agujas de la capilla (representadas en el apartado tal) siempre ha sido la adecuada.

Por tanto, después de entender cómo funciona la forma de la capilla, como se compone, de analizar las distintas posibilidades que existen para replicarla y de conocer las dificultades de esto, se concluye que la representación en papel, a través de la modificación de técnicas concretas de origami, como es el origami modular con módulos de Sonobe, es factible.

Conclusiones.

Hemos visto durante el desarrollo del trabajo que los patrones de origami pueden resultar efectivos a la hora de construir espacios arquitectónicos. Pero ¿son solo algunos patrones en específico útiles para la arquitectura? ¿están relacionados con un estilo arquitectónico concreto? ¿con alguna tipología de edificio concreta? ¿qué aporta al diseño?

Son preguntas que surgen al relacionar de forma directa la arquitectura con el origami. En el estudio se desarrollan los tipos de origami que existen y la variedad de patrones que pueden realizarse. Van desde el plegado más básico, como es el pliegue Plisado, que alterna pliegues valle y montaña que aumentan el canto de la figura, hasta pliegues más complicados que combinan el patrón plisado con pliegues en diagonal. Los pliegues en diagonal pueden originar figuras curvas, como son el caso de los patrones Yoshimura y Fishbone, o piezas rectas, como en el caso del Miura-Ori.

Estos patrones son utilizados en la arquitectura de forma directa pero en algunas ocasiones de manera inintencionada, ya que la geometría de la edificación es factible de realizar en papel pero no se construye plegando el material o directamente no tiene un diseño originado en el pliegue.

Los edificios que más han destacado tras realizar un análisis exhaustivo de la arquitectura del Siglo XX hasta la actualidad, son las iglesias de estilo Brutalista, que destacan por encima del resto en el uso premeditado de patrones de origami en la originación del diseño: durante el estudio del siglo XX, se descartan los diferentes estilos de la época al no cumplir con las premisas del origami y explayándose en el uso de ornamentación y decoraciones sobrecargadas. Mientras que el Brutalismo presenta gran relevancia para ser un caso de estudio, debido a su audaz uso de formas geométricas y materiales industriales con características o resultados similares al plegado de papel. Las iglesias Brutalistas son las edificaciones pertenecientes a este estilo que más congruencia han tenido con el origami.

Se deduce que la aportación de esta tendencia de crear “pliegues” en arquitectura permite realizar una arquitectura significativa, grandiosa, que exprese un mensaje al verla. Al ser construcciones religiosas, se busca transmitir sensaciones a los fieles a través del espacio, lo cual es conseguido en el Brutalismo gracias a las formas que dan lugar a espacios intrigantes que conducen la mirada a los rincones creados por los pliegues, produciendo recorridos y trayectorias. Las iglesias Brutalistas “plegadas” parecen dólmenes incrustados en la tierra y se podría traducir como la traducción contemporánea a la espectacularidad de las catedrales góticas medievales.

La forma en la que se ha analizado y se ha determinado la escala de influencia en el origami, no solo parte de la visión inicial del arquitecto al generar el diseño, si este se inspiró directamente en un papel plegado para originar la forma, sino que parte de un conjunto de parámetros que han sido claves para entender las similitudes de las estructuras con los patrones. Algunos de estos parámetros tenidos en cuenta han sido el análisis del material, contando a favor del origami el empleo de uno solo, la condición

autoportante de la estructura y la creación de grandes espacios diáfanos interiores, así como la relación del orden exterior con el interior. En cuanto a la traducción de la estructura al papel, se ha tenido en cuenta si se mantienen ciertas cualidades propias del origami más puro, como la forma inicial del papel, los recortes o la cantidad de pliegues combinados necesarios para la producción de una sola figura.

Gracias a la realización de este estudio, plasmada en el catálogo, se demuestra la complejidad que puede tener el origami en la arquitectura, creando obras de arte japonesas de plegado de papel de gran tamaño, como la iglesia de San Pablo de Fritz Schaller que sigue de forma literal el pliegue Yoshimura o encontrando las similitudes que tiene una iglesia con una cubierta de unión de varios paraboloides hiperbólicos (iglesia San José Obrero y parroquia de nuestra señora de Guadalupe) con la forma de crearlo en papel o la forma de flor (iglesia da Polana) con el patrón rotatorio de Yoshimura.

En definitiva, en el catálogo queda demostrado que arquitectos brutalistas estaban relacionados directamente con las técnicas de plegado, buscando la grandiosidad en el arte japonés y otros, no inspirados por el origami, dieron lugar a construcciones propias de este, con geometrías y patrones aplicables en el modelado en papel.

La capilla de Cadetes de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, es un ejemplo claro de un inicio de diseño a través del papel pero luego una ejecución de la estructura con un uso no avanzado de patrones de origami. Al presentar un material diferente y no ser detallada en el catálogo, se analiza más detalladamente haciendo un estudio empírico de los patrones posibles.

El primer acercamiento parte de una representación literal del patrón geométrico obtenido de los planos del edificio, creando ciertos inconvenientes que concluyen con una representación exacta en papel fallida. En este primer acercamiento se optó por plasmar la fachada de forma continua, en una sola hoja. Las dificultades aparecieron en el primer momento, dando lugar a formas curvas que no eran representativas del objetivo, pero posteriormente solucionada añadiendo cortes y pliegues adicionales al patrón básico de Yoshimura. De esta forma, con los arreglos necesarios, se consigue una reproducción, sólo del exterior de la fachada, en papel. No siendo suficiente, se realizó un prototipo con origami modular creando poliedros tetraédricos que, a priori, no cumplen con la proporción precisa de la capilla, pero que, realizando los cambios indicados en el último apartado, cumple.

Por lo tanto, se concluye que todas las iglesias que han sido representadas, a lo largo del trabajo de fin de grado, pueden ser reproducidas en papel, manteniendo la forma exacta; demostrando la viabilidad y el potencial del uso del origami en la arquitectura moderna, no solo en el contexto Brutalista sino en otros movimientos arquitectónicos, también representados en el catálogo, como la arquitectura contemporánea.

A partir del estudio sobre la integración de patrones de origami en iglesias de estilo Brutalista, se pueden desarrollar distintas aplicaciones innovadoras con el fin de mejorar las técnicas empleadas a mediados del Siglo XX, para llegar a construcciones más sostenibles y eficientes. Se podrían inves-

tigar y desarrollar nuevos materiales que imiten de forma más concreta las propiedades del papel de origami, siendo este más duradero y sostenible, y sin presentar los inconvenientes principales provenientes del grosor del material. Adicionalmente, gracias a la investigación de dicho material, podrían desarrollarse estructuras prefabricadas creadas a partir de sistemas basados en pliegues, al igual que el origami modular, que permitan ensamblar las “piezas del edificio” reduciendo en tiempo y en costes de construcción.

Relación de imágenes.

[001] Niñas haciendo grullas de papel, periodo Meiji. Terazaki, 1906. (alarmy.com)

[002] Kirigami. (lafabriquedesplis.com)

[003] Lámpara 306 del arquitecto y diseñador Kaare Klint. (archiexpo.es). Stent coronario (medlineplus.gov)

[004] Representación del sistema Yoshizawa-Randlett. (bermarez.com)

[005] Plegados base. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[006] Origami en acción. Violinist. "The complete book of origami" de Robert J.Lang.

[007] Origami en acción. Bassist. "The complete book of origami" de Robert J.Lang.

[008] Origami modular. Paul Jackson, maestro en los métodos de plegado. (origami-artist.com)

[009] Elefante de tamaño natural. (trionline.com)

[010] Origami pureland. "Pure and simple origami book" de Marc Kirschenbaum.

[011] Teselación del remolino de Eric Gjerde. (wikiwand.com)

[012] diagrama de proceso patrón plisado. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[013] variación patrón plisado. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[014] patrón Yoshimura. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[015] Desarrollos geométricos de patrones regulares Yoshimura. Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza.

[016] patrón Yoshimura - plegado en "V". "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[017] Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza.

[018] Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza.

[019] variación escalar horizontal. Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza.

[020] transformación seriada. Tesis doctoral "The Fold in Architecture" de Pablo de Souza.

[021] patrón Miura-Ori. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[022] asimetrías - patrón Miura-Ori. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[023] Yoshimura + Miura-Ori. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[024] Plisado + Miura-Ori. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

[025] Yoshimura lineal y recto. "Folding techniques for designers from sheet to form" Paul Jackson.

- [026] Patrón Fishbone. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.
- [027] Combinaciones de los patrones de pliegue elementales. Tesis doctoral “The Fold in Architecture” de Pablo de Souza.
- [028] Pliegue parabólico. “Folding techniques for designers, from sheet to form” Paul Jackson.
- [029] Pliegue en caja. “Folding techniques for designers, from sheet to form” Paul Jackson.
- [030] Un solo pliegue. “Folding techniques for designers, from sheet to form” Paul Jackson.
- [031] Central Hidroeléctrica, Joaquín Vaquero Palacios (archdaily.com)
- [032] Iglesia San Pablo. (sosbrutalism.org)
- [033] Iglesia San Pablo. (sosbrutalism.org)
- [034] patrón Yoshimura. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.
- [035] patrón Yoshimura. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.
- [036] Iglesia Sint Ritakerk. (sosbrutalism.org)
- [037] Iglesia Sint Ritakerk. (sosbrutalism.org)
- [038] patrón Plisado. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.
- [039] patrón Plisado. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.
- [040] Capilla Valleaceron. (sancho-madrídejos.com)
- [041] Capilla Valleaceron. (sancho-madrídejos.com)
- [042] Capilla Valleaceron. Plegado en caja. (sancho-madrídejos.com)
- [043] Capilla Valleaceron. Plegado en caja. (sancho-madrídejos.com)
- [044] Capilla Sierra la Villa. (sancho-madrídejos.com)
- [045] Capilla Sierra la Villa. (sancho-madrídejos.com)
- [046] Capilla Sierra la Villa. Pliegue curvo. (sancho-madrídejos.com)
- [047] Capilla Sierra la Villa. Pliegue curvo. (sancho-madrídejos.com)
- [048] Iglesia en Pinto. (sancho-madrídejos.com)
- [049] Iglesia en Pinto. (sancho-madrídejos.com)
- [050] Iglesia en Pinto. Pliegue unitario. (sancho-madrídejos.com)
- [051] Iglesia en Pinto. Pliegue unitario. (sancho-madrídejos.com)
- [052] Iglesia en Qingpu. (sancho-madrídejos.com)
- [053] Iglesia en Qingpu. (sancho-madrídejos.com)
- [054] Iglesia en Qingpu. Maqueta. (sancho-madrídejos.com)
- [055] Iglesia en Qingpu. Pliegue unitario. (sancho-madrídejos.com)
- [056] Iglesia da Polana. (arquitecturayempresa.es)
- [057] Iglesia da Polana. (arquitecturayempresa.es)
- [058] Patrón origami iglesia da Polana. Imagen de creación propia.
- [059] Patrón origami iglesia da Polana. Imagen de creación propia utilizando el software Rigid Origami Simulator.
- [060] Iglesia San José Obrero. (researchgate.net)
- [061] Iglesia San José Obrero. (researchgate.net)

[o62] Pliegue parabólico.. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o63] Pliegue parabólico.. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o64] Parroquia Nuestra Señora de Guadalupe. (parroquiadeguadalupe.com)

[o65] Parroquia Nuestra Señora de Guadalupe. (parroquiadeguadalupe.com)

[o66] Pliegue parabólico.. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o67] Pliegue parabólico.. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o68] Paraboloide hiperbólico calculado. (softmath.seas.harvard.edu)

[o69] Paraboloide hiperbólico papel. (softmath.seas.harvard.edu)

[o70] Paraboloide hiperbólico calculado. (softmath.seas.harvard.edu)

[o71] Capilla Amara. (buensalidoarchitects.com)

[o72] Capilla Amara. (buensalidoarchitects.com)

[o73] Kirigami. (pinterest.com)

[o74] Kirigami. (pinterest.com)

[o75] Iglesia de Cristo (pinterest.com)

[o76] Iglesia de Cristo (pinterest.com)

[o77] Patrón plisado rotacional. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o78] Patrón plisado. “Folding techniques for designers from sheet to form” Paul Jackson.

[o79] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o80] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o81] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o82] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o83] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o84] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o85] Capilla de cadetes de la Fuerza Aérea de EEUU. (gettyimages.com)

[o86] Patrón de origami. Imagen de creación propia.

[o87] Patrón de origami. Imagen de creación propia.

[o88] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.

[o89] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.

[o90] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.

[o91] Patrón de origami. Imagen de creación propia.

[o92] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.

[o93] Patrón de origami. Imagen de creación propia.

-
- [094] Separación en dos bloques. Imagen modificada de Hum3D.
 - [095] Patrón de origami. Imagen de creación propia.
 - [096] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.
 - [097] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.
 - [098] Patrón de origami. Imagen de creación propia.
 - [099] Patrón de origami en papel. Imagen de creación propia.
 - [100] Esquema Imagen de creación propia.
 - [101] Proceso de plegado módulo de Sonobe. (Bermarez.com)
 - [102] Proceso de plegado tetraedro. Imagen de creación propia.
 - [103] Proceso de plegado triángulo equilátero. Imagen de creación propia.
 - [104] Proceso de plegado triángulo equilátero. Imagen de creación propia.
 - [105] Proceso de plegado triángulo equilátero. Imagen de creación propia.
 - [106] Proceso de plegado cuadrado. Imagen de creación propia.
 - [107] Proceso de plegado cuadrado. Imagen de creación propia.
 - [108] Sección del prototipo. Dos agujas. Imagen de creación propia.
 - [109] Sección del prototipo tracción-compresión y sección real iglesia. Imagen de creación propia.
 - [110] proporción real - proporción del prototipo. Imagen de creación propia.
 - [111] Proceso de creación módulo tetraedro. Imagen de creación propia.
 - [112] Figura donde se muestra como se unen los dos módulos. Imagen de creación propia.
 - [113] Modificación módulo base rectángulo. Imagen de creación propia.
 - [114] Modificación módulo base rectángulo. Imagen de creación propia.
 - [115] Modificación módulo base rombo. Imagen de creación propia.

Bibliografía.

Arquitectura Viva. (s/f). Recintos religiosos: Sacred spaces from Gaudí to Moneo. [Monografía]. Recuperado de <https://arquitecturaviva.com/publicaciones/av-monografias/recintos-religiosos>

Arquitectura y Empresa. (s/f). Walter Netsch y su Capilla de Cadetes de Colorado Springs. Recuperado de <https://arquitecturayempresa.es/noticia/walter-netsch-y-su-capilla-de-cadetes-de-colorado-springs>

Barroso Naranjo, D. J. (2019). Arquitectura transformable: Estructuras desplegables. Del plano al pliegue, del pliegue al espacio (Trabajo Fin de Máster). Universidad de Sevilla.

Beech, R. (2003). The Origami Handbook: The Classic Art of Paperfolding in Step-by-Step Contemporary Projects. Firefly Books.

Bermarez. (n.d.). Bermarez. Recuperado de https://bermarez.com/papiro/4_papiroflexia_y_geometra.html

Biblioteca del Congreso de Estados Unidos. (s/f). Walter Netsch oral history interview, 2003. Recuperado de <https://artic.contentdm.oclc.org/digital/collection/caohp/id/18819>

Brillembourg, D. (2019, 17 de agosto). David Brillembourg: Capilla de Cadetes de la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en Colorado Springs [Entrada de blog]. Recuperado de <https://davidbrillembourg.wordpress.com/2019/08/17/david-brillembourg-capilla-de-cadetes-de-la-academia-de-la-fuerza-aerea-de-los-estados-unidos-en-colorado-springs-walter-netsh/>

Capilla de Cadetes de la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. (sf). WikiArquitectura. Recuperado de <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/capilla-de-cadetes-de-la-academia-de-la-fuerza-aerea-de-los-estados-un>

Chadwick, P. (2016). This Brutal World. Phaidon.

Clement, A. (2020). Brutalism: Post-War British Architecture. Crowood Press.

De Souza Sánchez, P. M. (2017). The Fold in Architecture [Tesis doctoral, Universidad de Madrid].

Deleuze, G. (1988). El pliegue: Leibniz y el barroco. Ediciones Paidós.

Escrig, F., & Sánchez, J. (s/f). New Proposals for Transformable Architecture, Engineering, and Design. Editorial Starbooks.

Fernández-Cobián, E. (2015). Escritos sobre arquitectura religiosa contemporánea. Ediciones Universidad de Navarra - EUNSA.

Futagawa, Y. (Ed. & Fot.). (1993). GA Contemporary Architecture Religious. A.D.A. Edita Tokyo Co.

Heathcote, E. (2010). Contemporary Church Architecture. John Wiley & Sons.

Jackson, P. (2011). Folding techniques for designers: From sheet to form. Laurence King Publishing.

Jackson, P. (2012, febrero). Beyond the fold [Video]. TED. https://www.ted.com/talks/paul_jackson_beyond_the_fold/transcript?language=es

Kirschenbaum, M. (1999). Pure and simple origami. Sterling Publishing Co., Inc.

Klanten, R. (Ed.). (2015). Closer to God: Religious Architecture and Sacred Spaces. Gestalten.

La Fabrique des Plis. (n.d.). La Fabrique des Plis. Recuperado de <https://www.lafabriquedesplis.fr>

Lang, R. J. (2003). Origami design secrets: Mathematical methods for an ancient art. A K Peters/CRC Press.

Lang, R. J. (1988). The complete book of origami: Step-by-step instructions in over 1000 diagrams. Dover Publications.

Pallister, J. (2015). Sacred Spaces: Contemporary Religious Architecture. Images Publishing.

Perego, S. (sf). Las iglesias y capillas brutalistas de Europa. Plataforma Arquitectura. recuperado <https://www.archdaily.com/952055/europas-brutalistas-iglesias-y-capillas-de-stef>

Pérez García, C. A. (2019). Caracterización de paneles tipo sándwich con núcleos tipo Miura-ori de geometría variada [Proyecto de grado, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería]. Bogotá, Colombia.

Royo Prieto, J. I. (2002). Matemáticas y papiroflexia [PDF]. Departamento de Matemáticas, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko.

Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM). (s/f). U.S. Air Force Academy Cadet Chapel. Recuperado de <https://www.som.com/projects/u-s-air-force-academy-cadet-chapel/>

Smith, J. (n.d.). Origami profiles. British Origami Society. Retrieved from <https://www.britishorigami.org/cp-resource/origami-profiles-by-john-smith/>

SOM Medium. (s/f). A Radical Mind: The Genius of Architect Walter Netsch. Recuperado de <https://som.medium.com/a-radical-mind-the-genius-of-architect-walter-netsch-bao315069e31>

SOM Medium. (s/f). Unraveling One Architect's Kaleidoscopic Design Theory in 9 Projects. Recuperado de <https://som.medium.com/unraveling-one-architect-s-kaleidoscopic-design-theory-in-9-projects-725fe331b338>

SOS Brutalismo. (sf). 15802395. Brutalismo SOS. Recuperado de <https://www.sosbrutalism.org/cms/15802395#gallery>

SOS Brutalismo. (sf). 19037451. SOS Brutalismo. Recuperado de <https://www.sosbrutalism.org/cms/19037451>

Tachi, T. (2009). Simulation of Rigid Origami. Universidad de Tokio.

Van Uffelen, C. (2018). Massive, Expressive, Sculptural: Brutalism Now and Then. Braun Publishing.

Vyzoviti, S. (s/f). Folding Architecture: Spatial, Structural and Organizational Diagrams. BIS Publisher.

WikiArquitectura. (s/f). Capilla de Cadetes de la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Recuperado de <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/capilla-de-cadetes-de-la-academia-de-la-fuerza-aerea-de-los-estados-unidos/>

