



Universidad de Valladolid  
Escuela de Ingenierías Industriales

# **CONSTRUCCIÓN MODULAR BASADA EN PARALEPÍPEDOS DESPLEGABLES**

Marina Peña Varona



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del  
Producto**

**Construcción modular basada en  
paralelepípedos desplegados**

**Autora:**

**Peña Varona, Marina**

**Tutores:**

**Lorenzana Ibán, Antolín  
Departamento CA, IT y MMC y TE**

**Magdaleno Martín, Jesús  
Departamento CA, IT y MMC y TE**

## **AGRADECIMIENTOS**

Una vez terminado el trabajo, y, por lo tanto, mi etapa universitaria en Valladolid quería dedicar una breve sección de mi TFG a agradecer a todas aquellas personas que me han permitido llegar hasta aquí.

En primer lugar, tengo que agradecer a todas las personas que me han ayudado a realizar este trabajo, a mi tutor, Antolín, a Álvaro y Fernando. El laboratorio de estructuras siempre ha estado abierto para mí.

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y apoyarme incondicionalmente en todas mis decisiones. Ellos han hecho esto posible.

A todas aquellas personas que me han acompañado en mi paso por Valladolid; a la gente del CMU Menéndez Pelayo y a mis compañeros y amigos de clase.

A Aitana, has formado parte de mi vida toda esta etapa haciéndola más fácil y alegre.

De un modo muy especial, a ti, Edu, por trasmitirme tu curiosidad y tus conocimientos, por dedicarme tu tiempo y hacer todo lo posible para hacerme feliz. Sin ti no hubiese sido lo mismo. Eres único.

Por último, agradecer a todas las personas que siempre han estado ahí. Mi hermana Araceli, mis amigas de Burgos y mi familia de Barrio Panizares.

Gracias por todo.

## **RESUMEN**

En 2006 nace de la mano de Dror Brenshetrit, Quadror, un nuevo elemento estructural capaz de revolucionar, según el autor, la manera de construir. Se trata de un sistema compuesto por cuatro piezas idénticas en forma de L que se despliegan para crear una estructura en forma de caballete. Este trabajo de Fin de Grado pretende mostrar el estudio de este sistema constructivo con el objetivo de comprender su funcionamiento y mostrar sus múltiples posibilidades.

En primer lugar, se realiza un recorrido por algunos de los proyectos de su diseñador con el módulo Quadror. A continuación, se lleva a cabo el análisis topológico de la estructura, explicando todos los parámetros que la definen, así como un caso particular de esta, donde puede actuar como recipiente..

Una vez realizado el análisis, se ejecuta el diseño paramétrico de la estructura en el programa de CAD Catia V5, construyendo el modelo para su impresión en 3D.

Para terminar, se proponen diferentes uniones entre bloques, y se muestran sus posibles aplicaciones. Por último, se cuantifica algunas de las ventajas que posee este módulo.

**Palabras clave:** Quadror, estructuras plegables, Catia V5, diseño paramétrico, impresión 3D

## **ABSTRACT**

In 2006, Dror Breshetrit created Quadror, a new structural element able to revolutionize the way to build. It is a system made up of four identical L-shaped pieces which unfold to create an easel-shaped structure. This Bachelor Thesis aims to show a study of this construction system; to understand its operation and show its many possibilities.

First, it is showed a set of projects of his designer's projects where Quadror module is taken. Next, the topological analysis of the structure is carried out, explaining all the parameters that define it. As well as a particular case of this.

Once the analysis is done, the parametric design of the structure is carried out in the Catia V5 CAD software, building the model for 3D printing

To finish, different unions between blocks are proposed, as well as possible additional modifications. Trying to quantify the advantages over other existing structures.

**Keywords:** Quadror, folding structures, Catia V5, parametric design, 3D printing

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2	MOTIVACIÓN DEL TRABAJO.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	2
1.4	ORGANIZACIÓN.....	3
<b>2</b>	<b>STUDIO DROR</b> .....	<b>4</b>
2.1	DROR BENSHETRIT.....	4
2.1.1	<i>Entre sus logros destacan [1]:</i> .....	4
2.2	QUADROR.....	5
2.3	VENTAJAS DE LA ESTRUCTURA QUADROR.....	7
2.4	PROYECTOS DESARROLLADOS CON EL MÓDULO QUADROR.....	8
2.4.1	<i>Brancott State (2017)</i> .....	8
2.4.2	<i>Pabellón Puma (2010)</i> .....	9
2.4.3	<i>Colección de muebles Horm.lt Quadror (2015)</i> .....	11
2.4.4	<i>Volume.MGX (2009)</i> .....	12
<b>3</b>	<b>CONDICIONES GEOMÉTRICAS</b> .....	<b>14</b>
3.1	ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA.....	14
3.2	DEDUCCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE ÁNGULOS DE LA ESTRUCTURA.....	20
3.3	CASO PARTICULAR DE QUADROR.....	23
<b>4</b>	<b>MODELADO EN CATIA V5</b> .....	<b>26</b>
4.1	MODELADO DE LA PIEZA BASE.....	27
4.2	ENSAMBLAJE DE PIEZAS.....	37
4.3	MODELADO DEL BLOQUE PARA IMPRESIÓN.....	41
<b>5</b>	<b>UNIONES</b> .....	<b>42</b>
5.1	UNIÓN DE LAS PIEZAS DE UN MISMO BLOQUE.....	42
5.2	UNIÓN ENTRE BLOQUES.....	44
<b>6</b>	<b>MODIFICACIONES ADICIONALES</b> .....	<b>48</b>
6.1	ALIGERAMIENTOS.....	48
6.2	SUELO TÉCNICO.....	50
6.3	JARDINERAS.....	51
<b>7</b>	<b>VENTAJAS</b> .....	<b>54</b>
7.1	REDUCCIÓN DE VOLUMEN.....	54
7.2	CAPACIDAD DE CARGA.....	59

7.3 BLOQUE ALIGERADO.....	59
<b>8 CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
8.1 CONCLUSIONES.....	63
8.2 LÍNEAS FUTURAS .....	64
8.3 IMPACTO AMBIENTAL Y REPERCUSIONES ECONÓMICAS .....	64

# 1 INTRODUCCIÓN

El sistema constructivo Quadror se trata de una estructura de armazón geométrico común con múltiples aplicaciones, desde una estructura autoportante básica para construcción, hasta su utilización en la edificación de viviendas. Cada bloque Quadror está formado por cuatro piezas idénticas en forma de “L” unidas de tal forma que se pueden abrir y cerrar conjuntamente. Su diseñador, Dror Benshetrit y su equipo realizaron investigaciones obteniendo una estructura simple, que era capaz de adaptarse a una gran variedad de condiciones y configuraciones. Entre sus cualidades destacan: elevada capacidad de carga, facilidad de fabricación, colapsabilidad y aislamiento acústico.

No se ha encontrado documentación que muestre la relación entre los parámetros que definen esta estructura, por ello, en este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado un análisis topográfico de la estructura de manera autónoma, con el objetivo de alcanzar una comprensión absoluta de la misma.

Para alcanzar este objetivo, primero se realiza un análisis, mostrando teóricamente los valores de los parámetros y la deducción de estos. Relacionándolos mediante ecuaciones y aplicando relaciones trigonométricas.

El modelado paramétrico en el software de diseño Catia V5 permite mostrar de forma rápida numerosas disposiciones de bloques Quadror, aportando soporte gráfico al análisis realizado previamente. Además, el modelado sirve como herramienta previa a la impresión 3D de un prototipo. La conjunción de estos documentos gráficos aporta una completa perspectiva del módulo Quadror.

## 1.1 CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, este TFG profundiza en el estudio del sistema estructural Quadror [1], un concepto que se puede agrupar dentro de las estructuras articuladas. En este caso la articulación tiene lugar respecto a un eje virtual.

Para ello, primero se ha realizado un análisis topológico teórico, después su modelado en 3D y, finalmente, la elaboración de prototipos mediante impresión en 3D, aportando una visión completa de la estructura.



La elección de esta estructura no es casual. Por un lado, Quadror ofrece múltiples posibilidades de diseño de producto y construcciones arquitectónicas. Por otro lado, al no haber encontrado documentación que explique los parámetros geométricos que la rigen, sus posibles aplicaciones quedan limitadas a ideas o conceptos.

El modelado en 3D ha sido clave en el desarrollo de este proyecto. Ya que sin materializar el bloque Quadror se ha podido comprender y analizar la estructura. Un modelo paramétrico robusto permite cambiar los valores de los parámetros y que la estructura siga manteniendo las restricciones asignadas.

## 1.2 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

La principal motivación de este TFG es la aplicación de herramientas geométricas y computacionales para, el estudio de las estructuras plegables. En este TFG se pretende conseguir explicar el funcionamiento del bloque Quadror y las relaciones que sostiene su geometría. Siendo una estructura simple con una geometría no demasiado intuitiva.

Además, este análisis puede servir de precedente para futuros diseños y aplicaciones con el módulo Quadror, ya que conociendo los parámetros que definen la estructura se simplifica el proceso de diseño.

## 1.3 OBJETIVOS

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado desde el punto de vista técnico son los que se comentan en las siguientes líneas:

- Comprender el funcionamiento y los parámetros geométricos que definen la estructura analizada en este trabajo.
- Modelar paramétricamente a través de software el bloque Quadror.
- Imprimir en 3D prototipos generados con modelado paramétrico.
- Añadir valor a este sistema proponiendo nuevas formas de unión entre piezas y bloques, así como, nuevas posibles aplicaciones.

## 1.4 ORGANIZACIÓN

Este TFG contiene ocho capítulos. A continuación, se describe brevemente el contenido de cada uno de ellos excepto el primero:

**Studio Quadror.** Se presenta el sistema estructural Quadror, su diseñador y varios proyectos donde se ha aplicado este concepto.

**Condiciones geométricas.** Se muestra un análisis consistente de los parámetros necesarios para definir la estructura Quadror. Añadiendo un caso particular del mismo.

**Modelado en Catia V5.** Se explica a través de imágenes y texto el proceso para realizar un diseño paramétrico con el software Catia V5, aplicado al bloque Quadror.

**Uniones.** Se muestra propuestas de unión para las piezas de un mismo bloque y para la unión entre bloques. Explicando las limitaciones detectadas que poseen las conexiones.

**Modificaciones adicionales.** Se añaden tres propuestas de posible aplicación del bloque Quadror: aligeramientos, suelos técnicos y jardineras.

**Ventajas respecto a otras estructuras.** Se enumeran las ventajas del módulo cuantificando alguna de ellas.

**Conclusiones.** Se detallan las conclusiones extraídas del Trabajo de Fin de Grado. También se presentan algunas posibles líneas de investigación

El proceso de impresión en 3D se encuentra adjunto en un anexo al final del TFG.

## **2 STUDIO DROR**

En los siguientes apartados se muestra un resumen de los aspectos más significativos de un nuevo concepto tipológico, el bloque estructural Quadror. Creado por el arquitecto y diseñador israelí Dror Benshetrit.

### **2.1 DROR BENSHETRIT**

Dror Benshetirt comenzó su carrera como artista, posteriormente, ha desarrollado proyectos de diseño de producto, diseño de interiores, arquitectura y planificación urbana. Actualmente dirige un estudio llamado “Studio Dror” ubicado en Nueva York [1].

#### **2.1.1 ENTRE SUS LOGROS DESTACAN [1]:**

- La aparición de su nombre en Wallpaper Power 200, una lista de los principales influenciadores del diseño del mundo lanzada en 2015, y en el Top 10 en diseño de Fast Company's Most Innovative Companies en 2011.
- Ganador del concurso de diseño Merging Boundaries de GE Plastics (2001).
- Galardonado con los premios: iF Product Design Award (2006), Good Design Award (2008 y 2010) y Red Dot Award (2012).
- Su obra está incluida en las colecciones permanentes de los principales museos de América del Norte, Europa y Oriente Medio.
- Ha dado conferencias en la Escuela de Diseño de la Universidad de Pensilvania, la Universidad de Nebraska y el museo y centro de investigación de la Universidad Internacional Wolfsonian de Florida.
- Actualmente es miembro de la junta del Museo de Artes y Diseño de Nueva York.

## 2.2 QUADROR

El bloque Quadror fue descubierto fortuitamente en 2006, al ver que, cuatro piezas idénticas en forma de L, cada una con bordes achaflanados con el mismo ángulo, podían entrelazarse para formar dos cuadrados. Cuando se colocaron uno encima del otro y se conectaron en los extremos opuestos, formaron una nueva forma que podría empaquetarse de forma plana o abrirse en un bloque de construcción geométrico independiente (Figura 2.1).

Quadror está formado por triángulos siempre opuestos, generando la forma de una A en dos lados y una V en los otros lados, los apoyos están constantemente en compresión. Cuando los ángulos se interceptan, forman un paralelogramo que se asienta plano sobre una superficie independientemente de su orientación, lo que permite la capacidad de apilamiento. Los cuatro componentes de Quadror se pueden alargar para formar un caballete o engrosarse para obtener una apariencia de bloque. La capacidad de carga, las propiedades acústicas, el rendimiento energético y la facilidad de fabricación del objeto se prestan a innumerables condiciones y configuraciones.

Quadror es un nuevo concepto para la construcción. Pudiendo construir desde barreras de construcción hasta viviendas de emergencia y rascacielos. Su asombrosa fuerza ofrece un revolucionario sistema de soporte estructural para una amplia gama de proyectos. [1] [2]

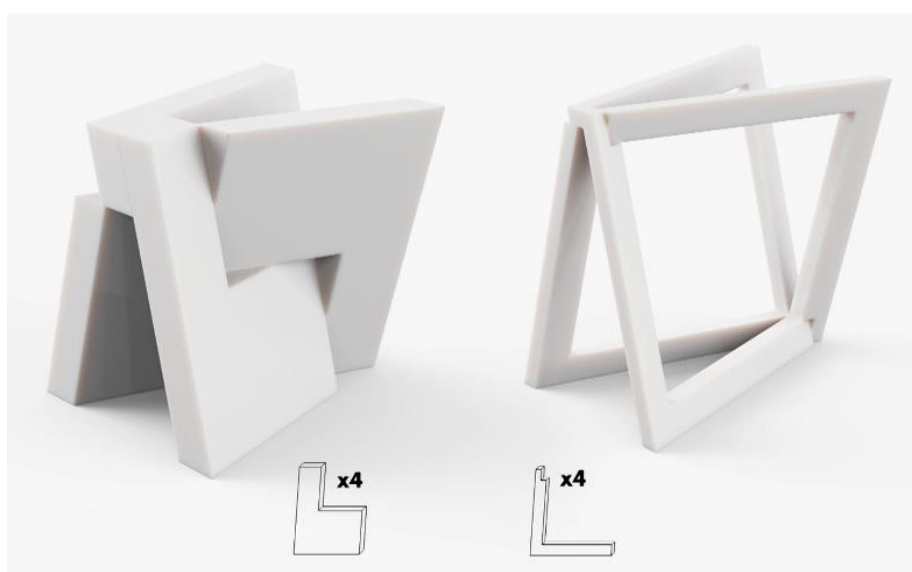
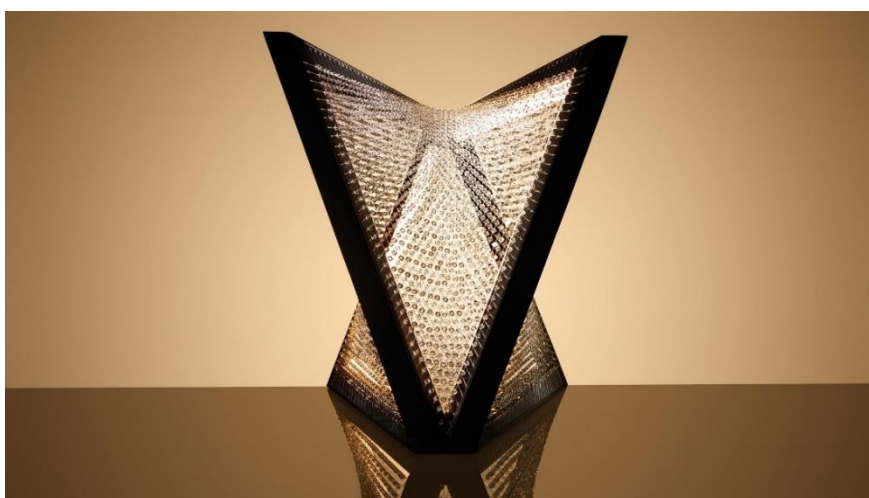


Figura 2.1 Módulo Quadror [1]

Quadror nace en 2006 cuando Dror Benshetrit y su equipo estaban trabajando en un encargo para Swarovski intentando unir 2 cuadrados exactamente iguales entre sí únicamente con fines estéticos (Figura 2.2) y (Figura 2.3).

Creó una lámpara formada por una cuadrícula de hilos transparentes con 6400 cristales de Swarovski. Cuando se abre el marco, la cuadrícula se transforma en dos parábolas. El marco de esta lámpara fue el origen del módulo Quadror: un sistema de bisagras autoblocantes.



*Figura 2.2 Lámpara Swarovski posición frontal [1]*



*Figura 2.3 Lámpara Swarovski posición de perfil [1]*

Durante 4 años un equipo de expertos de Studio Dror en New York, realizaron un análisis riguroso para descubrir que la estructura posee una capacidad de carga similar a la de un cubo de carga de la misma arista, pero con solo la quinta parte del volumen.

El sistema constructivo plegable Quadror tiene múltiples iniciativas de diseños, está formado por una armadura geometría en forma de “L”, con uniones en sus extremos que tiene integridad estructural y a su vez es flexible, siendo posible apilar hasta 86 módulos permitiendo

Algunas de sus posibles aplicaciones son [2] [1]:

- Construcción de muros.
- Paredes acústicas
- Mobiliario: estanterías, mesas y lámparas.
- Estructuras para viviendas
- Botellero
- Puramente artísticas

## 2.3 VENTAJAS DE LA ESTRUCTURA QUADROR

Además de su gran variedad de posibilidades, el módulo Quadror ofrece numerosas ventajas como [2]:

- Alto grado de personalización en construcciones tipo viviendas: la estructura son marcos apilables cubiertos por otros elementos pudiendo estructurar los marcos en distintas disposiciones.
- Facilidad de transporte, estos módulos se pueden plegar, reduciendo su volumen consideradamente.
- Bajo costo de construcción por la reducción de los procesos productivos, ya que las piezas a fabricar son iguales.
- Reducción del tiempo de construcción.
- Alta capacidad de carga con un quinto del volumen, en comparación a un cubo de dimensiones similares.
- Propiedades acústicas.
- Se sustenta por sí mismo evitando la utilización de elemento adicionales en obra.
- Se pliega y abre con una sola operación formando una estructura independiente de soporte tipo caballete.

- Facilidad de diseño y montaje debido a que son piezas muy sencillas que unidas generan un objeto más complejo.
- Concepto geométrico que permite múltiples iniciativas de diseño.

## 2.4 PROYECTOS DESARROLLADOS CON EL MÓDULO QUADROR

Algunos de los proyectos de Studio Dror utilizando esta estructura son:

### 2.4.1 BRANCOTT STATE (2017)

Escultura para la empresa Brancott State de viñedos en Marlborough, Nueva Zelanda. Una escultura permanente construida en 2017 en Brancott Vineyard, donde se plantaron las primeras vides de Marlborough Sauvignon Blanc.

Se partió de una matriz plana de acero CorTen, que se abre para convertirse en un volumen de nueve metros de altura de triangulaciones agregadas (Figura 2.4).

Junto a la escultura se diseñó un botellero para seis botellas con la misma geometría construido de acero electro-revestido (Figura 2.5 [1]).



*Figura 2.4 Dror para Brancott Estate [1]*



Figura 2.5 Botellero para Brancott Estate [1]

## 2.4.2 PABELLÓN PUMA (2010)

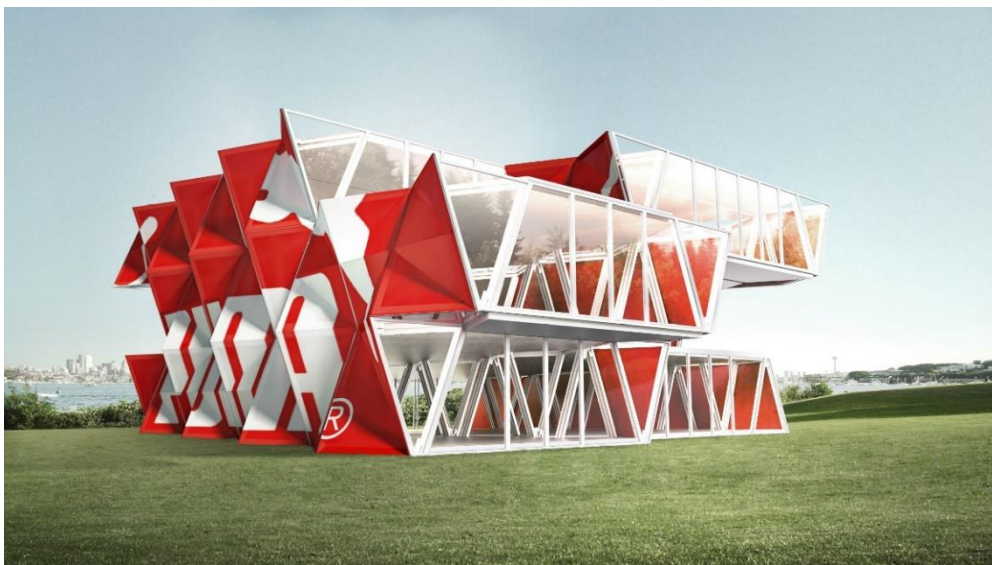
Se utilizó el módulo Quadror en el diseño de un pabellón itinerante para la marca Puma. En el pabellón utilizado hasta el momento el transporte de los elementos era extremadamente difícil; con sus onerosos refuerzos, la masa de los volúmenes era esencialmente igual al volumen de todo el edificio.

El Studio Quadror solucionó este problema con el diseño de un pabellón personalizable más eficiente utilizando estructuras QuaDror. La geometría fuerte y adaptable puede orientarse para mantener la sensación de voladizo de la estructura actual de Puma, eliminando al mismo tiempo las dificultades que presentaba relacionadas con el peso. Un marco Quadror también permite la colapsabilidad y un correcto funcionamiento en todas las fases del proceso de construcción, incluida la fabricación, el transporte, el ensamblaje, el desmontaje y el almacenamiento.

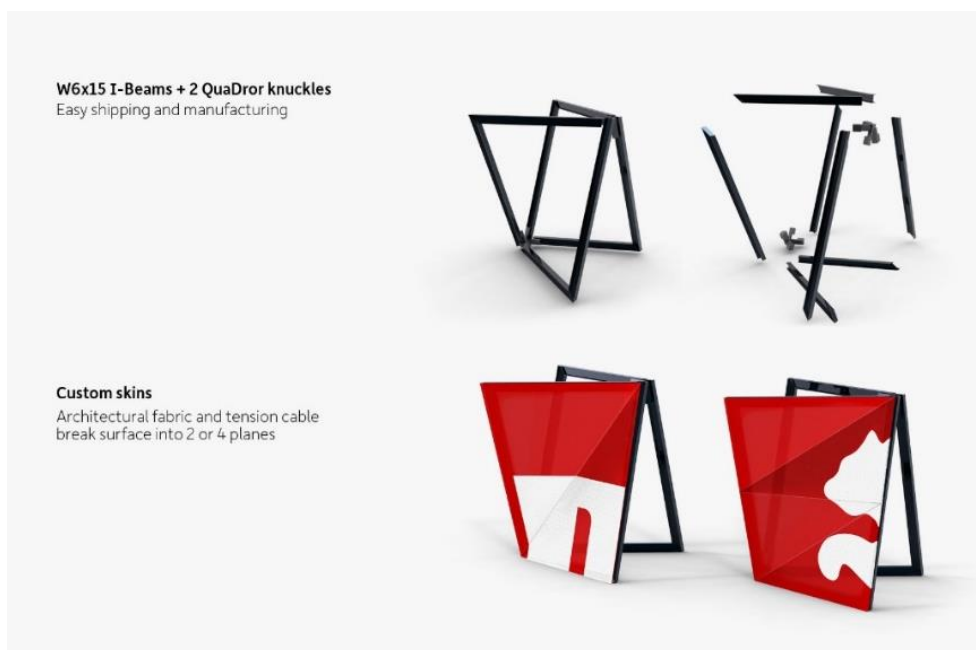
El diseño consiste en un edificio de 12,000 pies cuadrados hecho de 79 estructuras Quadror idénticas, que están conectadas mediante vigas en L estándar (Figura 2.6, Figura 2.8). El pabellón está cubierto por dos lados con tejido arquitectónico; los lados restantes están cubiertos con vidrio, lo que hace que la luz natural y el entorno circundante sean visibles desde el interior (Figura 2.7). Para prepararse para el transporte, toda la estructura se puede empaquetar de forma plana en solo 10 contenedores de envío, incluidos los elementos interiores. También se puede



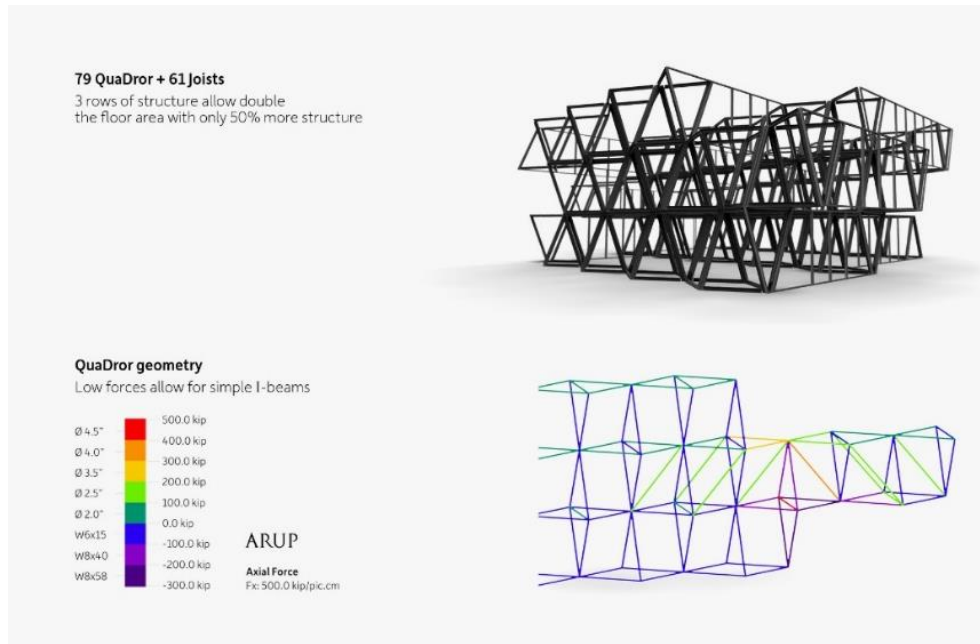
modificar fácilmente para acomodar varias parcelas de tierra a medida que viaja de un sitio a otro [1].



*Figura 2.6 Pabellón Itinerante Puma [1]*



*Figura 2.7 Estructura Pabellón Itinerante Puma*

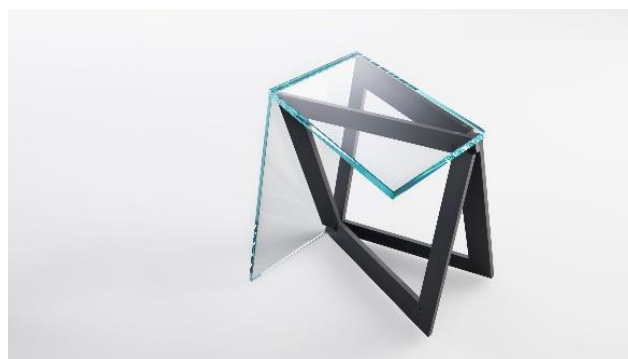


*Figura 2.8 Esqueleto Pabellón Itinerante Puma*

### 2.4.3 COLECCIÓN DE MUEBLES HORM.IT QUADROR (2015)

La colección de muebles QuaDror muestra la elegante simplicidad de QuaDror, a través de materiales puros y elegantes: vidrio, bronce y madera de fresno clara y ennegrecida; creando mesas y estanterías, donde los caballetes se reemplazan por estructuras QuaDror (Figura 2.9, Figura 2.10, Figura 2.11).

El productor de la colección es el fabricante italiano Horm.it [1].



*Figura 2.9 Mesita Quadror*



*Figura 2.10 Estantería Quadror*

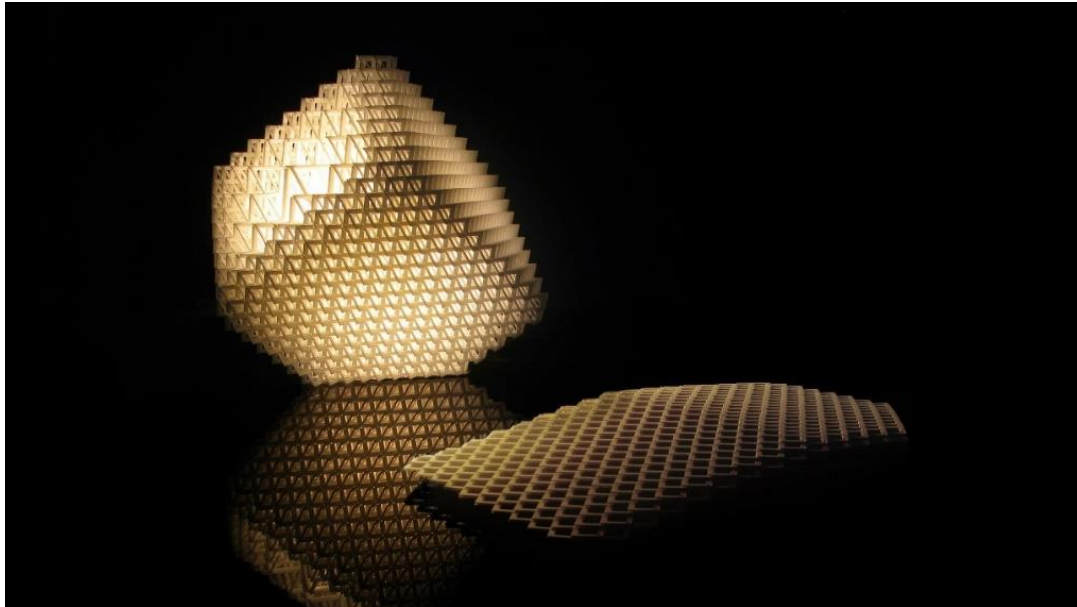


*Figura 2.11 Mesa Quadror*

#### **2.4.4 VOLUME.MGX (2009)**

Volume.MGX consta de una pieza plana impresa en 3D sinterizada con láser creada por 1200 pequeñas estructuras QuaDror. Con un solo movimiento, la lámpara de mesa se abre para encajar sobre una bombilla. La luz baila a lo largo de la geometría QuaDror, dando como resultado un brillo cálido y sutil en el centro de la lámpara que se desvanece a medida que se acerca a los bordes (Figura 2.12).

Volume.MGX ha aparecido en exposiciones en el Museo de Arte y Diseño y el Museo de Arte Contemporáneo de Raleigh [1].



*Figura 2.12 Volume.MGX*

### 3 CONDICIONES GEOMÉTRICAS

#### 3.1 ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA

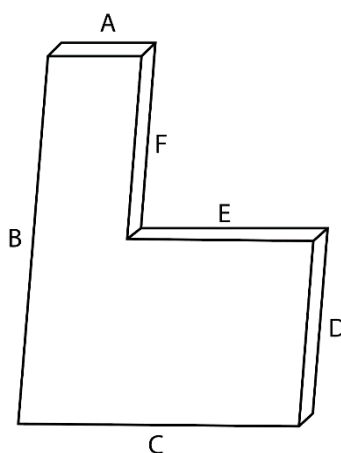
Este capítulo tiene como objetivo hacer un análisis y descripción detallada de la estructura Quadror mencionada en el capítulo 2.2.

Quadror es un bloque de construcción formado por cuatro piezas iguales en forma de L unidas dos a dos entrelazadas entre sí, pudiendo girar respecto a un eje virtual descansando una contra la otra.

El componente base tiene forma de L (Figura 3.1), siendo sus 6 lados modulares. Concretamente, si la arista **A** tiene una dimensión  $A = x$ , entonces las aristas restantes tienen las siguientes dimensiones proporcionales:

$$B = 4x, C = 3x, D = 2x, F = 2x$$

Las dimensiones de las aristas deben mantener siempre estas proporciones, en caso contrario, al superponer las piezas para construir el bloque, éstas no formarían un paralelepípedo.



*Figura 3.1 Componente base*

Los lados del poliedro son paralelos entre sí, en la Figura 3.1 son paralelos los lados **A**, **E**, y **C** y los lados **B**, **F** y **D**.

El ángulo entre los lados F y E de la Figura 3.3Figura 3.1, no tiene que ser necesariamente  $90^\circ$ , este puede variar en función de su aplicación y la estética deseada.

Cada lado (A, B, C, D, E, F) se corta con un chaflán idéntico como se muestra en el alzado y la vista posterior de la Figura 3.2. Todos los chaflanes horizontales y verticales deben ser coplanarios.

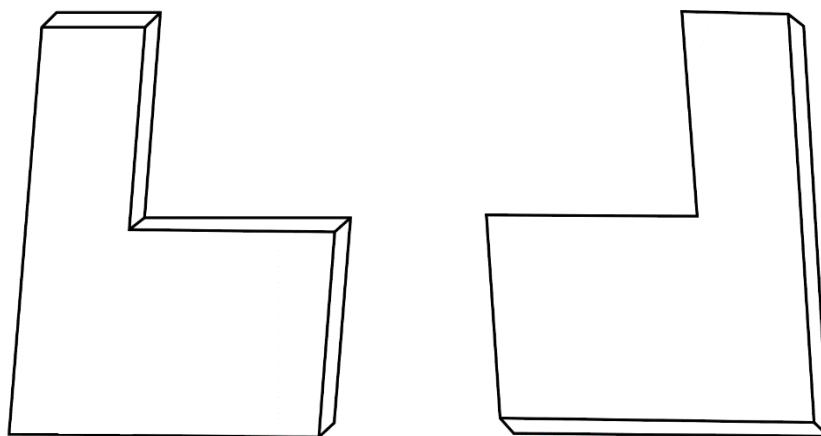


Figura 3.2 Componente base vistas

Se llama  $\gamma$  al ángulo del chaflán y  $\beta$  al ángulo de inclinación entre los lados paralelos verticales (Figura 3.3).

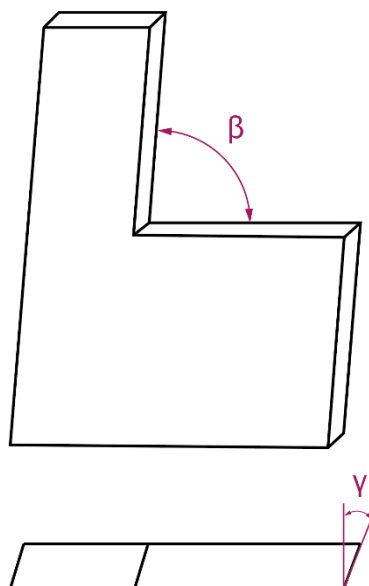
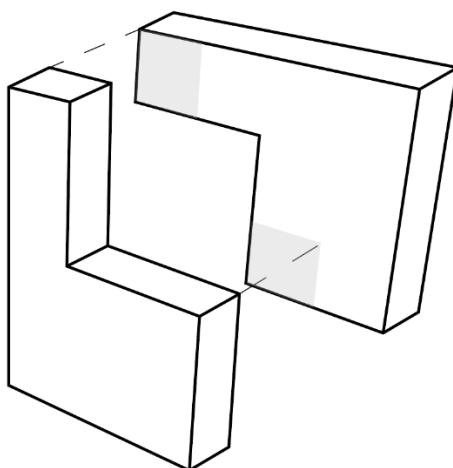
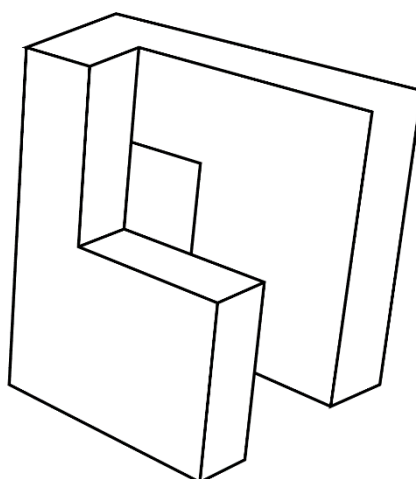


Figura 3.3 Ángulos del componente base

Dos componentes base (Figura 3.1) se unen para formar un primer elemento (Figura 3.5), de la siguiente manera: el primer componente Figura 3.1 se coloca como se muestra, y el segundo componente se gira en una posición que está desplazada 180 grados del primero (Figura 3.4). Ambos componentes pueden unirse por cualquier medio conocido. Por ejemplo, se puede aplicar entre ellos un adhesivo, tornillos, clavos o una unión soldada.



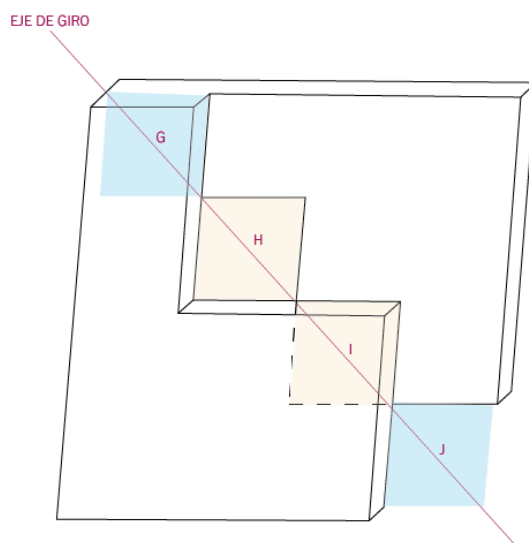
*Figura 3.4 Unión de componentes*



*Figura 3.5 Pieza del módulo*

Como se ve en la Figura 3.6, los componentes se unen mediante zonas superpuestas **G** e **I** dejando áreas abiertas **H** y **J**. El área abierta en **H** tiene un tamaño idéntico al de la superposición en **I** y el área abierta en **J** tiene un tamaño idéntico al de la superposición en **G**. Las superficies iguales aparecen coloreadas con el mismo

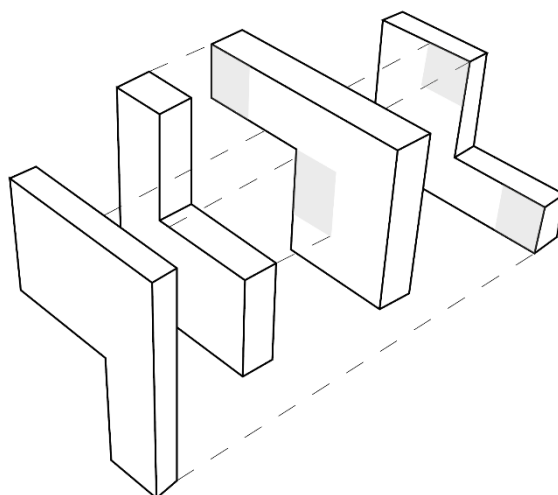
color. Estas características están dispuestas simétricamente alrededor de un eje diagonal de giro.



*Figura 3.6 Elementos de unión*

El eje de giro se apoya sobre el plano de unión de ambas piezas, va desde el punto superior izquierdo del área **G** de la Figura 3.6 hasta el punto inferior derecho del área **J** de la Figura 3.6.

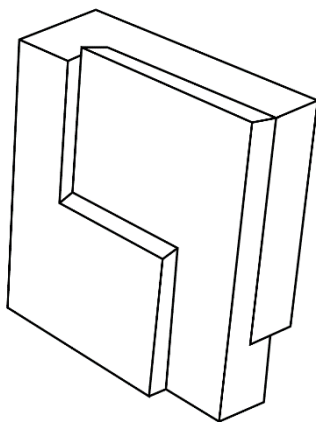
Al igual que la Figura 3.4 cuatro componentes base se unen como se muestra en la Figura 3.7. Debido a la relación de áreas expuestas en la Figura 3.6 el resultado de esta unión es un bloque de construcción cerrado (Figura 3.8), donde las regiones superpuestas se colocan dentro de las regiones abiertas.



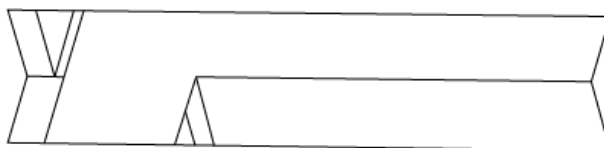
*Figura 3.7 Unión de un bloque*



Dado que todos los componentes tienen el mismo espesor, el espesor total del bloque es el doble del espesor de los componentes, se puede apreciar en la Figura 3.9.

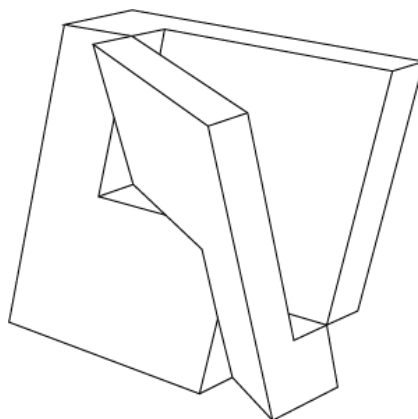


*Figura 3.8 Bloque de construcción cerrado*



*Figura 3.9 Vista en planta del bloque de construcción*

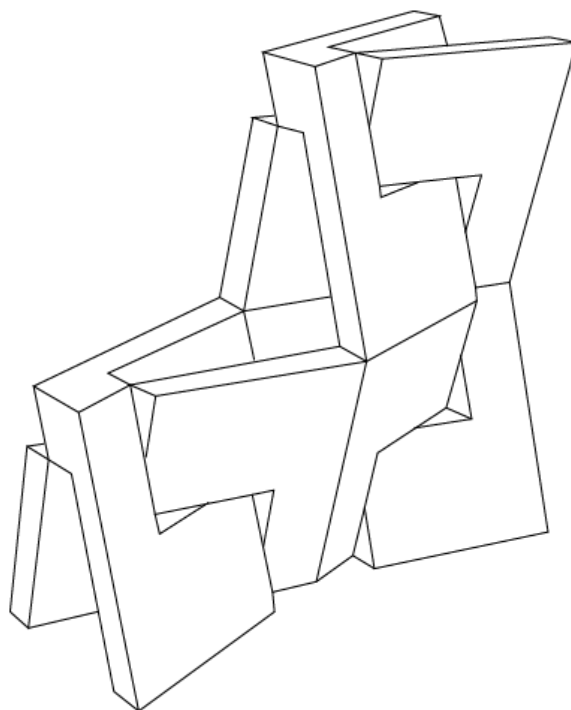
Los elementos están fijados dos a dos, pero no lo están los cuatro entre sí, permitiendo a cada par de piezas pivotar entre sí a lo largo del eje de giro explicado en la Figura 3.6. El movimiento de los elementos está limitado por las superficies achaflanadas, es decir, los dos elementos pueden pivotar desde la configuración en cerrado (Figura 3.8) hasta su configuración en abierto (Figura 3.10).



*Figura 3.10 Bloque de construcción abierto*

Las piezas pueden girar hasta que las superficies achaflanadas entren en contacto o se apoyen entre sí. Considerando que el ángulo del chaflán es idéntico en todas las piezas, cuanto mayor sea el corte del chaflán en cada borde, mayor será el ángulo de apertura que es posible entre cada componente. En la Figura 3.10 las superficies achaflanadas actúan como tope. De esta manera, el bloque abierto, es una estructura independiente que puede descansar sobre una superficie por sí misma y puede usarse para soportar peso adicional.

Para poder apilar piezas vertical y horizontalmente como se muestra en la Figura 3.11 es necesario que cuando el bloque está desplegado sus bases sean paralelas y los planos laterales sean perpendiculares a las bases. Si las bases son paralelas pero los planos laterales no son perpendiculares a estas, es imposible apilarlos ni horizontal, ni verticalmente ya que la inclinación de los bloques produciría interferencia de estos. Por ello, los módulos deben cumplir una serie de condiciones geométricas que se resuelven con una relación entre el ángulo del chaflán ( $\gamma$ ) y el ángulo de inclinación de los lados del componente base ( $\beta$ ) (Figura 3.3).



*Figura 3.11 Conjunto de 3 módulos*

## 3.2 DEDUCCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE ÁNGULOS DE LA ESTRUCTURA

En este apartado se explica el proceso seguido para obtener la relación entre ángulos de cada bloque, que permite apilar piezas vertical y horizontalmente, como se muestra en la Figura 3.11. Siendo necesario que cuando el bloque está desplegado, sus bases sean paralelas y los planos laterales sean perpendiculares a las bases. No se ha encontrado documentación respecto a este apartado, la deducción se ha realizado de forma independiente.

Para definir completamente la pieza necesitamos 4 parámetros:  $x$ , el equivalente a “A” en la Figura 3.1; el **espesor** de la pieza;  $\beta$ , el ángulo de inclinación entre lados paralelos y  $\gamma$ , el ángulo del chaflán (Figura 3.3). Los parámetros  $x$  y espesor de pieza son independientes, son longitudes que se pueden elegir y cambiar. Sin embargo, los ángulos  $\beta$  y  $\gamma$  son dependientes.

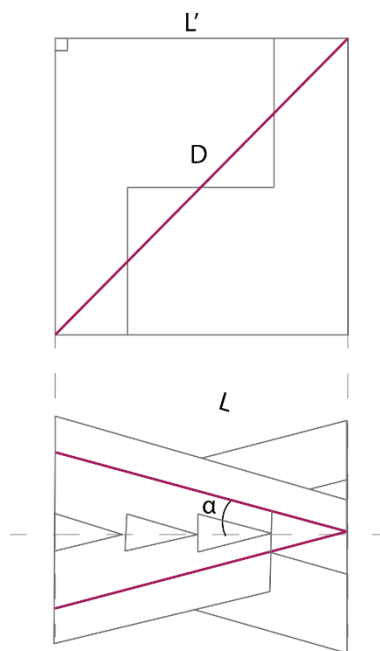


Figura 3.12 Planta y alzado bloque abierto

El punto de partida de esta deducción es lo que se busca: un bloque abierto que forme un cuadrado y sus caras laterales sean paralelas entre sí y perpendiculares a la base donde se apoye, pudiendo así apilarlo junto a otros horizontal y verticalmente.

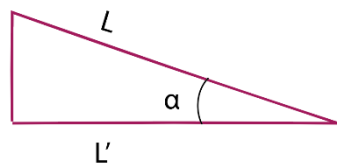
Para hallar la relación entre ángulos primero hay que mirar la Figura 3.12, esta imagen representa el alzado del bloque abierto en la parte superior, un cuadrado en proyección vertical, y la vista en planta del bloque abierto. De la Figura 3.12 se conoce lo siguiente:

- El ángulo  $\alpha$  representa los grados al abrirse el bloque.
- $L$  es un valor conocido y viene dado por el valor  $x$  del lado, siendo el lado largo,  $L, 4x$ .
- $L'$  es el lado proyectado, sin estar en verdadera magnitud.
- $L'$  se puede expresar en función de la diagonal  $D$  mediante el Teorema de Pitágoras (Ecuación 1).

$$D = \sqrt{2} \cdot L' \rightarrow L' = \frac{D}{\sqrt{2}}$$

*Ecuación 1*

- Aislando el triángulo rectángulo formado por  $\alpha$ ,  $L$  y  $L'$  (Figura 3.13), y mediante trigonometría se puede expresar  $L$  en función de  $D$  y  $\alpha$  mediante la Ecuación 2.



*Figura 3.13 Triángulo rectángulo*

$$\cos \alpha = \frac{L'}{L} \rightarrow L = \frac{L'}{\cos \alpha} = \frac{D}{\sqrt{2} \cdot \cos \alpha}$$

*Ecuación 2*

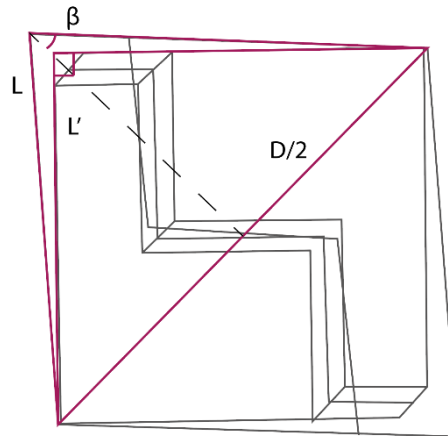


Figura 3.14 Alzados del bloque abierto y cerrado

A continuación, se representan los alzados del bloque abierto y cerrado (Figura 3.13); ambos forman dos triángulos distintos, el proyectado que forma  $90^\circ$  (el de lado  $L'$ ) y el del ángulo  $\beta$ , que está en verdadera magnitud. Los dos comparten la base, que corresponde con la diagonal.

Observando la Figura 3.14, se observa que ambos triángulos tienen  $D/2$  como base hasta la mitad de la diagonal  $D$ , Por ello, se puede calcular  $\beta$  como ese arcoseno ( $D/2$  es el cateto opuesto, y  $L$  la hipotenusa); sustituyendo la  $L$  de la Ecuación 2 en la Ecuación 3.

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{D}{L}\right) \rightarrow \beta = \sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{2} \cos \alpha}{2}\right)$$

Ecuación 3

La Ecuación 3 relaciona únicamente  $\beta$  y  $\alpha$ , relacionando el ángulo de apertura del Quadror con el ángulo de inclinación de la forma de cada pieza.

Luego, se comprueba la relación de estos ángulos con el ángulo del chaflán  $\gamma$ , Para ello, hay que observar la vista en planta de la Figura 3.12. Como se pretende que los lados laterales sean rectos cuando el bloque está desplegado al extruir hacia abajo (Figura 3.15). Entonces,  $\alpha$  vuelve a determinar el ángulo, en este caso,  $\gamma$ : como se extruye en vertical,  $\alpha$  y  $\gamma$  coinciden.

Se obtiene que los ángulos que se necesitan para definir la pieza ( $\beta$  y  $\gamma$ ) dependen del mismo ( $\alpha$ ).

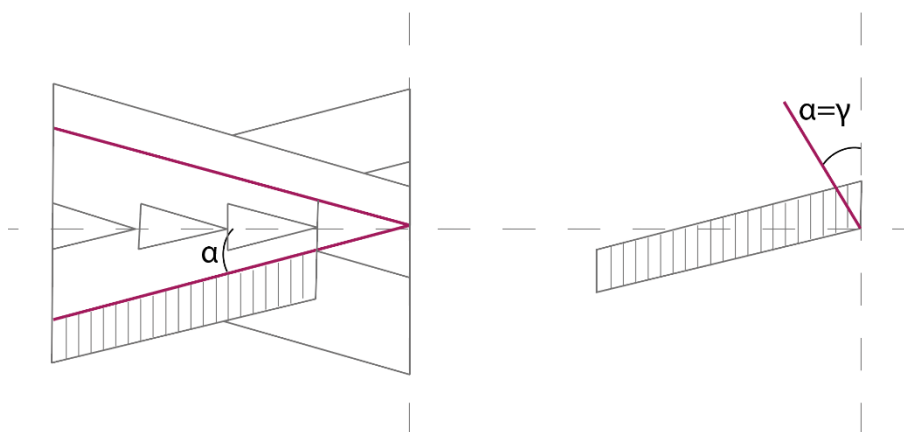


Figura 3.15 Extrusión de la planta

Finalmente, con  $\alpha$ , el lado  $x$  de la pieza (Figura 3.1) y el espesor el “Quadror paralelepípedo” queda completamente definido.

### 3.3 CASO PARTICULAR DE QUADROR

Existe un caso particular de bloque Quadror en el que, además de tener las características geométricas mencionadas anteriormente, existe una relación entre el ángulo  $\alpha$  y el espesor de la pieza.

En este caso, el bloque también tiene sus bases paralelas y sus caras laterales perpendiculares a las bases cuando está abierto, pudiendo así apilarlos vertical y horizontalmente,

Pero el espesor pasa de ser un parámetro independiente a dependiente; depende del ángulo  $\alpha$  y se relaciona con la Ecuación 4.

Esta relación permite crear un bloque cuyas caras interiores pueden actuar como recipiente, ya que las esquinas de una pieza descansan sobre los chaflanes de la contraria sin dejar huecos. En la Figura 3.16 se puede ver la diferencia entre un bloque que mantiene esta relación (la ilustración de la izquierda) y uno que no la mantiene (la ilustración de la derecha).

Esta relación se puede añadir en el diseño paramétrico del programa Catia V5, como se explicará en el capítulo 4.

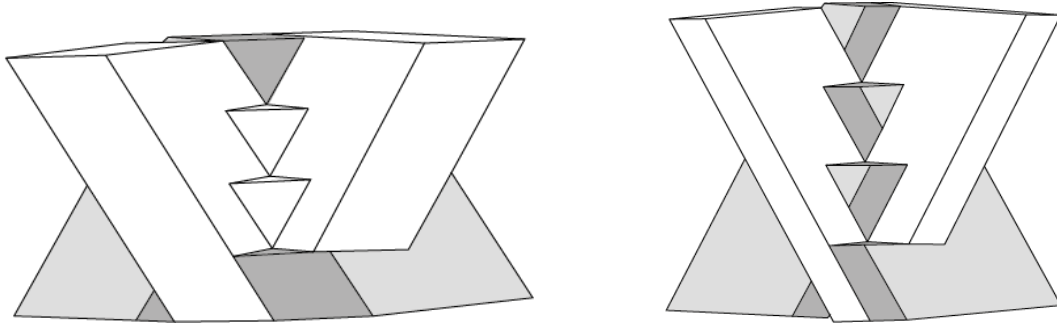


Figura 3.16 Comparación de bloques

$$\text{espesor} = 2 \cdot x \cdot \sin \alpha$$

Ecuación 4

Esta relación se obtiene de la deducción de la Figura 3.17, al desplegarse el bloque aparece en su interior triángulos isósceles cuyo lado distinto es el espesor deseado, los lados iguales son el parámetro  $x$  y el ángulo distinto  $2\alpha$ . Este triángulo isósceles está formado por dos triángulos rectángulos y mediante trigonometría se obtiene la Ecuación 4.

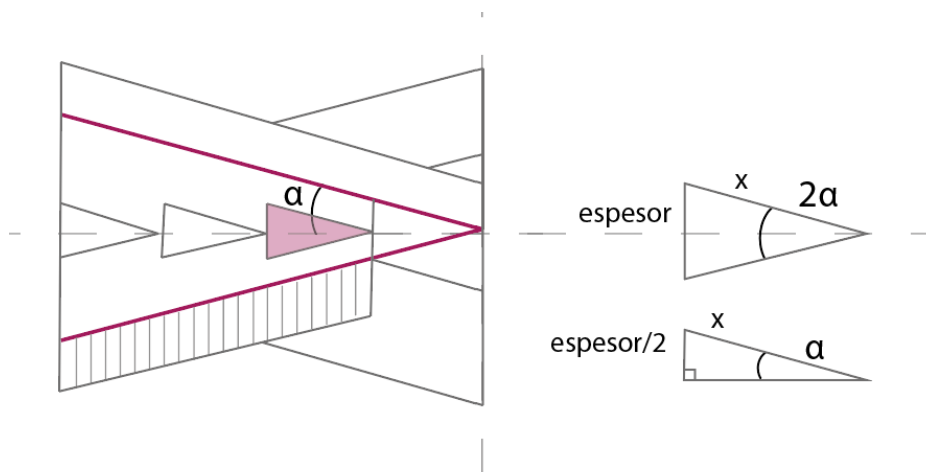
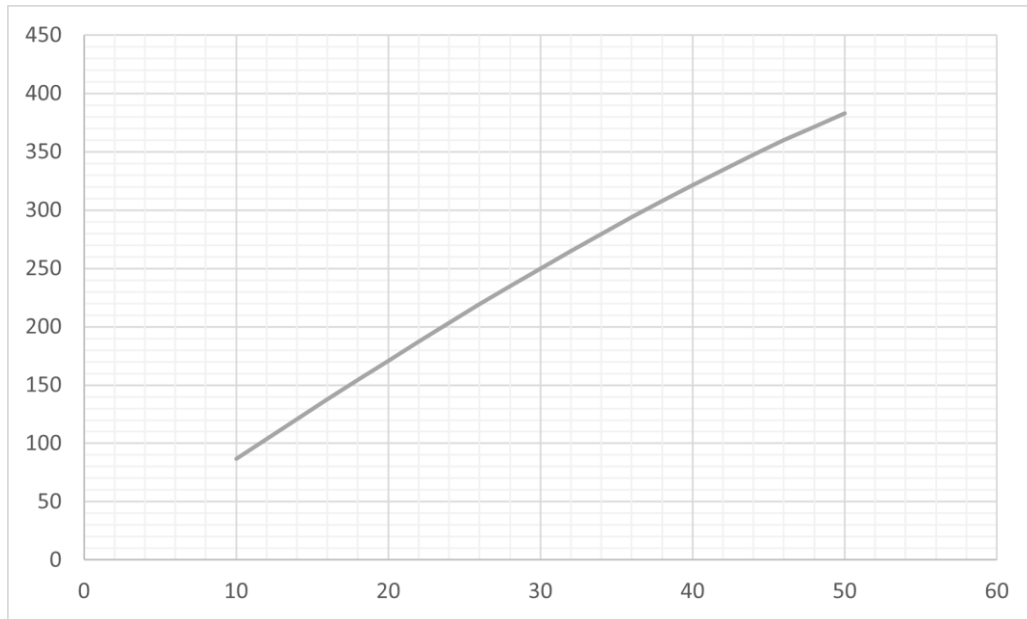


Figura 3.17 Ángulo caso especial

A continuación, se muestra una gráfica (Figura 3.18) que relaciona los valores de las variables espesor en mm, y  $\alpha$  en grados, para 21 valores distintos cumpliendo la característica geométrica mencionada en las líneas anteriores. Se muestran valores del ángulo  $\alpha$  de  $10^\circ$  a  $50^\circ$  en el eje  $x$  y valores de espesores de 85 mm a 284 mm en el eje  $y$ . Para poder relacionarlos el valor del  $x$  se ha fijado (250 mm)



*Figura 3.18 Relación de espesor y  $\alpha$*



## 4 MODELADO EN CATIA V5

Este capítulo tiene como objetivo explicar el proceso de diseño paramétrico del conjunto del bloque Quadror. Se utiliza la herramienta CATIA V.5, un programa CAD/CAE/CAM de la empresa francesa Dassault Systèmes. Se hace uso del módulo Mechanical Design y sus submódulos Part Design y Assembly Design.

El módulo Part Design se utiliza para crear piezas a partir de diferentes herramientas de las que dispone CATIA V5, siendo uno de los módulos más utilizados. El módulo de Assembly Design permite ensamblar las diferentes partes diseñadas (Figura 4.1).

A lo largo del proyecto la metodología ejecutada consiste en diseñar las partes sencillas por separado y montarlas en conjuntos que posteriormente se ensamblarán entre sí.

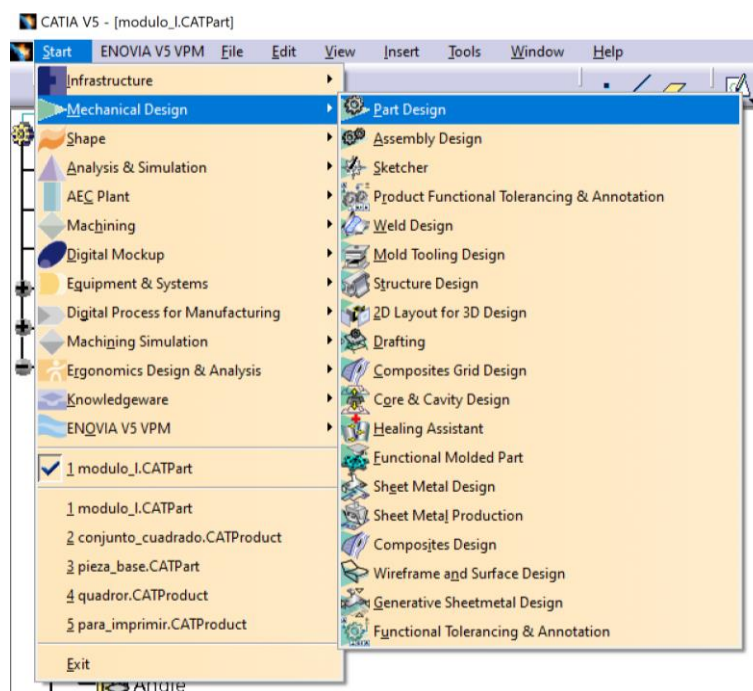


Figura 4.1 Módulos de Catia V.5

En primer lugar, se plantea el diseño de la pieza base que junto a otras tres forman el bloque Quadror. Se utiliza el diseño paramétrico para poder adaptar las dimensiones de las piezas modificando los parámetros de diseño en el programa, pudiendo adaptar rápidamente la pieza diseñada a los cambios que van surgiendo de diseño.

Finalmente se ensamblan las cuatro piezas con el programa para formar el bloque.

## 4.1 MODELADO DE LA PIEZA BASE

El bloque Quadror está formado por cuatro piezas en forma de L que se modelan en el módulo Mechanical Design, Part Design de Catia V5.

Primero se dibuja con la herramienta Sketch la “L”; las dimensiones de los lados y el ángulo de inclinación no es necesario que tengan las dimensiones definitivas, ya que posteriormente mediante la parametrización se modificarán estos valores ajustándolos a las dimensiones deseadas.

El parámetro clave es el lado más estrecho de los seis lados de la L, y la relación entre las dimensiones de lados se expuso en el capítulo 3.1.

Para crear parámetros en Catia V5 se selecciona el menú fórmula “f(x)” que aparece en la barra inferior de herramientas de la Figura 4.2 desplegándose la ventana de la Figura 4.3.

A continuación, se muestra como ejemplo la creación del parámetro  $\beta$ , el ángulo de inclinación entre caras:

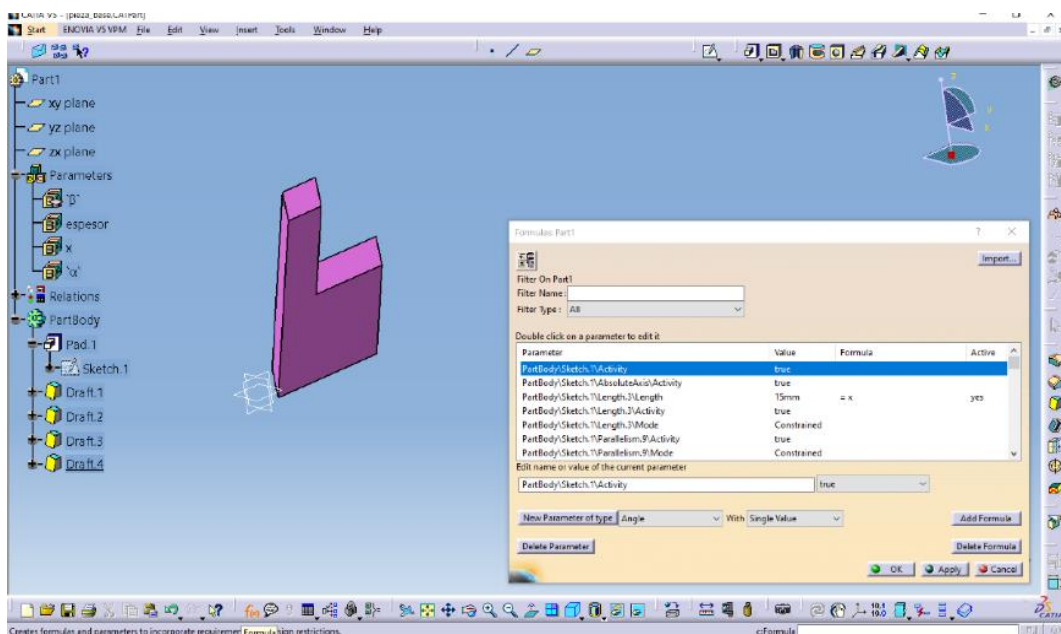


Figura 4.2 Creación de parámetros

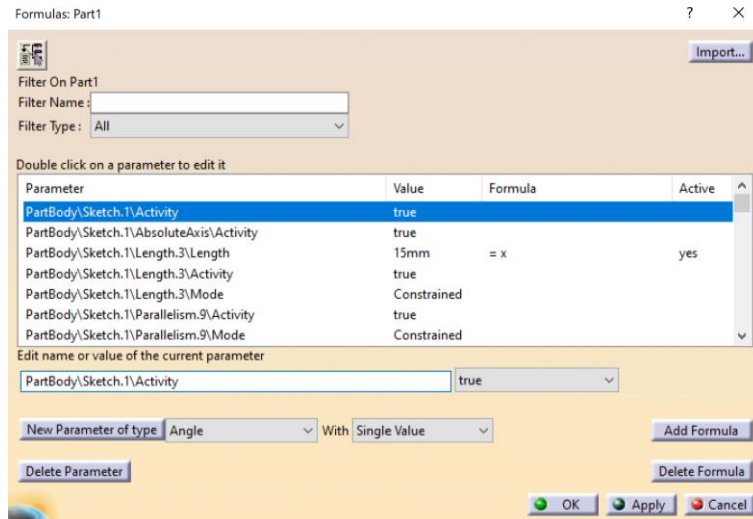


Figura 4.3 Menú fórmula

Se selecciona el tipo de parámetro y si tiene un único valor o valor múltiple. En el ejemplo expuesto, en el menú de la Figura 4.3 se ha seleccionado crear un parámetro tipo ángulo de un único valor, el ángulo  $\beta$ .

Pinchando en “New Parameter of type” aparece la ventana de la Figura 4.4.

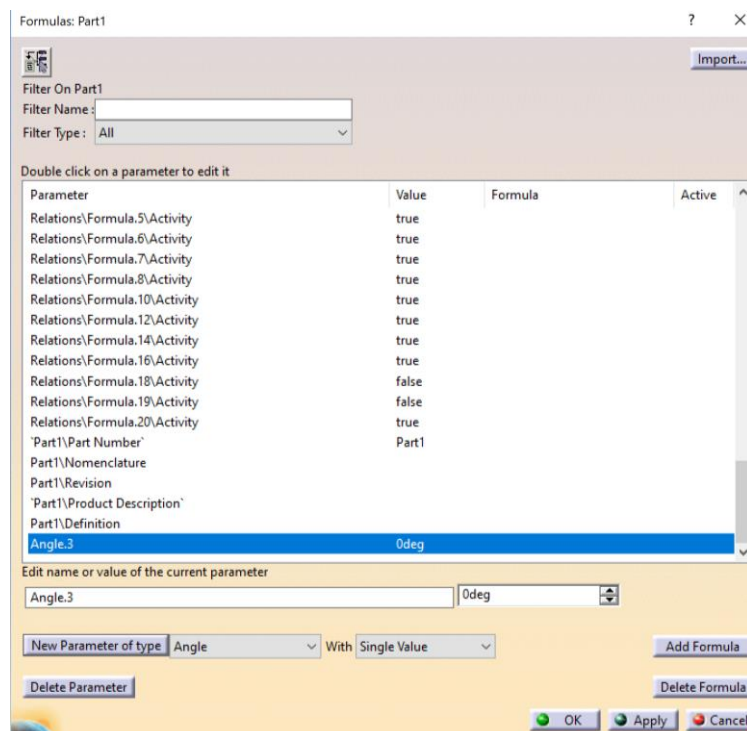


Figura 4.4 Menú nuevo parámetro

En esta ventana se da nombre al parámetro, un valor y se añade la fórmula que lo relaciona con otros parámetros si fuera necesario. En este ejemplo en el nombre se escribiría  $\beta$ , y se asignaría un valor de ángulo aleatorio, ya que cambiará al asignarle la fórmula correspondiente.

Para añadir la fórmula se selecciona “Add Formula” mostrando la ventana de la Figura 4.5. En la barra superior se añade la Ecuación 3 con los operadores del programa Catia V5. En este ejemplo:  $(\text{asin}((\text{sqrt}(2)*\cos(\alpha))/2))*2$

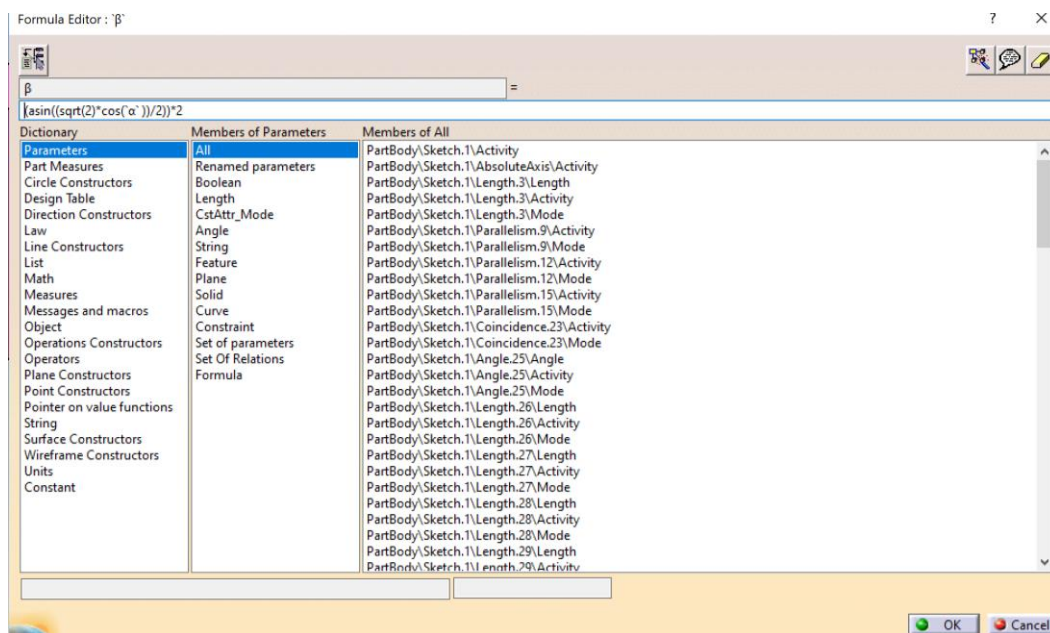


Figura 4.5 Añadir fórmula

Con estos pasos queda creado el parámetro  $\beta$ .

La pieza base como se explicó en el capítulo 3.1 queda definida completamente por cuatro parámetros:  $\beta$ ,  $\alpha$ , x y espesor. El parámetro  $\alpha$  se crea igual que el parámetro  $\beta$  sin añadirle ninguna fórmula, ya que se ha considerado un parámetro independiente. Se podría invertir y hacer el parámetro  $\beta$  independiente y añadir la Ecuación 3 en el parámetro  $\alpha$  despejando este valor.

Los parámetros x y espesor se crean sin añadir fórmulas e indicando que son de tipo longitud de valor único.

En el caso particular mencionado en el capítulo 3.3, se considera el parámetro espesor dependiente del parámetro  $\alpha$ . Para parametrizarlo, se le asigna la fórmula:  $2*x*\sin(\alpha)$  en el editor de fórmulas. Como muestra la Figura 4.6.

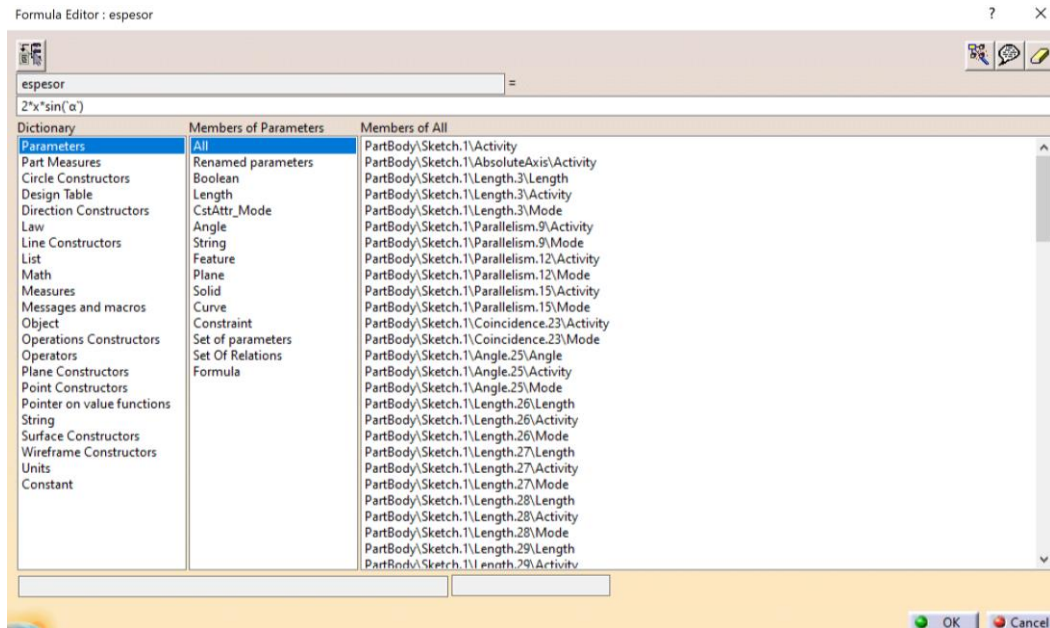


Figura 4.6 Parámetro espesor

La Figura 4.7 muestra todos estos parámetros con sus respectivos valores.

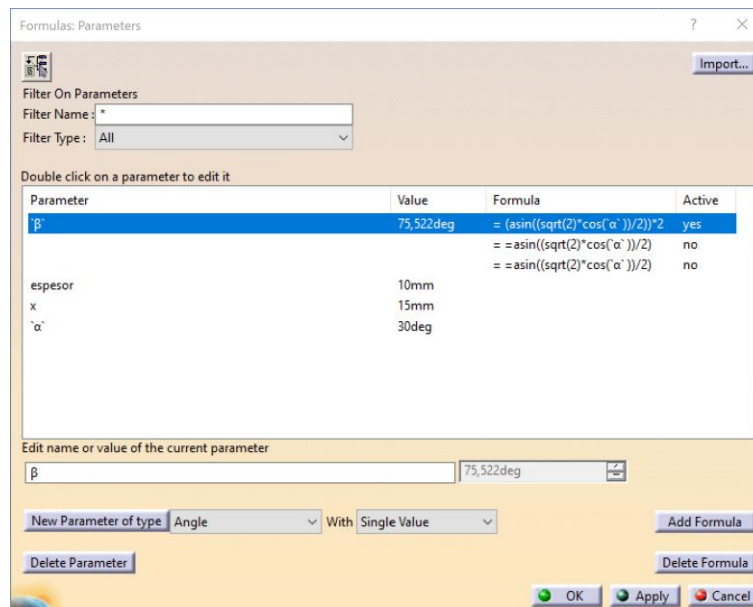


Figura 4.7 Parámetros de la pieza

Para cambiar el valor de los parámetros basta con hacer doble click en el parámetro deseado en el árbol de operaciones de Catia (Figura 4.8).

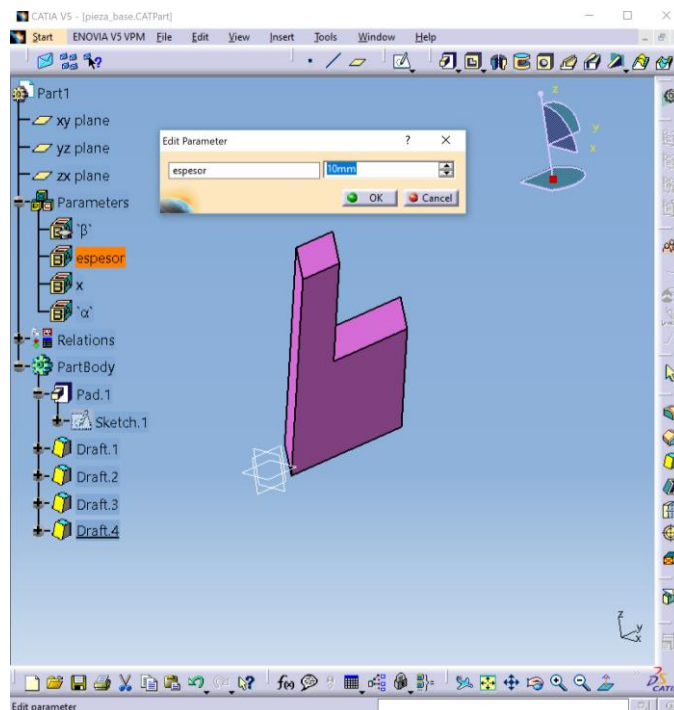


Figura 4.8 Cambiar el valor de los parámetros

La relación entre parámetros se puede visualizar haciendo doble click en el árbol en la opción “Relations” (Figura 4.9).

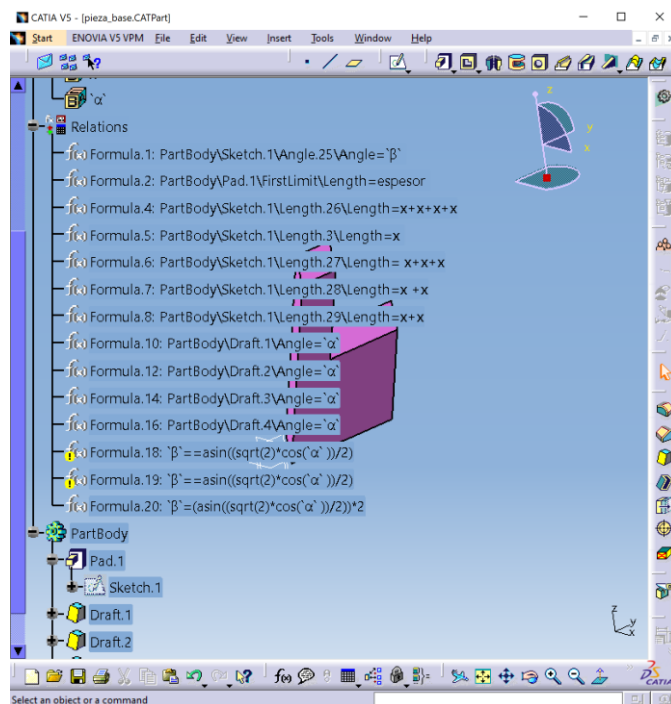


Figura 4.9 Relación entre parámetros



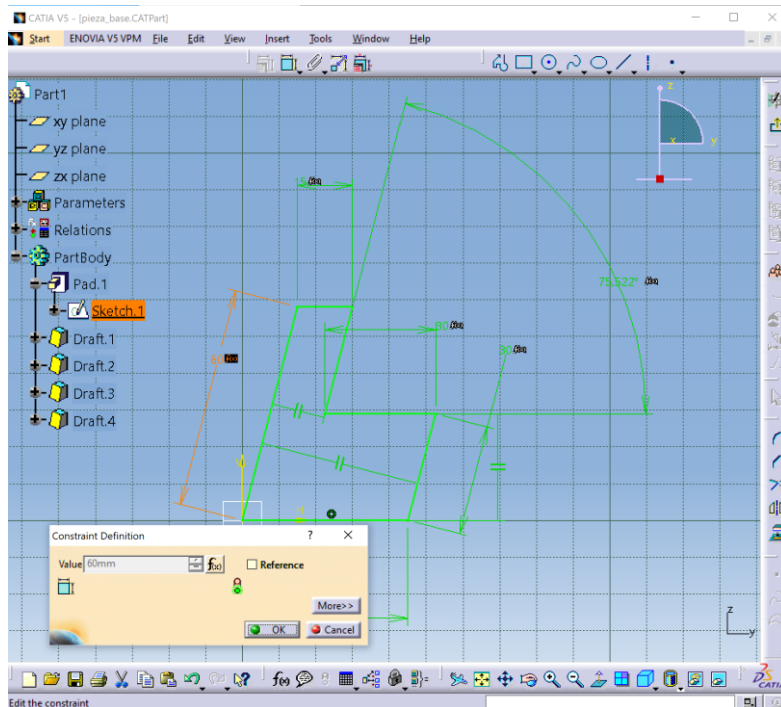


Figura 4.11 Selección de lados

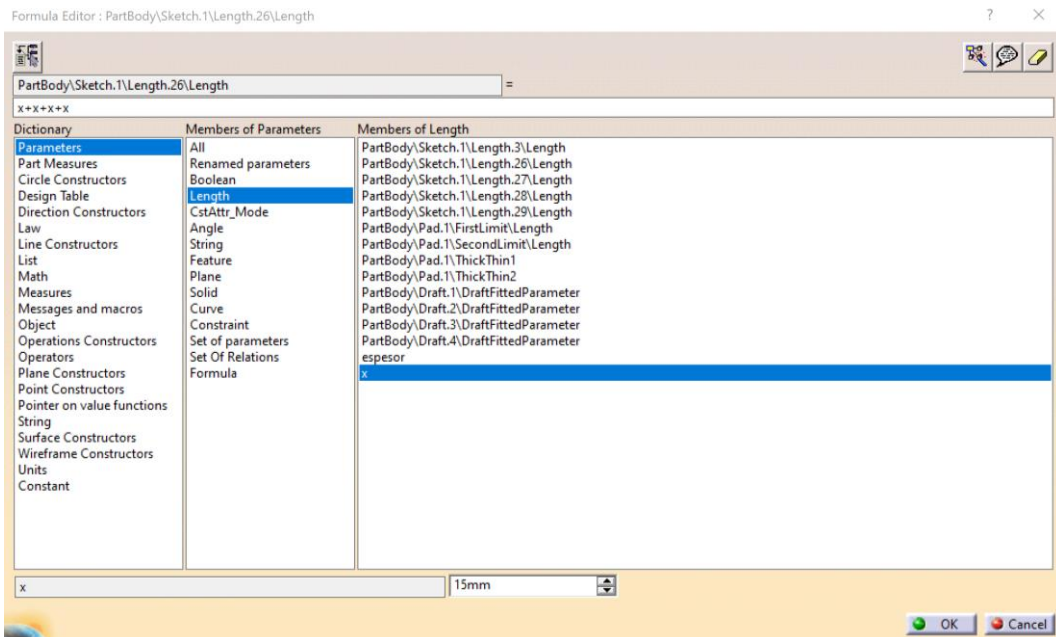


Figura 4.12 Parametrización de lados

En la ventana de la Figura 4.12 se puede observar en la barra superior que este lado es  $x+x+x+x$ , es decir, 4 veces el lado  $x$ . En la columna "Dictionary" se selecciona "Parameters", en "Members of parameters" se elige "Length", porque la medida buscada es una longitud, y en "Members of Length" seleccionamos el lado  $x$ . Las  $x$  se



relacionan con los operadores, en este caso se ha sumado, el mismo resultado se obtendría multiplicando el lado  $x$  por 4 ( $x \cdot 4$ ).

En la barra inferior se muestra la medida seleccionada,  $x=15$ , por lo que el lado largo será  $15+15+15+15 = 60$  mm.

En el sketch hay que asignar el parámetro al ángulo entre caras, para ello, en el valor del ángulo se seleccionan el parámetro  $\beta$ .

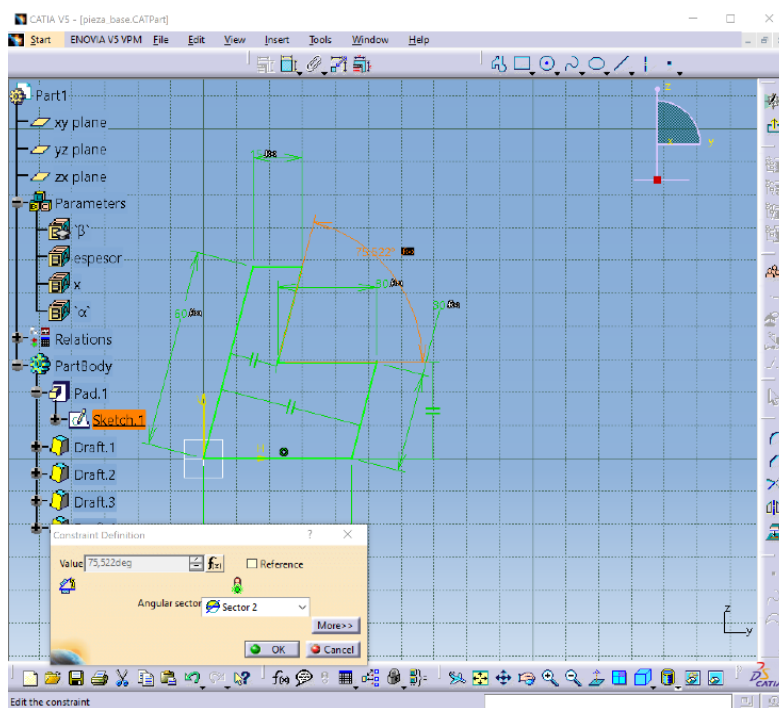


Figura 4.13 Ángulo entre caras

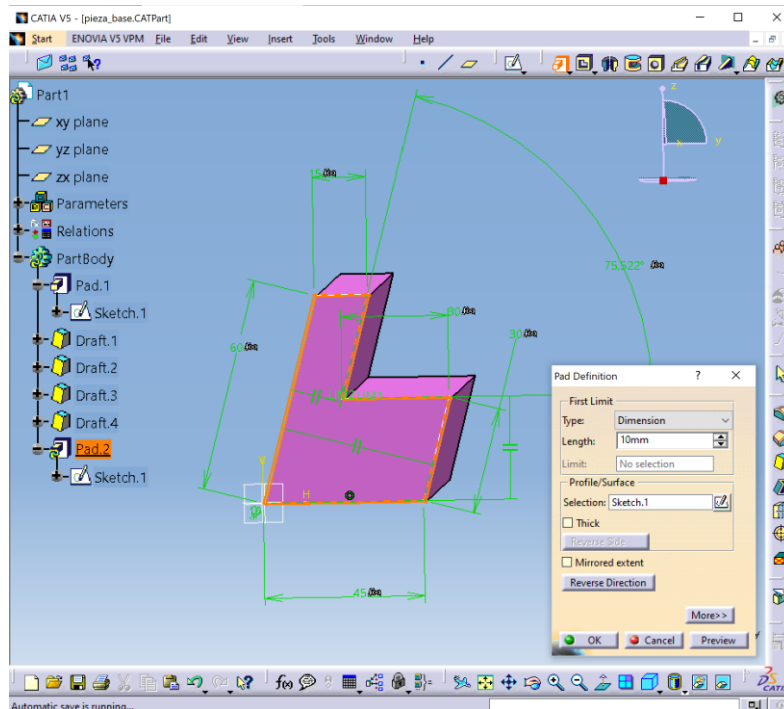


Figura 4.14 Extrusión de la pieza

Se extruye el Sketch con la herramienta “Pad Definition” (Figura 4.14) y al valor de esta operación se le asigna el parámetro espesor, para poder modificarlo desde el menú parámetros del árbol de operaciones de Catia V5.

Los chaflanes se hacen con la operación “Draft” desde cada uno de los lados paralelos de la pieza, se abre la ventana de la Figura 4.15.

Como se ve en la Figura 4.15, se seleccionan las superficies a achaflanar en la barra “Face(s) to draft” y la superficie de referencia desde se originará el chaflán en “Neutral Element”. Las superficies por achaflanar aparecen en color naranja, las líneas del plano de referencia donde nace el chaflán en color rosa y la flecha naranja indica el sentido del chaflán.

La barra para seleccionar el ángulo aparece en gris porque se le ha pasado un parámetro, el ángulo  $\alpha$  y hay que modificarlo desde el menú de parámetros.

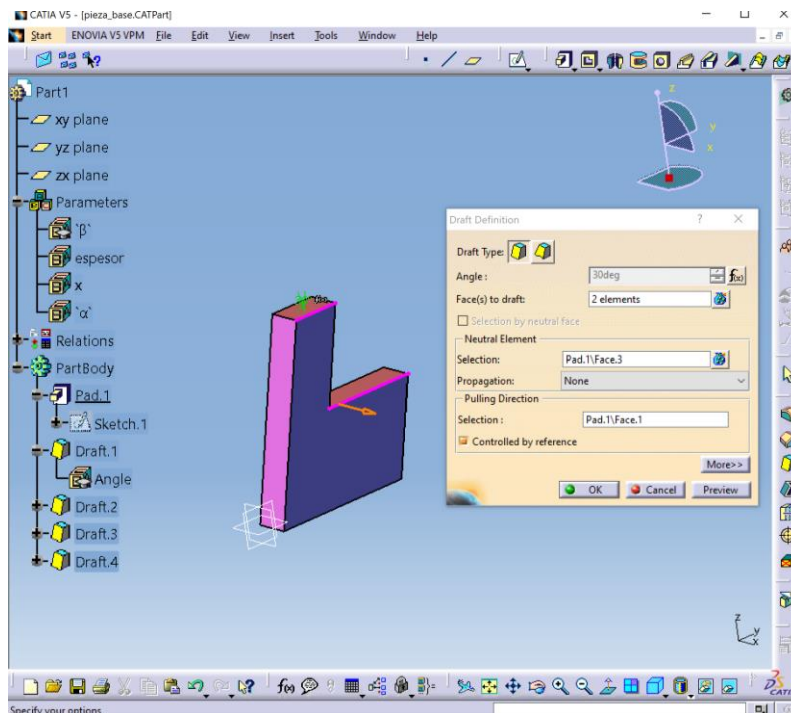


Figura 4.15 Creación de chaflanes

A continuación, se muestra cuatro bloques con sus parámetros correspondientes:

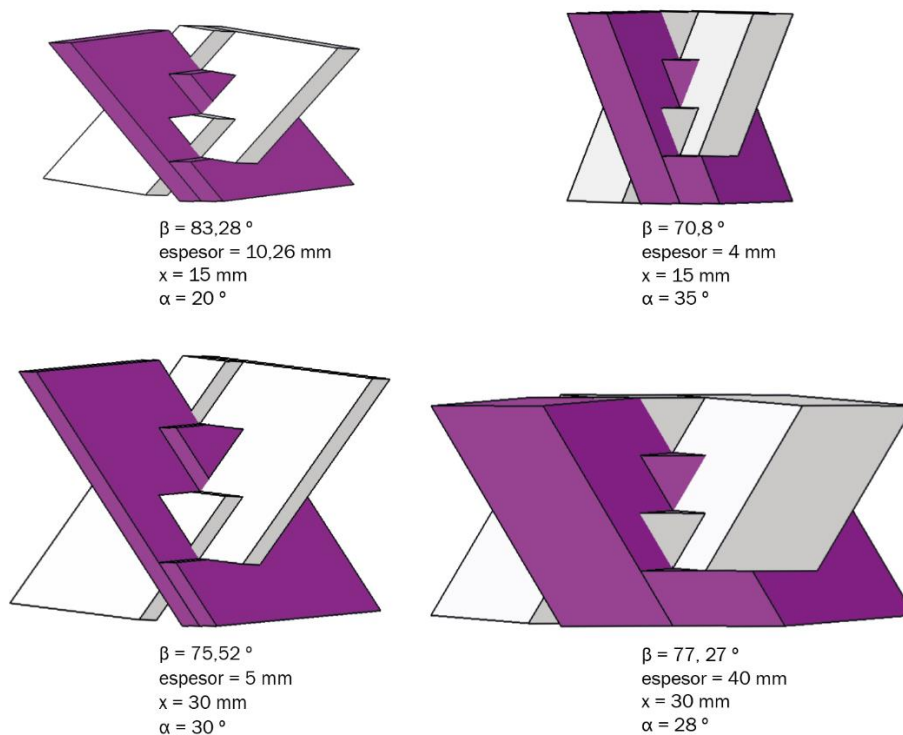


Figura 4.16 Ejemplos de configuraciones

## 4.2 ENSAMBLAJE DE PIEZAS

La pieza modelada anteriormente se une a otras tres piezas iguales para formar el bloque Quadror. Se unen en el software Catia V5 en el módulo de Mechanical Design, Assembly Design.

Las piezas se añaden desde el menú “Tools”, “Existing component” y se selecciona el documento de la piza a añadir (Figura 4.17).

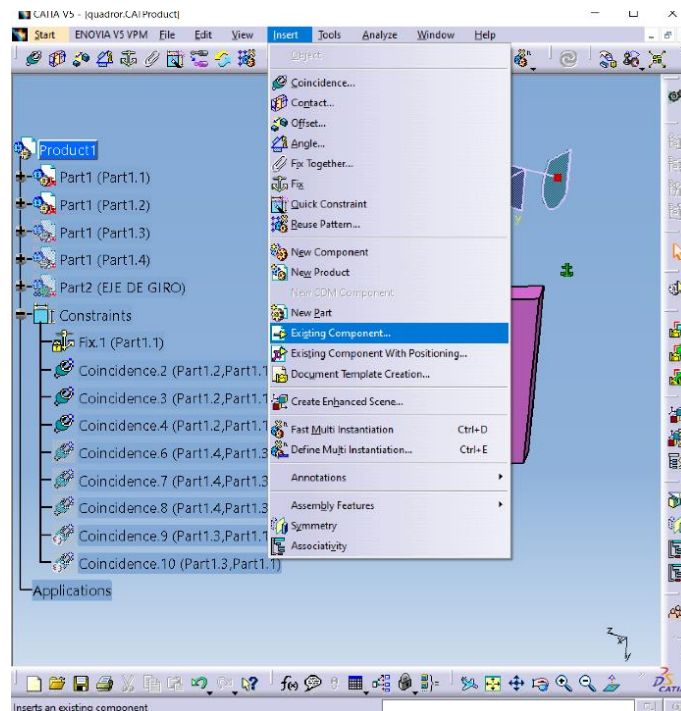


Figura 4.17 Insertar pieza

Una vez insertada la pieza hay que fijarla con la herramienta “Fix” (Figura 4.18).

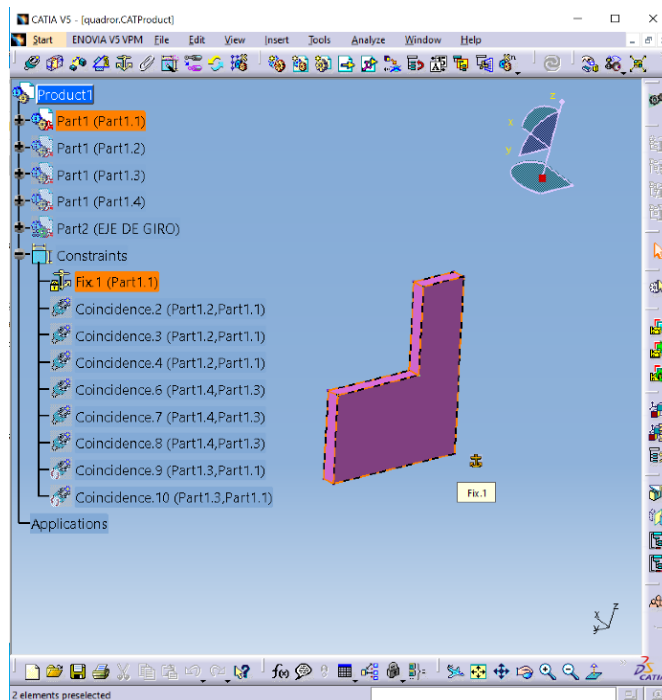


Figura 4.18 Bloquear pieza

Las piezas se unen dos a dos, mediante constraints como se muestra en la Figura 4.19. Se añaden restricciones de coincidencia entre planos; entre los planos laterales de ambas piezas y el plano medio entre las piezas.

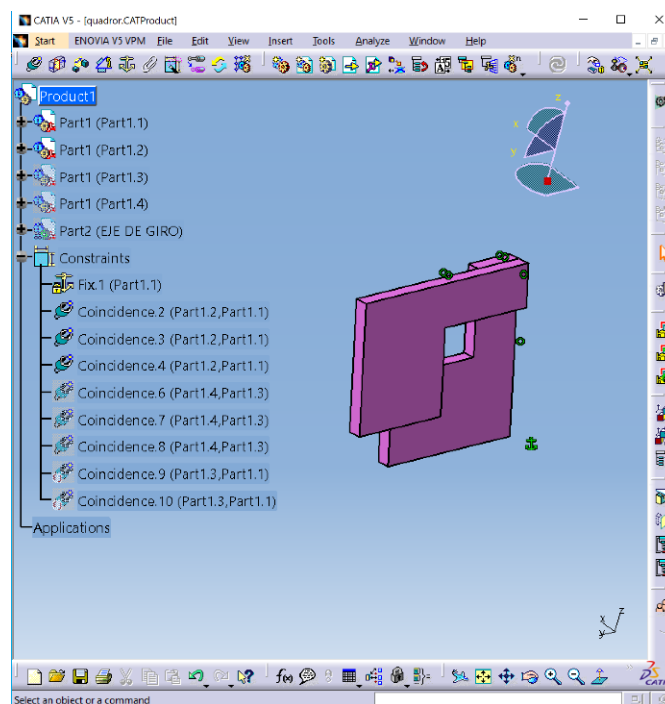


Figura 4.19 Unión de dos piezas

Se unen las otras dos piezas de la misma manera formando el bloque de 4 de la Figura 4.20

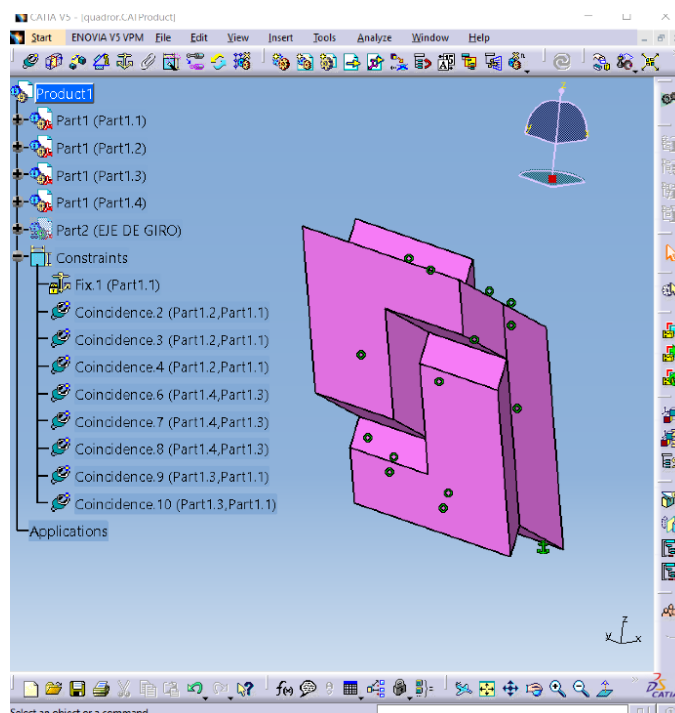


Figura 4.20 Unión de 4 piezas

Para permitir el giro entre piezas es necesario determinar el eje de giro entre cada conjunto de dos piezas. El eje de giro es una línea sobre el plano medio entre las piezas. Va desde el punto de unión entre ambas piezas; de la esquina superior izquierda a la esquina inferior derecha como muestra la Figura 4.21.

La diagonal del eje de giro tiene que unir los lados estrechos de la “L” de las piezas; la otra diagonal del bloque no permite el giro entre piezas.

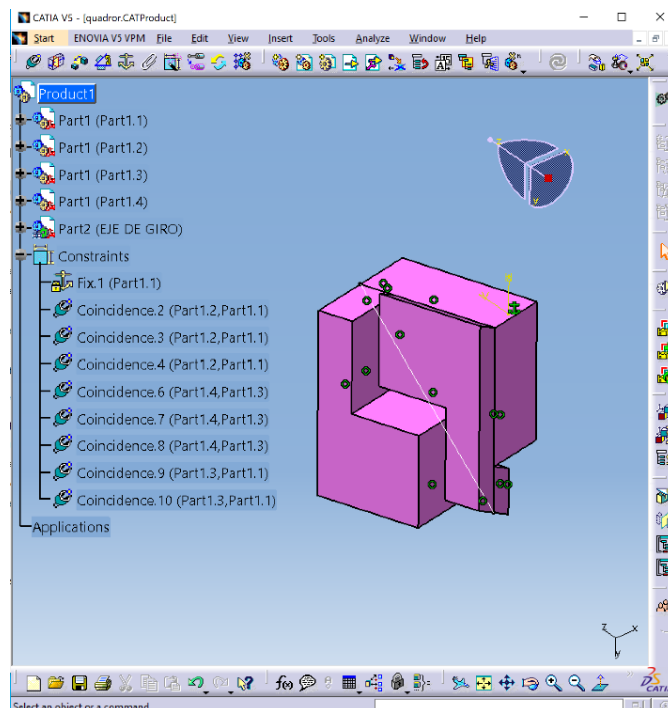


Figura 4.21 Eje de giro

Con el menú “Move” se puede abrir el bloque utilizando el eje de giro mencionado anteriormente hasta que un par de piezas unidas se apoyan sobre la superficie achaflanada del par contrario (Figura 4.22).

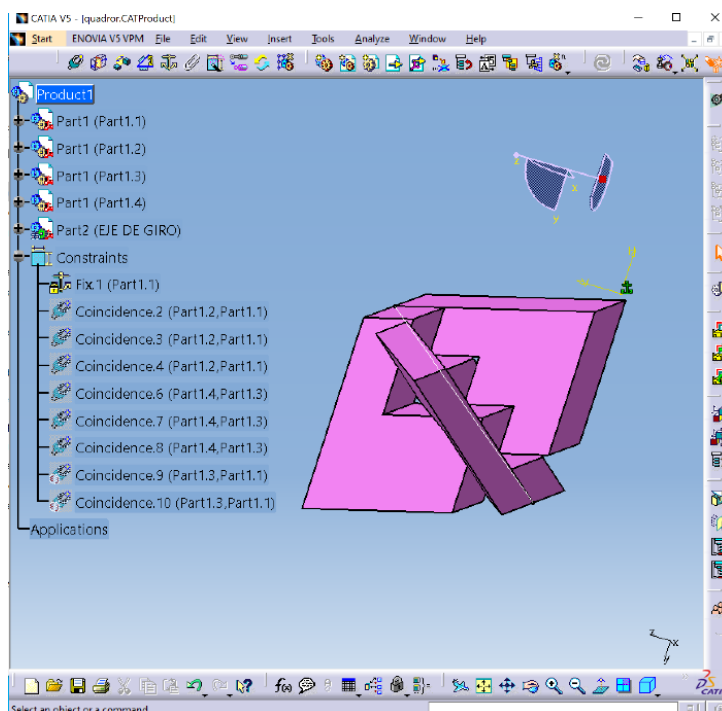
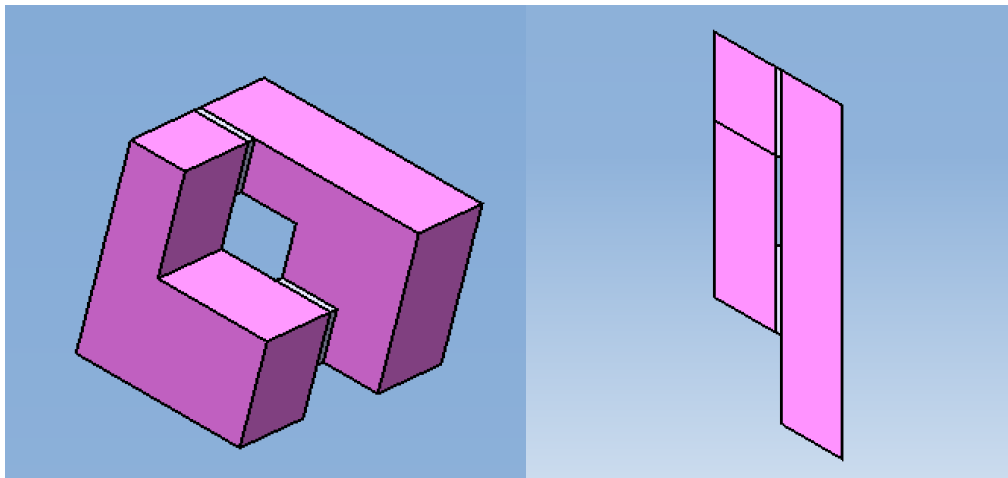


Figura 4.22 Bloque abierto

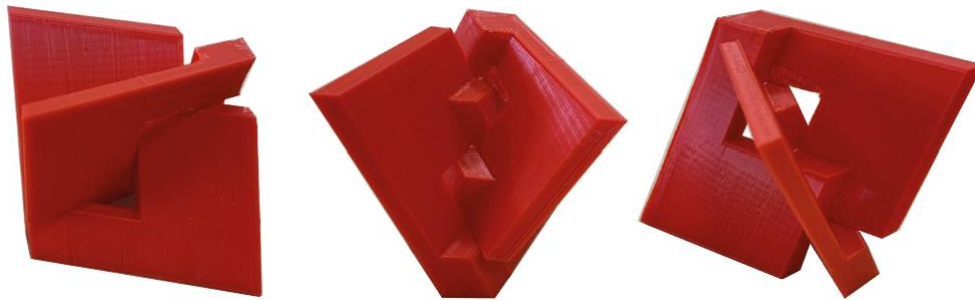
### 4.3 MODELADO DEL BLOQUE PARA IMPRESIÓN

Hay un caso particular de modelado en Catia V5 para imprimir el bloque Quadror con una impresora de extrusión FDM.

Para poder imprimir las dos piezas unidas que forman el bloque, es necesario dar en el modelado una holgura a la zona común de ambas piezas de al menos 1mm (Figura 4.23); de esta manera evitamos que se peguen entre sí.



*Figura 4.23 Modelado para imprimir*



*Figura 4.24 Piezas impresas*



## 5 UNIONES

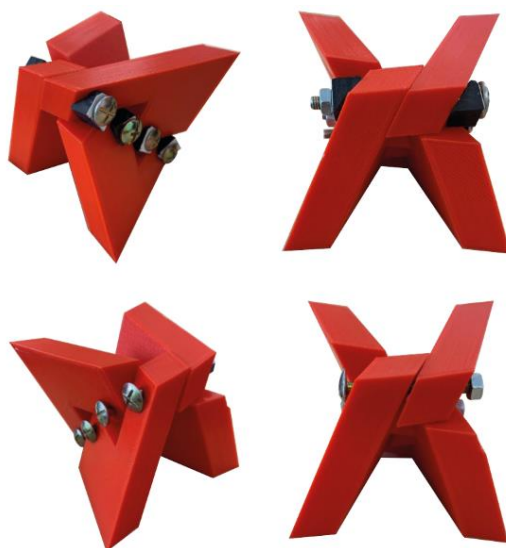
En este capítulo se explican los distintos tipos de uniones entre piezas y bloques; tratando primero la unión entre las piezas de cada bloque y luego, entre varios bloques.

### 5.1 UNIÓN DE LAS PIEZAS DE UN MISMO BLOQUE

Cada bloque está formado por cuatro piezas iguales unidas dos a dos como se muestra en la Figura 3.7. Entre cada par de piezas hay dos superficies de contacto distintas como se puede observar en la Figura 3.6. La unión entre cada par de piezas tiene que hacerse en esa superficie de contacto. Dependiendo del material y las dimensiones se puede emplear uno u otro tipo de unión. Algunas de las posibles uniones son:

- Adhesivo, una unión fija entre las superficies de contacto, la correcta elección de este depende de los materiales de las piezas.
- Unión mecánica: se pueden utilizar distintos tipos de uniones mecánicas. A continuación, se proponen varios tipos de uniones mecánicas y sus limitaciones.

La primera propuesta de unión mecánica es un tipo de unión aplicable a la mayoría de los materiales y dimensiones. Consiste en una unión roscada formada tornillos o varillas roscadas con tuercas y cuñas.



*Figura 5.1 Prototipos de uniones roscadas*

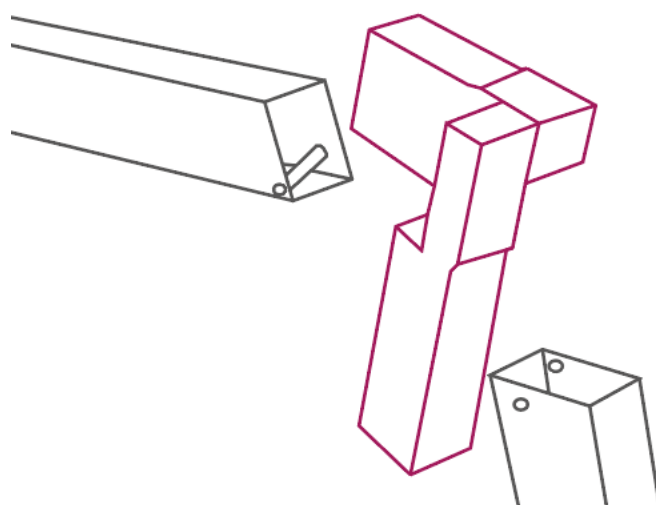
La Figura 5.1. muestra 2 prototipos de piezas ensambladas con uniones roscadas; en la parte superior con cuñas y en la inferior sin ellas. Como se puede observar las cuñas son necesarias para que las cabezas de los tornillos y las tuercas se apoyen sobre un plano perpendicular al eje roscado, siendo una unión rígida y estable. Si no se emplean cuñas, no hay una buena unión entre piezas, como se puede ver en el bloque de la parte inferior de la Figura 5.1.

Esta unión se puede realizar tanto con un tornillo y una tuerca, o con una varilla roscada y dos tuercas, una en cada cara.

El ángulo de cada cuña es igual a la mitad del ángulo de apertura del bloque, es decir,  $\alpha$ .

Aparentemente, este tipo de unión podría simplificarse realizando los taladros de unión perpendiculares a las caras laterales de las piezas, pero, las piezas dejarían de ser iguales. Al superponer las piezas girándolas, los taladros tendrían distintas direcciones. En vez de cuatro piezas iguales, se necesitarían dos pares de piezas iguales.

La segunda propuesta de unión mecánica es aplicable en caso de que el bloque esté construido con perfiles. Consiste en añadir en las esquinas de unión entre cada par de piezas una estructura interior (Figura 5.2) o un armazón exterior que sirva como unión.



*Figura 5.2 Unión de perfiles*

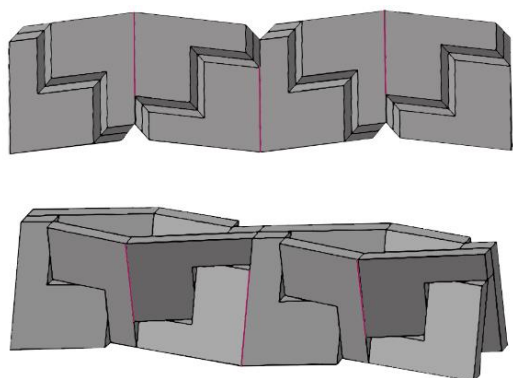
La última propuesta de unión es un pasador con apriete en cada agujero de unión, esta unión, al no tener tornillos con cabeza o tuercas, no aparece el problema de la primera propuesta. Sin embargo, no se puede utilizar para gran variedad de materiales y dimensiones.

## 5.2 UNIÓN ENTRE BLOQUES

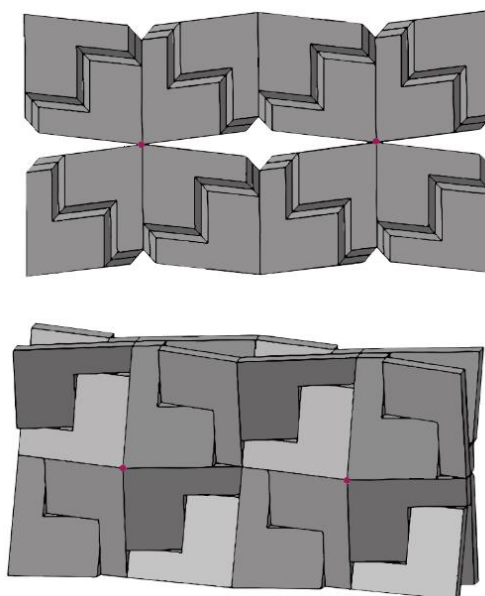
La unión entre distintos bloques se puede hacer forma aislada uniendo cada bloque al deseado o mediante la unión de filas o columnas.

Agrupar los bloques por filas o columnas permite plegarlos conjuntamente, lo que supone una gran ventaja a la hora de transportar e instalar estructuras temporales, como puede ser un stand de feria o un suelo técnico.

La unión de estos bloques tiene que realizarse por las líneas situadas en las caras exteriores de los bloques; las indicadas en color rosa en la Figura 5.3. Estas líneas son las únicas que se mantienen en contacto cuando los bloques están cerrados y abiertos. La unión por una línea se puede resolver con una bisagra, como en el prototipo de la Figura 5.5. La bisagra puede colocarse en las caras exteriores o en las interiores mecanizando una cajera, para que al plegar la fila no interfieran unas bisagras con otras.



*Figura 5.3 Dos filas abiertas y cerradas*



*Figura 5.4 Fila abierta y cerrada*

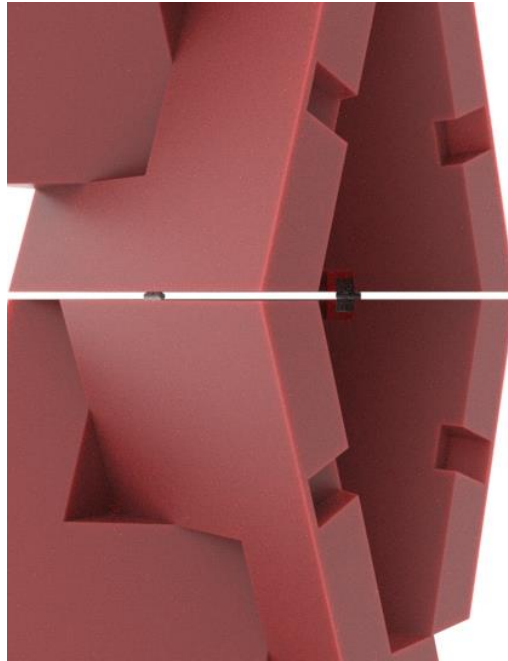


*Figura 5.5 Prototipo con bisagras*

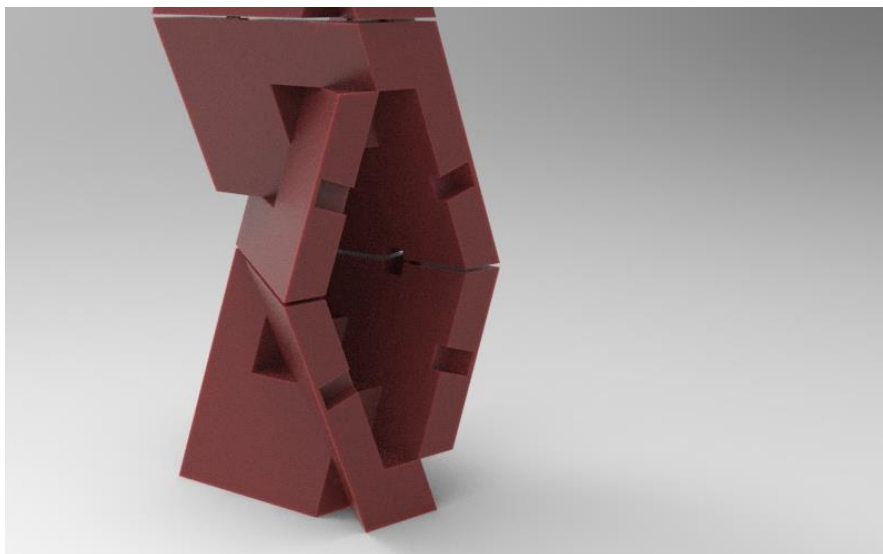
Una posible adaptación para integrar las bisagras en el diseño es mecanizar una cajera en las caras interiores como se muestra en la Figura 5.6 y la Figura 5.7.

Esta solución permite fabricar cuatro piezas iguales (Figura 5.8), ya que, realizando los huecos en la misma cara, estos siempre quedan en el interior.

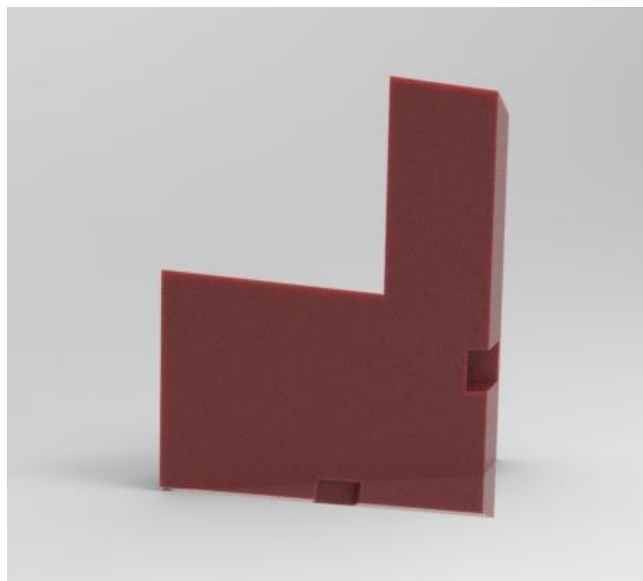
El tamaño de los mecanizados dependerá del tamaño y el material de la pieza, así como de las bisagras que se pretendan instalar.



*Figura 5.6 Unión con bisagras ocultas 1*



*Figura 5.7 Unión con bisagras ocultas 2*

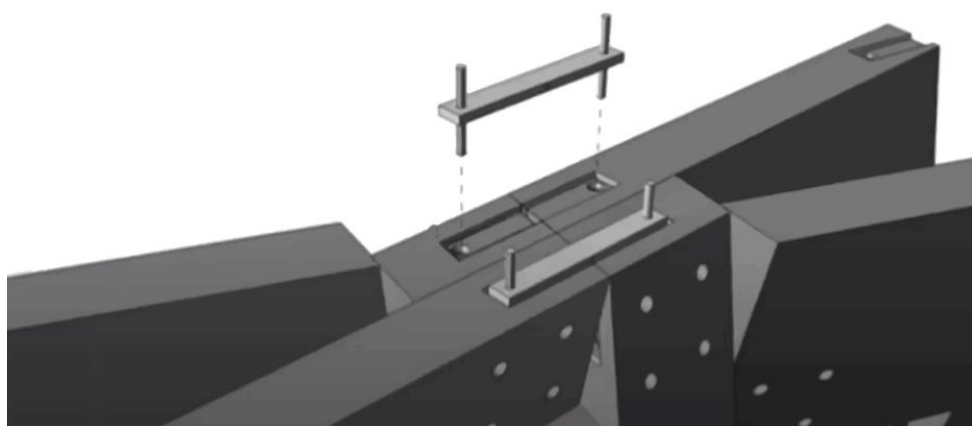


*Figura 5.8 Pieza con cajeras*

Varias filas o columnas unidas no se pueden plegar conjuntamente, ya que, al plegarlas, la única zona común donde poder insertar una unión son puntos compartidos entre 4 piezas de cuatro bloques distintos (Figura 10.4).

Una propuesta de unión entre filas es la que se muestra en la Figura 5.9. Dos pasadores con una placa en su plano medio. Cada pasador une dos piezas, una pieza inferior con su superior y la placa une los bloques contiguos. Quedando unidas las cuatro piezas.

Para poder realizar esta unión, las piezas tienen que tener en sus esquinas una cajera de la mitad de la longitud de la placa, con el ángulo adecuado para que, al desplegar los bloques, la cajera coincida con su contigua.



*Figura 5.9 Unión mecánica entre filas*

## 6 MODIFICACIONES ADICIONALES

Las numerosas ventajas de esta construcción permiten múltiples posibilidades. Además de las explotadas por su diseñador, Dror Benshetrit, en este Trabajo de Fin de Grado se exponen nuevas propuestas.

### 6.1 ALIGERAMIENTOS

El forjado sanitario es una estructura de construcción que se eleva respecto al suelo, mínimo unos 50 cm, y su función principal es evitar las humedades a través del suelo. Esto se consigue elevando el suelo, formando una cámara de aire entre el edificio y el terreno. Para un correcto funcionamiento y evitar condensaciones en la cara inferior del forjado debe estar convenientemente ventilada, para reducir la presión de vapor en invierno y evitar que se produzcan condensaciones que pudieran generar agua líquida y facilitar el deterioro de las construcciones.

Se diferenciarán dos tipos de construcción, la solera ventilada y el ya nombrado forjado sanitario. Habitualmente estos dos conceptos se confunden entre sí, pero tienen sus diferencias. El aspecto más distintivo es la materialidad. Por un lado, el forjado sanitario está formado por una estructura de hormigón, lo que supone una combinación entre hormigón (arena, cemento y grava) con ferralla en su interior (barras corrugadas y zunchos de hierro). Y, por otro lado, la solera ventilada está formada por una base de mortero de cemento y una malla electrosoldada. Otro aspecto distintivo es la forma en que trabaja cada uno de ellos. Los forjados redistribuyen las cargas a los cimientos, así que estructuralmente son más resistentes y capaces para soportar un mayor peso. Sin embargo, esto hace que sean más pesados que las soleras. [3]

En ambos métodos se emplean módulos para su construcción como el de la Figura 6.1.



*Figura 6.1 Módulo de construcción*



*Figura 6.2 Forjado sanitario*

Las propiedades del bloque Quadror como: su capacidad de carga, estabilidad, modularidad y adaptaciones geométricas. Permitiría utilizar este bloque como módulo para forjados sanitarios y soleras ventiladas.

Se podrían utilizar los bloques Quadror por las siguientes razones:

- Se pueden apilar de la misma manera que los módulos del forjado sanitario de la Figura 6.2.
- En su interior dejan cavidades para la ventilación.
- Al haber parametrizado toda la geometría del bloque se puede elegir fácilmente los parámetros del bloque para elevar el suelo la altura deseada.
- Tienen gran capacidad de carga.



## 6.2 SUELO TÉCNICO

Los suelos técnicos son un tipo de pavimento que se eleva respecto al suelo original dejando en su interior una cámara. Se conoce también como suelo elevado.

Su gran ventaja es que se coloca en seco. También refuerza el aislamiento acústico y térmico, permite unificar o crear niveles y permite ocultar redes de saneamiento.



*Figura 6.3 Suelo Técnico*



*Figura 6.4 Suelo técnico Quadror*



*Figura 6.5 Suelo técnico con bloques Quadror aligerados*

## 6.3 JARDINERAS

Aprovechando las propiedades acústicas del módulo Quadror se plantea el diseño de unas jardineras para las medianas y laterales de las carreteras. En esta aplicación se utilizaría el caso especial mencionado en el capítulo 3.3. Donde el bloque puede actuar como contenedor.

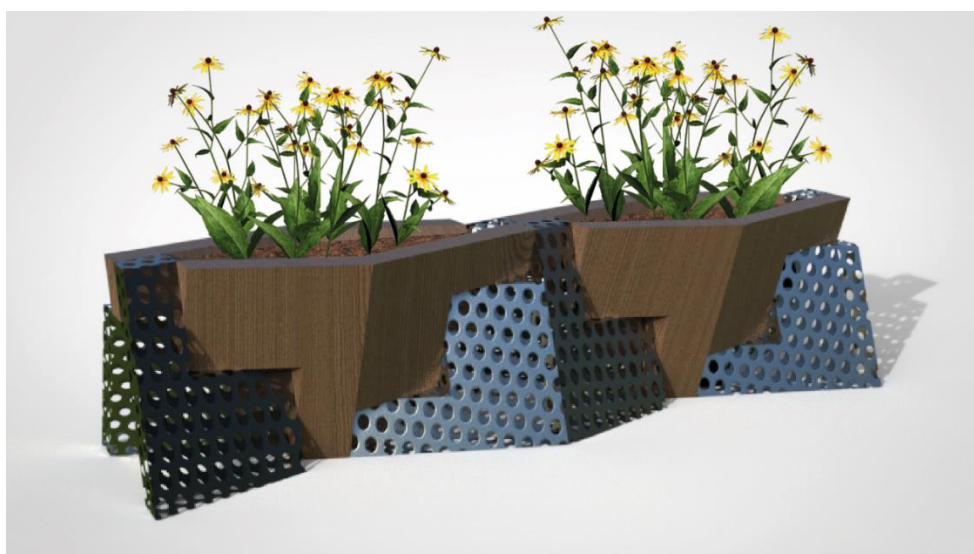


*Figura 6.6 Barrera acústica vegetal del Paseo de Hospital Militar de Valladolid*

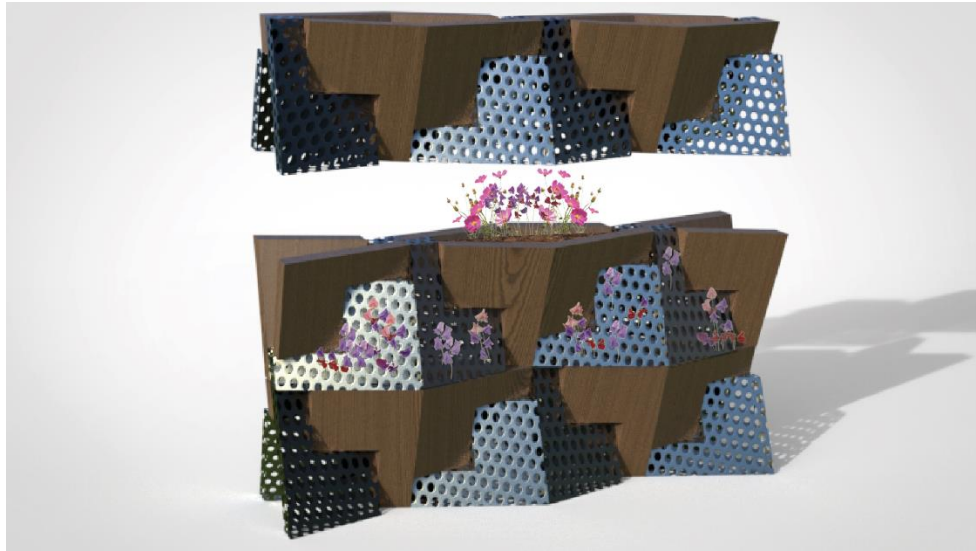


*Figura 6.7 Propuesta de mediana con bloques Quadror*

La propuesta de diseño para una jardinera es la que se muestra en la Figura 6.8 y la Figura 6.9. Consiste en un muro construido con bloques Quadror de dos materiales distintos; los bloques contenedores de tierra fabricados en madera y los bloques que se apoyan sobre los anteriores, hechos con una rejilla metálica de acero inoxidable. Por la rejilla pueden salir las flores plantadas en la tierra de su contenedor inferior, formando así, las medianas vegetales. También se podría utilizar de jardinera independiente formada por una sola fila de bloques Quadror (Figura 6.8).



*Figura 6.8 Propuesta jardinera con bloque Quadror*



*Figura 6.9 Propuesta jardinera con bloque Quadror despiece*

## 7 VENTAJAS

En este capítulo se tratará de cuantificar algunas de las ventajas del módulo Quadror comentadas anteriormente.

El bloque Quadror en sus diferentes aplicaciones tiene las siguientes ventajas generales:

- Se basa en un concepto geométrico simple que permite numerosas iniciativas de diseño en diversos sectores, como arquitectura e ingeniería.
- Reducción significativa del tiempo de construcción.
- Bajo costo de construcción, debido a la simplificación de procesos; cada bloque está construido por 4 piezas iguales.
- Facilidad de diseño y montaje debido a que son piezas muy sencillas que unidas generan un objeto más complejo.
- Facilidad de transporte, debido a la capacidad de plegarse, lo que supone un ahorro de tiempo y volumen.
- Gran estabilidad y capacidad de carga.
- Propiedades acústicas.

### 7.1 REDUCCIÓN DE VOLUMEN

La reducción de volumen es una de las principales ventajas del módulo Quadror, facilitando el transporte y almacenamiento.

Este capítulo muestra la relación de volúmenes entre un mismo bloque abierto y cerrado.

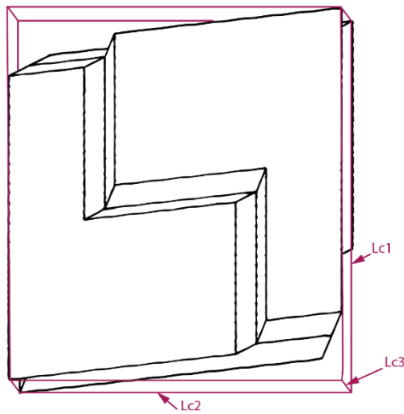


Figura 7.1 Volumen bloque cerrado

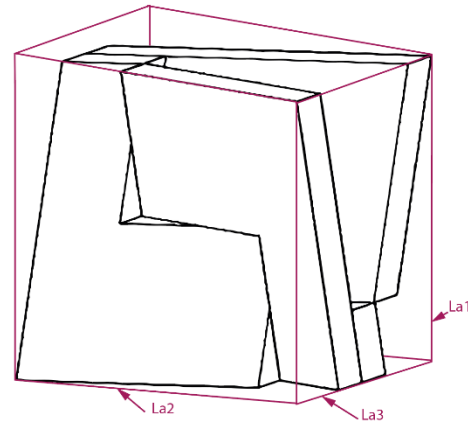


Figura 7.2 Volumen bloque abierto

La Figura 7.1 y Figura 7.14.2 muestran el paralelepípedo en el que se puede contener el mismo bloque cerrado y abierto. Se ha seleccionado el volumen en paralelepípedos por cuestiones de logística y transporte.

Las dimensiones de los paralelepípedos cerrado y abierto son respectivamente  $Lc1$ ,  $Lc2$ ,  $Lc3$  y  $La1$ ,  $La2$  y  $La3$  como se muestra en la Figura 7.1 y Figura 7.14.2.

Las dimensiones del bloque se pueden relacionar con los parámetros conocidos y mencionados en capítulos anteriores ( $x$ ,  $\alpha$  y espesor).

Observando la Figura 7.14.2. se aprecia que  $La1$  es igual a  $La2$ , siendo la vista de la pieza por dichos planos la Figura 7.3 en distintas disposiciones. De la Figura 7.3 se deduce mediante trigonometría  $La1$  y  $La2$ .

A la derecha está dibujado un esquema del triángulo rectángulo, donde: el cateto  $b$  es  $La1$  y  $La2$ , la hipotenusa es  $4x$  y  $a$  se relaciona con  $x$  y  $\alpha$  mediante la Ecuación 5 y la Ecuación 6.

$$a = \sin \alpha \cdot 4x$$

*Ecuación 5*

$$b = \cos \alpha \cdot 4x$$

*Ecuación 6*

Entonces,  $La3$  es 2 veces 'a' + 2 veces el espesor, se aprecia en la Figura 7.3.

Los parámetros que definen el paralelepípedo del bloque abierto se relacionan de la siguiente manera:

- $La3 = 2a + 2e \rightarrow La3 = 2 \cdot (\sin \alpha \cdot 4x) + 2 \cdot e$
- $La1 = b \rightarrow La1 = \cos \alpha \cdot 4x$
- $La2 = La1$

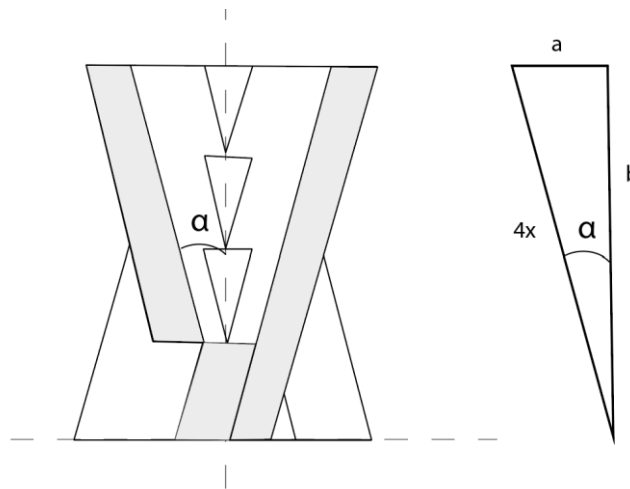


Figura 7.3 Perfil bloque abierto

La Figura 7.4 muestra la vista de perfil del bloque cerrado. Siguiendo el mismo procedimiento que en el bloque abierto, se puede deducir las dimensiones  $Lc1$ ,  $Lc2$  Y  $Lc3$  (Figura 7.1) relacionándolas con los parámetros conocidos.

$Lc1$  y  $Lc2$  son iguales.  $Lc1$  es valor del lado largo de cada pieza más el saliente de la pieza opuesta, es decir,  $4x + 2m$ .

El valor de 'm' se relaciona con los parámetros conocidos mediante trigonometría con la Ecuación 7.

$$m = \tan \alpha \cdot e$$

Ecuación 7

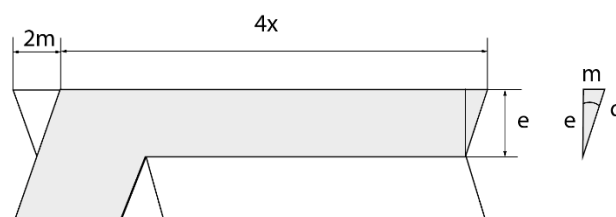


Figura 7.4 Perfil bloque cerrado

El paralelepípedo del bloque cerrado queda definido y relacionado mediante las siguientes ecuaciones:

- $Lc3 = 2e$
- $Lc1 = 4x + 2m \rightarrow Lc1 = 4x + 2 \cdot (\tan \alpha \cdot e)$
- $Lc2 = Lc1$

Para un bloque de espesor = 154.5 mm, 'x' = 250 mm y  $\alpha = 18^\circ$  se obtienen los valores de la Tabla 1.

La3	927.034 mm
La1	951.057 mm
La2	951.057 mm
Lc3	309.000 mm
Lc1	1100.400 mm
Lc2	1100.400mm
Volumen bloque abierto	$838510120 \text{ mm}^3 \rightarrow 0.839 \text{ m}^3$
Volumen bloque cerrado	$374162096 \text{ mm}^3 \rightarrow 0.374 \text{ m}^3$

*Tabla 1: Ejemplo de valores relacionando volúmenes*

En este ejemplo, el ratio entre el volumen del bloque abierto y cerrado es 2, 24, es decir, el volumen del paralelepípedo del bloque plegado es menos de la mitad que abierto.

Fijando los valores del espesor y de 'x' y variando  $\alpha$  de  $10^\circ$  a  $50^\circ$ , se obtienen los volúmenes de paralelepípedos de bloques abiertos (VOL A) y bloques cerrados (VOL C) de la Figura 7.5. En el eje horizontal de la gráfica se muestra los distintos ángulos  $\alpha$  en grados. En el eje secundarios verticales de la izquierda se muestra el volumen en  $\text{m}^3$  de los bloques plegados y abiertos y en el eje secundario vertical de la derecha, el ratio entre los bloque abiertos y cerrados.

En la Figura 7.5 se observa que el volumen del paralelepípedo del bloque cerrado es considerablemente inferior al abierto. Sin embargo, la diferencia se reduce a mayor ángulo  $\alpha$ . A partir de valores de  $40^\circ$  para  $\alpha$  no tiene mucho sentido utilizar esta estructura porque se reduce mucho la superficie de apoyo entre piezas.



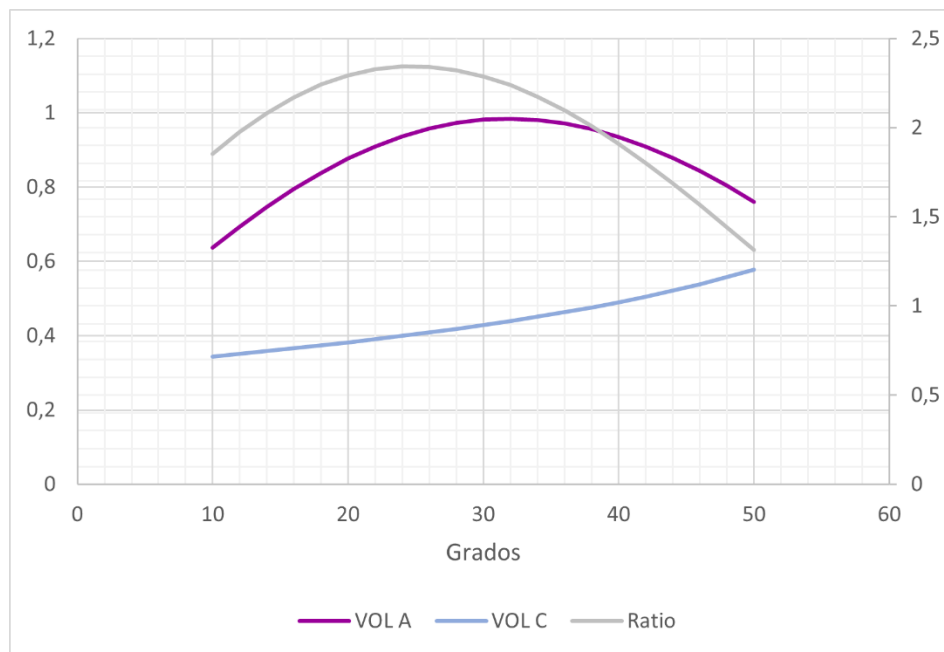


Figura 7.5 Relación de volúmenes

A continuación, se representan los bloques Quadror abierto y cerrado para para los valores extremos del intervalo y el valor de máxima relación. De arriba hacia abajo,  $\alpha= 10^\circ$ ,  $\alpha=24^\circ$  y  $\alpha=50^\circ$ .

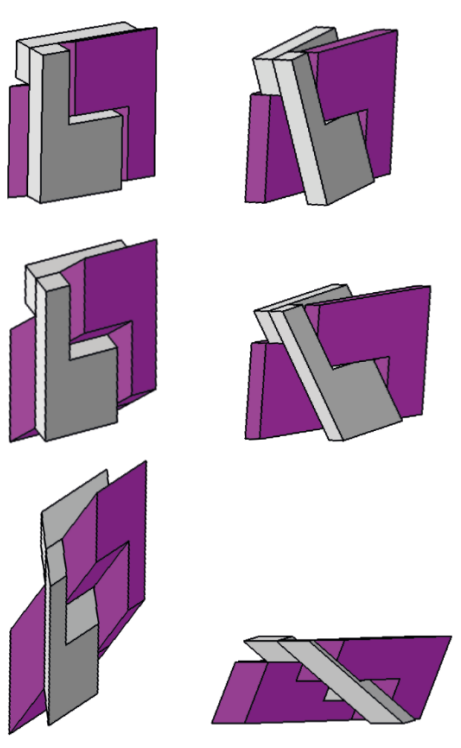


Figura 7.6 Bloques abiertos y cerrados

## 7.2 CAPACIDAD DE CARGA

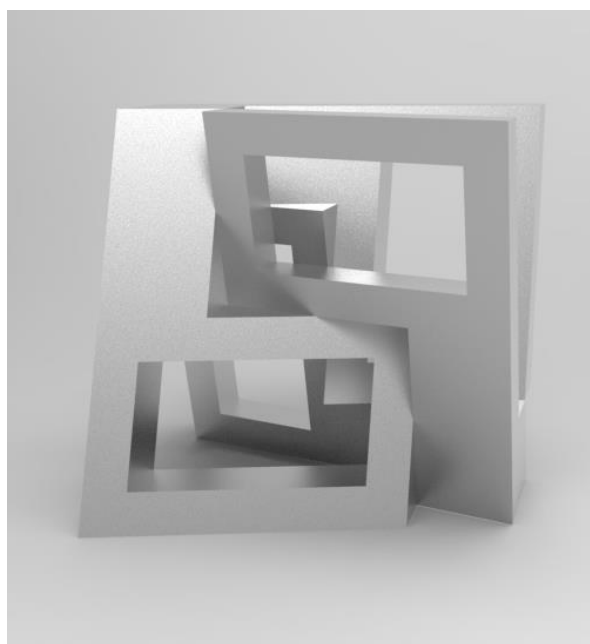
El bloque Quadror tiene una elevada capacidad de carga. Es muy robusto y estable. La amplia posibilidad de espesores, dimensiones de piezas y ángulos suponen una ventaja para la capacidad de carga. Un menor ángulo de apertura ( $\alpha$ ), y un mayor espesor de piezas, produce una mayor superficie de contacto entre piezas, aumentando su resistencia.

Sin embargo, esta cualidad puede ser una desventaja si se busca mayor ligereza.

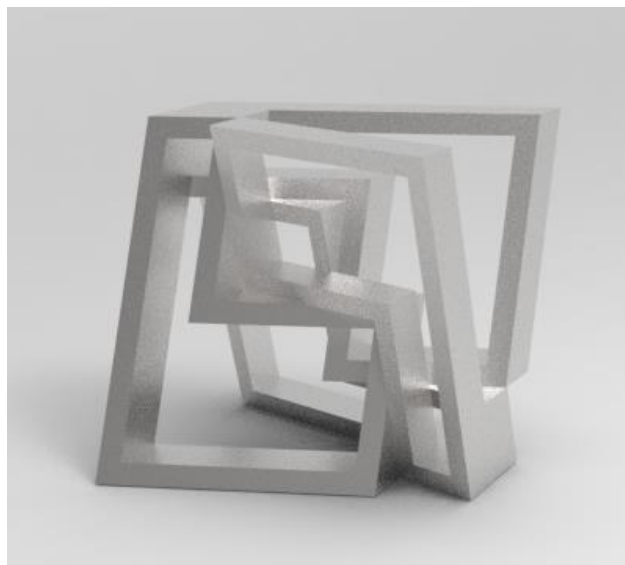
## 7.3 BLOQUE ALIGERADO

Para solucionar el problema de masa y volumen se propone aligerar las piezas de los bloques. Se muestran dos soluciones, aligerar los perfiles mediante un mecanizado en la parte de las piezas con mayor superficie, o fabricar la estructura mediante perfiles.

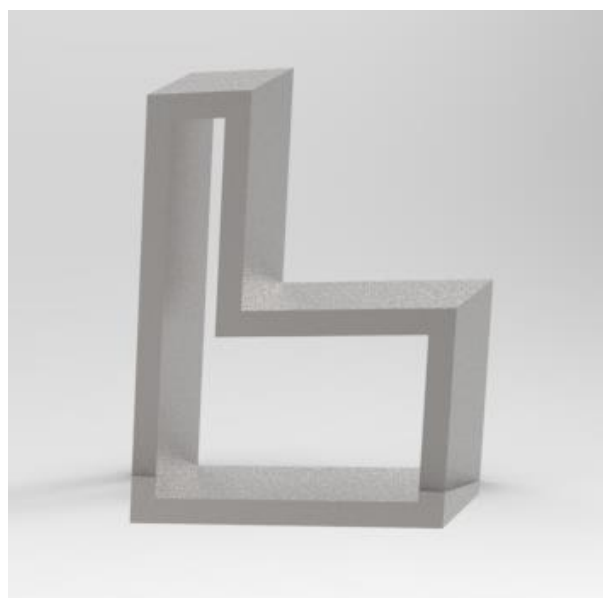
Para ello, se diseñan piezas con un hueco en su interior con su misma forma (Figura 7.8 y Figura 7.9), si la pieza es pequeña, se realizaría un mecanizado en la parte inferior de “L” (Figura 7.7).



*Figura 7.7 Bloque aligerado mecanizado*



*Figura 7.8 Bloque aligerado fabricado con perfiles*



*Figura 7.9 Pieza aligerada*

Aligerar las piezas supone una reducción de la resistencia de la estructura. A continuación, se muestra un comparativa de las tensiones de Von Mises de un mismo bloque compacto y aligerado.

Aunque se podrían hacer estudios rigurosos sobre la capacidad resistente de las distintas configuraciones, con el fin de tener una idea del estado tensodeformacional se van a presentar unos estudios preliminares para una configuración completa.

Se realizará un análisis estático con el módulo de 'Analysis & Simulation', 'Generative Structural Analysis' del software Catia V5.

El análisis se ha realizado con una carga distribuida en la superficie contraria a la base de 10000N. A los bloques se les ha asignado el material acero que posee el catálogo de Catia V5.

En la Figura 7.10 y la Figura 7.11 se observa que la tensión de Von Mises para el bloque compacto es 426246,563 N/m<sup>2</sup> y para el bloque aligerado 2506578,000 N/m<sup>2</sup>. Previsiblemente, al aligerar las piezas aumentan las tensiones internas.

Llegando a la conclusión de que con este tipo de aligeramiento la relación es 2.5 MPa a 0.42 MPa, es decir, más de 5 veces.

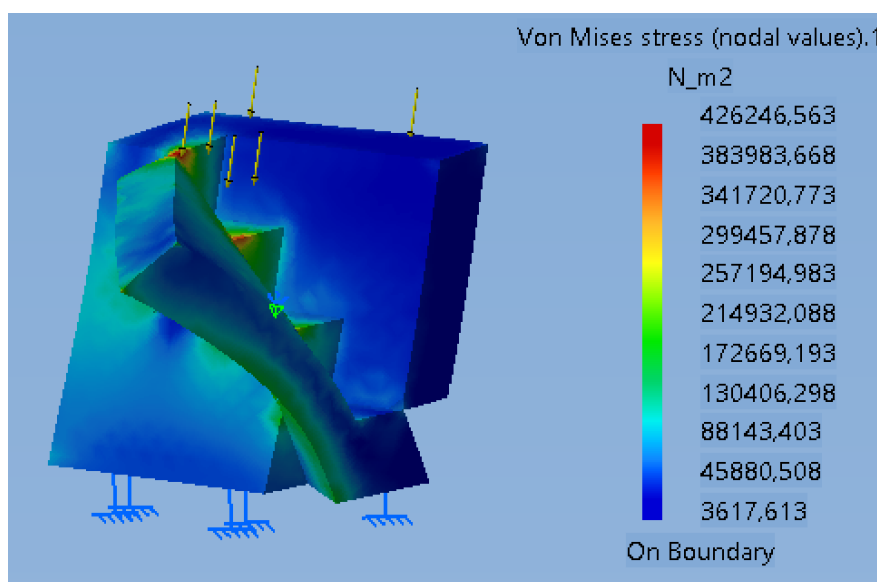
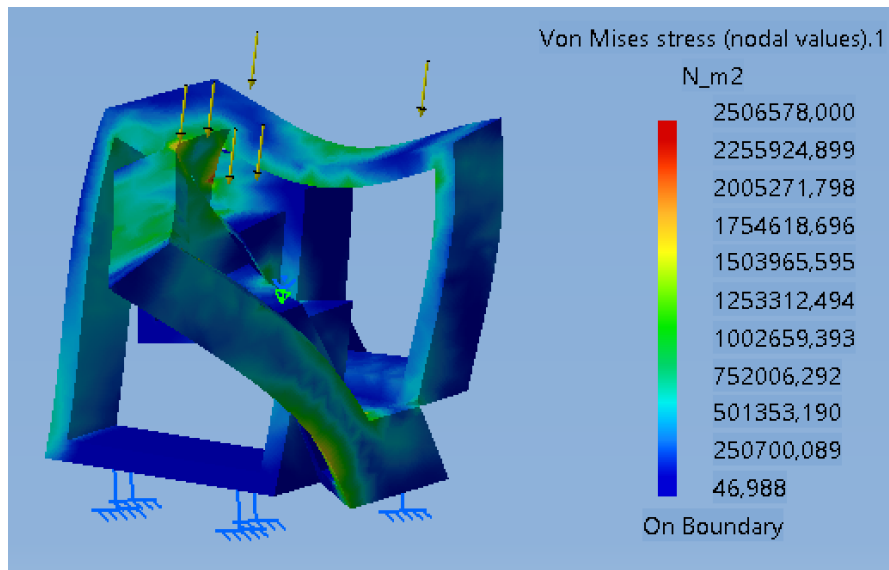


Figura 7.10 Tensión de Von Mises bloque compacto



*Figura 7.11 Tensión de Von Mises bloque aligerado*

## 8 CONCLUSIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

Este trabajo ha consistido en el estudio de la estructura Quadror (capítulo 3), su modelado computacional en Catia V5 (capítulo 4), la realización de nuevas propuestas de uniones entre bloques y alternativas de diseño (capítulo 5 y capítulo 6) y en una cuantificación de las ventajas del bloque Quadror (capítulo 7).

La primera parte del trabajo, el análisis topológico de la estructura tiene la finalidad de entender el funcionamiento y la construcción de sistema estructural Quadror. Pudiendo extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha establecido la relación entre las dimensiones de las aristas de cada una de las cuatro piezas que forma el bloque.
- Se ha definido la relación entre los parámetros que constituyen el bloque ( $\alpha$ ,  $\beta$ , espesor y  $x$ ) desarrollado en el capítulo 3.
- Existe un caso particular de Quadror cuyas caras interiores descansan unas sobre las otras de forma hermética, pudiendo actuar como contenedor.

El capítulo 4, Modelado paramétrico en Catia V5 ha tenido dos objetivos principales: la creación de modelos computacionales para entender el completo funcionamiento de la estructura, y obtener un modelo CAD para su impresión en 3D. De este capítulo se han extraído las siguientes conclusiones:

- En una estructura con tantas posibilidades como es Quadror, un diseño paramétrico agiliza la adaptabilidad del modelo 3D considerablemente, ya que solo hay que modificar los parámetros desde el árbol de operaciones del software Catia V5.
- Para la impresión 3D de un prototipo en una sola operación es necesario dar una holgura en las zonas comunes de las piezas para evitar que estas queden unidas en la impresión en 3D.

Las aplicaciones propuestas para el bloque Quadror son el resultado de sus numerosas ventajas cuantificables (capítulo 7). Las conclusiones extraídas de las ventajas expuestas son las siguientes:

- Quadror posee una reducción de volumen del bloque cerrado respecto al abierto considerable, siendo en algunos casos el volumen del bloque abierto, más del doble que el volumen de este cerrado.
- El bloque posee una elevada capacidad de carga frente a otras estructuras similares.
- Se puede realizar un aligeramiento en la estructura, manteniendo, aun así, una elevada capacidad de carga.

Como conclusión, el objetivo final de este Trabajo de Fin de Grado era alcanzar el mayor conocimiento sobre el sistema estructural Quadror, ilustrándolo con relaciones geométricas, dibujos, renders y prototipos impresos.

## 8.2 LÍNEAS FUTURAS

A continuación, se proponen algunas líneas de desarrollo que completarían el trabajo expuesto.

- El análisis topológico realizado en este trabajo es para la estructura con sus lados proporcionales. (Figura 3.1). Se propone estudiar más relaciones geométricas basadas en esta estructura, como una posible deformación del Quadror hacia una forma más rectangular.
- Atendiendo a la parte del trabajo del modelado con software e impresión en 3D. Queda abierta la posibilidad de realizar el modelo 3D de dos bloques Quadror unidos mediante una bisagra integrada en el propio modelo. Pudiendo imprimirlo de una sola operación.
- Por otro lado, las propuestas de aplicaciones con el módulo Quadror expuestas en este trabajo son un mero ejemplo. Quadror aporta infinidad de posibilidades para futuras proyecciones, así como, la materialización de estas.

## 8.3 IMPACTO AMBIENTAL Y REPERCUSIONES ECONÓMICAS

Durante la ejecución de este TFG se han realizado prototipos mediante impresión 3D, el material de impresión utilizado ha sido PLA. Por el tamaño de las piezas y la cantidad de estas, la contaminación del proceso es despreciable. Se espera que la vida útil de los prototipos sea larga ya que el PLA es un material que tiene gran durabilidad.

Además, existe la posibilidad de convertir restos de piezas impresas en 3D en nuevo material de impresión.

Los medios utilizados para la impresión de prototipos han sido: una impresora 3D Ender 3, con el software necesario para la impresión y filamento de PLA, en color rojo y amarillo. A continuación, se hace una aproximación del coste de los materiales utilizados en la fabricación de los prototipos y de las horas invertidas en el trabajo.

Para la construcción de las maquetas es necesario realizar una inversión inicial que hace referencia a la compra de la impresora 3D que supone un coste aproximado de 215€. El precio del filamento de impresión es muy variado en función de las características del PLA y del fabricante, pero 1 Kg no suele superar los 25€. No se han cuantificado las cantidades utilizadas para realizar los prototipos, ni el material desperdiciado en las piezas que no se han impreso correctamente. Sin embargo, el PLA empleado ha sido inferior a 1 Kg. Por lo que el precio final de todos los prototipos ha sido inferior a 240€

El tiempo dedicado a la elaboración de este TFG ha sido de 300h; de las cuales 70 h se ha empleado en la documentación y análisis geométrico de la estructura, 20 h en la impresión de prototipos, 100h en el programa de modelado Catia V5, 100 h en la redacción del trabajo y 10 h en la elaboración de la presentación.



## REFERENCIAS

- [1] D. Benshetrit, «StudioDror,» [En línea]. Available: <http://www.studiodror.com/for/quadror/>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [2] D. Benshetri, «Design Indaba,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=s\\_pxIejol8M](https://www.youtube.com/watch?v=s_pxIejol8M). [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [3] «Construpedia, Enciclopedia Construcción,» [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Forjado\\_Sanitario](https://www.construmatica.com/construpedia/Forjado_Sanitario). [Último acceso: 30 mayo 2022].
- [4] «Prusa Research,» Josef Prusa, [En línea]. Available: [https://www.prusa3d.com/es/pagina/prusaslicer\\_424/](https://www.prusa3d.com/es/pagina/prusaslicer_424/). [Último acceso: 12 Mayo 2022].
- [5] «Octoprint,» 29 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://octoprint.org/>. [Último acceso: 12 Mayo 2022].
- [6] «Creality,» [En línea]. Available: <https://www.creality3dofficial.com/products/official-creality-ender-3-3d-printer>. [Último acceso: 12 Mayo 2022].

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Módulo Quadror [1].....	5
Figura 2.2 Lámpara Swarovski posición frontal [1] .....	6
Figura 2.3 Lámpara Swarovski posición de perfil [1] .....	6
Figura 2.4 Dror para Brancott Estate [1] .....	8
Figura 2.5 Botellero para Brancott Estate [1] .....	9
Figura 2.6 Pabellón Itinerante Puma [1] .....	10
Figura 2.7 Estructura Pabellón Itinerante Puma.....	10
Figura 2.8 Esqueleto Pabellón Itinerante Puma .....	11
Figura 2.9 Mesita Quadror.....	11
Figura 2.10 Estantería Quadror.....	12
Figura 2.11 Mesa Quadror.....	12
Figura 2.12 Volume.MGX.....	13
Figura 3.1 Componente base .....	14
Figura 3.2 Componente base vistas .....	15
Figura 3.3 Ángulos del componente base .....	15
Figura 3.4 Unión de componentes .....	16
Figura 3.5 Pieza del módulo .....	16
Figura 3.6 Elementos de unión .....	17
Figura 3.7 Unión de un bloque .....	17
Figura 3.8 Bloque de construcción cerrado .....	18
Figura 3.9 Vista en planta del bloque de construcción .....	18
Figura 3.10 Bloque de construcción abierto .....	18
Figura 3.11 Conjunto de 3 módulos .....	19
Figura 3.12 Planta y alzado bloque abierto.....	20
Figura 3.13 Triángulo rectángulo .....	21
Figura 3.14 Alzados del bloque abierto y cerrado .....	22
Figura 3.15 Extrusión de la planta .....	23
Figura 3.16 Comparación de bloques.....	24
Figura 3.17 Ángulo caso especial .....	24
Figura 3.18 Relación de espesor y $\alpha$ .....	25
Figura 4.1 Módulos de Catia V.5 .....	26
Figura 4.2 Creación de parámetros .....	27
Figura 4.3 Menú fórmula .....	28
Figura 4.4 Menú nuevo parámetro .....	28

Figura 4.5 Añadir fórmula .....	29
Figura 4.6 Parámetro espesor .....	30
Figura 4.7 Parámetros de la pieza .....	30
Figura 4.8 Cambiar el valor de los parámetros .....	31
Figura 4.9 Relación entre parámetros .....	31
Figura 4.10 Sketch .....	32
Figura 4.11 Selección de lados .....	33
Figura 4.12 Parametrización de lados .....	33
Figura 4.13 Ángulo entre caras .....	34
Figura 4.14 Extrusión de la pieza .....	35
Figura 4.15 Creación de chaflanes .....	36
Figura 4.16 Ejemplos de configuraciones .....	36
Figura 4.17 Insertar pieza .....	37
Figura 4.18 Bloquear pieza .....	38
Figura 4.19 Unión de dos piezas .....	38
Figura 4.20 Unión de 4 piezas .....	39
Figura 4.21 Eje de giro .....	40
Figura 4.22 Bloque abierto .....	40
Figura 4.23 Modelado para imprimir .....	41
Figura 4.24 Piezas impresas .....	41
Figura 5.1 Prototipos de uniones roscadas .....	43
Figura 5.2 Unión de perfiles .....	44
Figura 5.3 Dos filas abiertas y cerradas .....	45
Figura 5.4 Fila abierta y cerrada .....	45
Figura 5.5 Prototipo con bisagras .....	45
Figura 5.6 Unión con bisagras ocultas 1 .....	46
Figura 5.7 Unión con bisagras ocultas 2 .....	46
Figura 5.8 Pieza con cajeras .....	47
Figura 5.9 Unión mecánica entre filas .....	47
Figura 6.1 Módulo de construcción .....	49
Figura 6.2 Forjado sanitario .....	49
Figura 6.3 Suelo Técnico .....	50
Figura 6.4 Suelo técnico Quadror .....	50
Figura 6.5 Suelo técnico con bloques Quadror aligerados .....	51
Figura 6.6 Barrera acústica vegetal del Paseo de Hospital Militar de Valladolid .....	51
Figura 6.7 Propuesta de mediana con bloques Quadror .....	52

Figura 6.8 Propuesta jardinera con bloque Quadror .....	52
Figura 6.9 Propuesta jardinera con bloque Quadror despiece .....	53
Figura 7.1 Volumen bloque cerrado.....	55
Figura 7.2 Volumen bloque abierto.....	55
Figura 7.3 Perfil bloque abierto.....	56
Figura 7.4 Perfil bloque cerrado.....	56
Figura 7.5 Relación de volúmenes.....	58
Figura 7.6 Bloques abiertos y cerrados .....	58
Figura 7.7 Bloque aligerado mecanizado .....	59
Figura 7.8 Bloque aligerado fabricado con perfiles .....	60
Figura 7.9 Pieza aligerada .....	60
Figura 7.10 Tensión de Von Mises bloque compacto.....	61
Figura 7.11 Tensión de Von Mises bloque aligerado.....	62

## **ANEXO 1: PROCESO DE IMPRESIÓN 3D**

En este anexo se exponen todas las fases del proceso de impresión 3D que se han seguido para fabricar los prototipos y modelos que han servido como apoyo para el desarrollo del trabajo.

### **1. DISEÑO EN CAD**

Los programas de diseño asistido por ordenador son la base de la fabricación aditiva, ya que se parte de un diseño que se quiere materializar. En esta fase hay que conseguir que la impresión de la pieza sea factible.

Un diseño correcto en 3D permite evitar futuros problemas de impresión, tiempo y material, para ello, hay que considerar en la fase de diseño los siguientes factores:

- Posición: una correcta posición y orientación en la cama de impresión permite suprimir o reducir el tamaño de los soportes y acortar el tiempo de impresión.
- Soportes: son necesarios para poder imprimir voladizos, ya que el material depositado por el extrusor necesita apoyarse sobre una capa inferior.
- Refuerzos: para las zonas de posible pandeo.
- Tamaño de pieza y unidades de medida: las dimensiones de la pieza deben ser inferiores al tamaño de la mesa y la altura del pórtico de la impresora.
- Holgura entre ensamblajes: para piezas móviles o fijas próximas hay que dejar una holgura entre ellas para que el material fundido no las una.
- Grosor: el grosor de la pieza debe ser al menos dos veces el diámetro de la boquilla extrusora.

Del programa de diseño CAD, hay que exportar un archivo preferiblemente en formato STL ("STereoLithography"), porque es el programa más compatible con otros programas de diseño e impresión, no obstante, el slicer utilizado (Prusaslicer) acepta los formatos: 3MF, OBJ y AMF.

### **DESCARGA E INSTALACIÓN DEL SLICER**

Los programas de "slicer" son software que transforma modelos 3D en archivos GCODE que la impresora 3D es capaz de interpretar.

En este proyecto se utiliza el slicer: Prusaslicer, su descarga se hace desde la página web de Prusa Research [4].

Se instala la versión correspondiente al sistema operativo del ordenador seleccionando la opción de instalador completo.

En la instalación personalizada se seleccionan solo los drives de Windows y el programa en sí (PrusaSlicer 2.4.2) como se muestra en la Figura I.

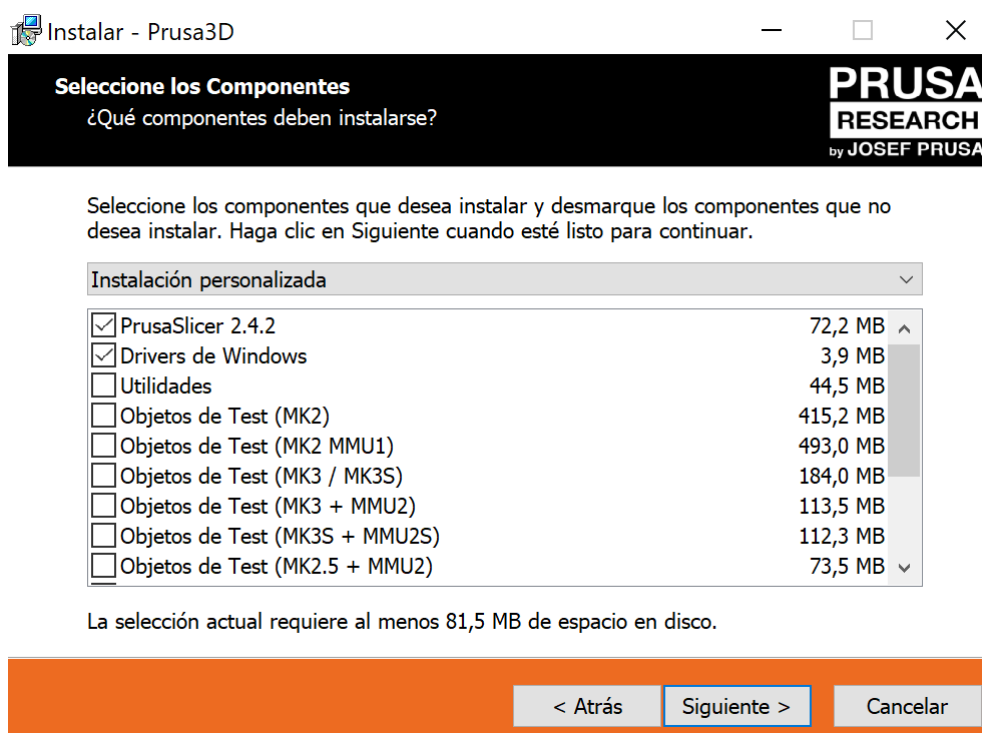


Figura I Componente para la instalación de Prusaslicer

A continuación, se personaliza el perfil de impresión, importando la configuración y el conjunto de ajustes de la siguiente manera: Una vez abierto el programa, en la pestaña “archivo”, opción “importar”, “importar configuración” se añade el archivo “Config\_Ender3”, y en la opción “importar conjunto de ajustes” se añade el archivo “Ajustes\_Ender3”, como se muestra en la Figura II (Estos archivos han sido proporcionados por el Laboratorio de Estructuras de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid).

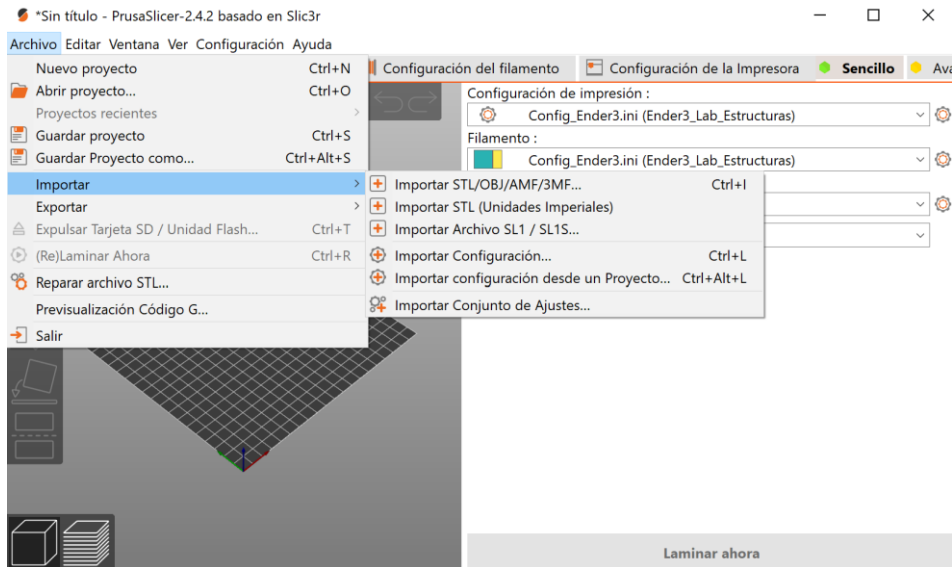


Figura II Ajuste del perfil de impresión

## 2. USO DEL SLICER.

### - PLATAFORMA

Se añade una pieza con el icono “añadir” de la barra de herramientas. La pieza se visualiza en el programa colocada sobre la cama de la impresora, en una posición por defecto, sin ser necesariamente su posición idónea de impresión, como se muestra en la Figura III.

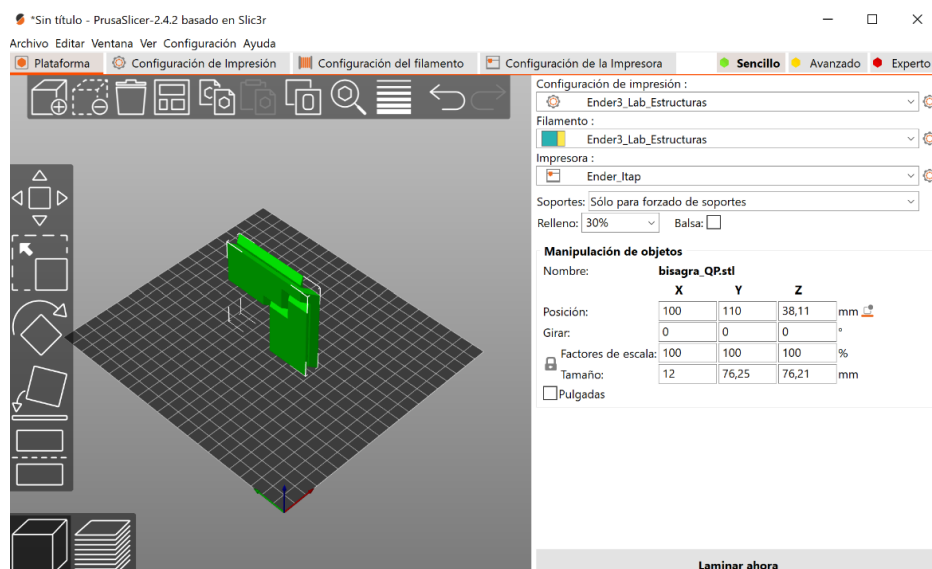
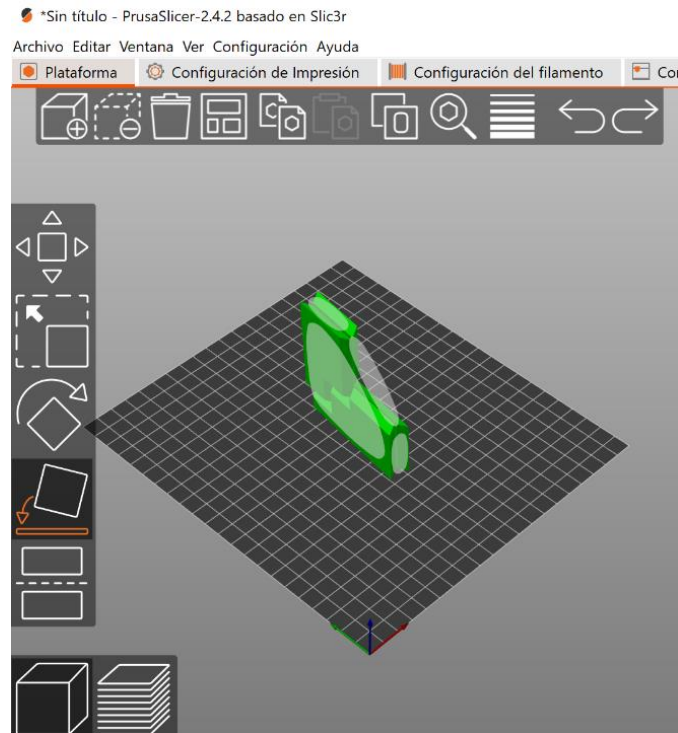


Figura III Insertar un modelo en el programa

Seleccionando el icono “laminar ahora” se generará un archivo GCODE que se envía a la impresora, pero previamente hay que ajustar los parámetros y posición de pieza.

Los iconos de la barra de herramientas que se puede ver a la izquierda en la Figura son de arriba abajo: mover, escalar, girar, colocar en cara y cortar.



*Figura IV Barra de herramientas*

En la Figura IV se puede ver como se ha colocado la pieza en la posición más favorable para su impresión con la herramienta “colocar sobre cara”.

Los dos iconos de abajo a la izquierda de la Figura IV indican las opciones de visualización, de izquierda a derecha: la vista de editor 3D y previsualización de impresión. En la previsualización (Figura V) se puede ver una simulación de la futura impresión y el estado de impresión de la pieza en función del tiempo.



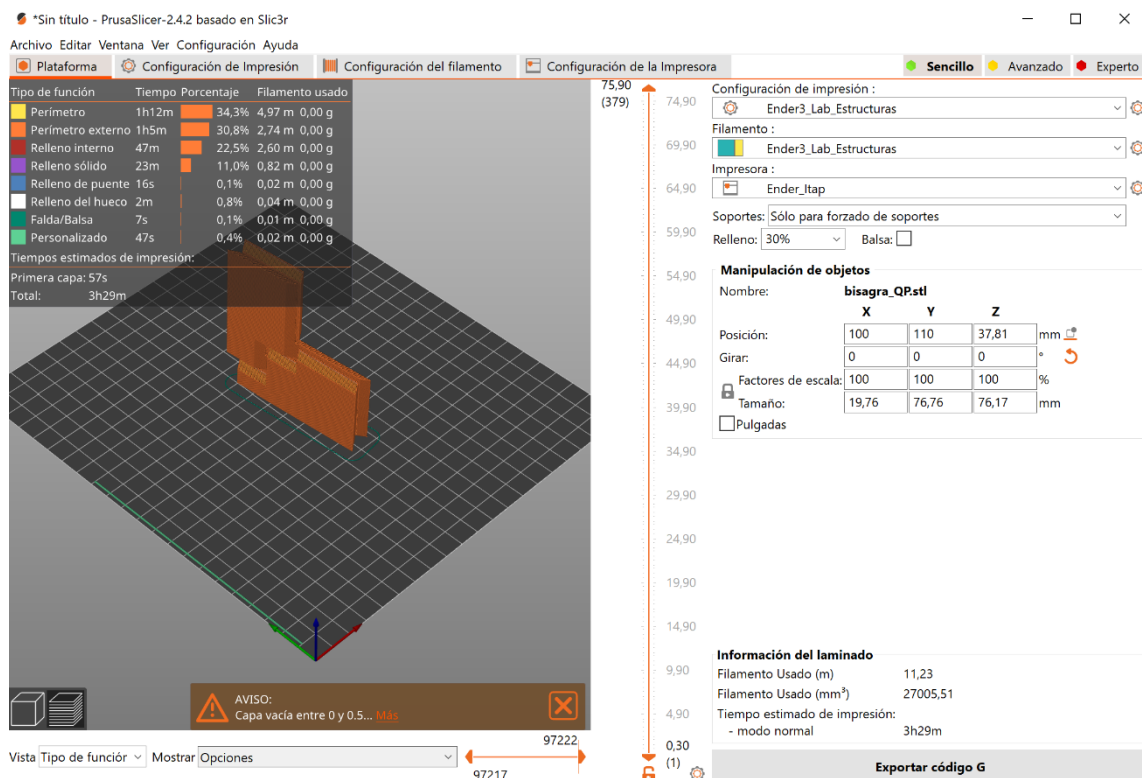


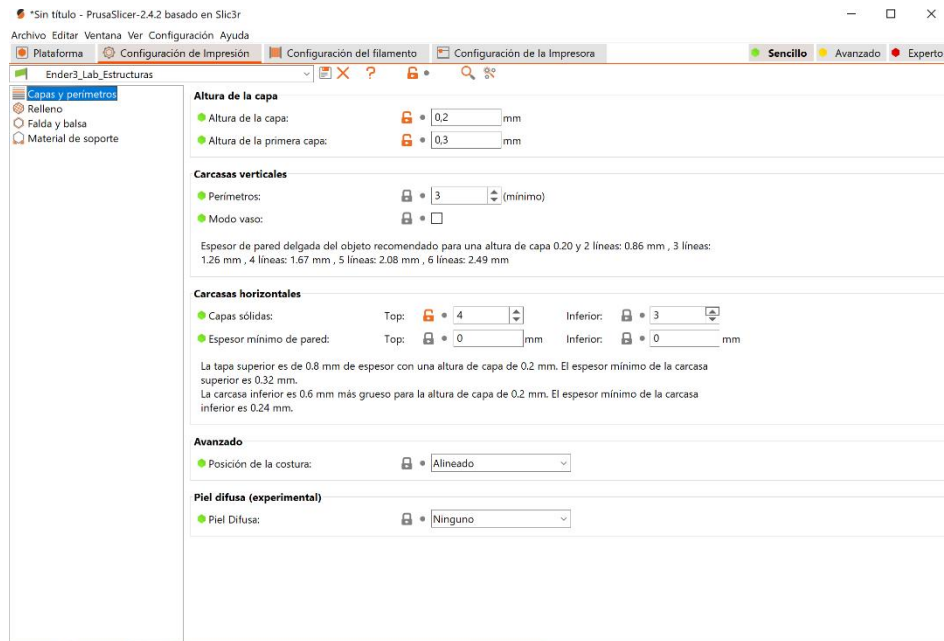
Figura V Previsualización de impresión

## - CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN

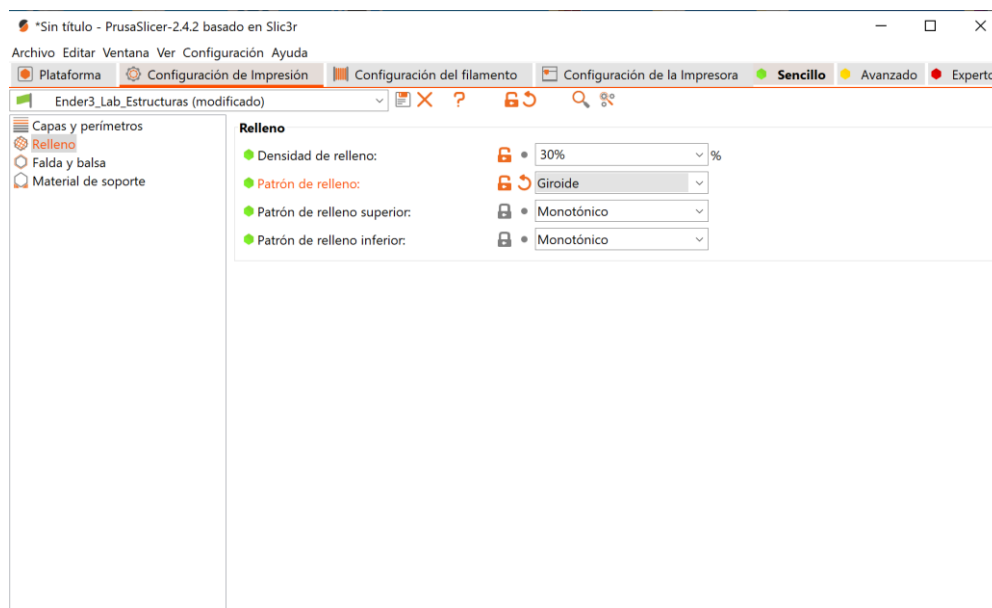
En el menú de configuración de impresión se puede modificar los parámetros de capa y perímetros (Figura VI), relleno (Figura VII), falda y balsa, material de soporte (Figura VIII), velocidad, múltiples extrusores, avanzado, opciones de salida, notas y dependencias.

A continuación, se mencionan los que se han considerado para la construcción de los modelos de este trabajo.

Observando la Figura VI se aprecia que la altura de capa puede variar entre 0,1 y 0,3, cuanto menor sea, mejor será el acabado final, siendo las capas menos visibles.



*Figura VI Menú de Capas y Perímetros*



*Figura VII Menú de Relleno*

En menú de relleno de las piezas (Figura VII) se puede modificar la densidad y el patrón de este; al imprimir piezas completamente macizas se aumenta el tiempo de impresión y el material consumido. El patrón de relleno escogido es “giroide” porque es igual de resistente en todas las direcciones y la densidad de relleno se modifica en función del acabado y tiempo de impresión deseado.

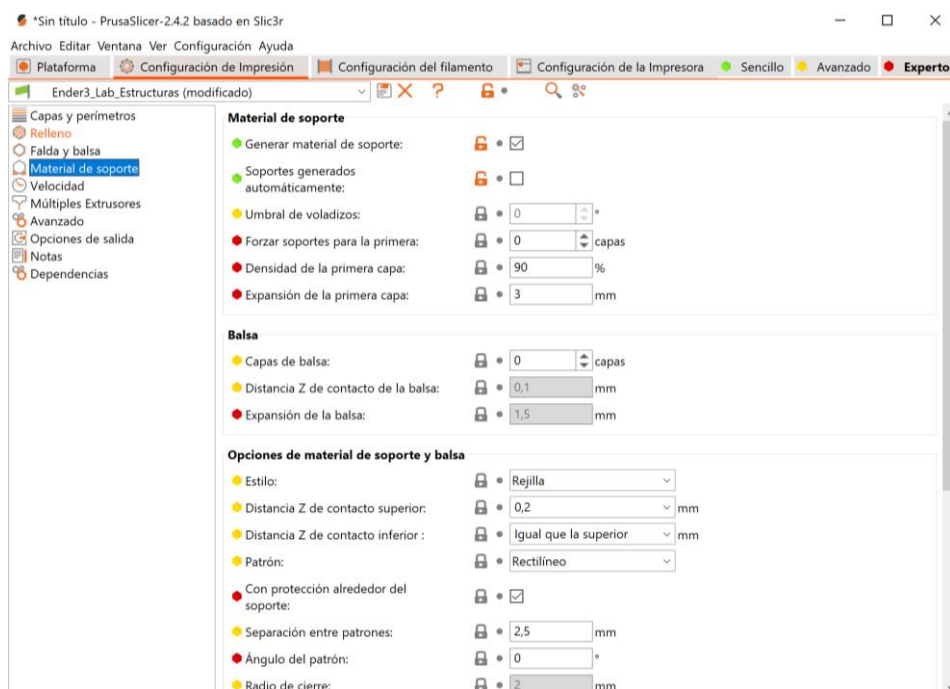


Figura VIII Menú de material de soporte

Los soportes se pueden generar automáticamente desde el menú que aparece en la Figura VIII, o manualmente desde la pestaña plataforma en modo avanzado o experto con la herramienta “soportes pintables” (Figura IX). Con esta opción, se pinta sobre la pieza la superficie donde se quiere colocar los soportes.

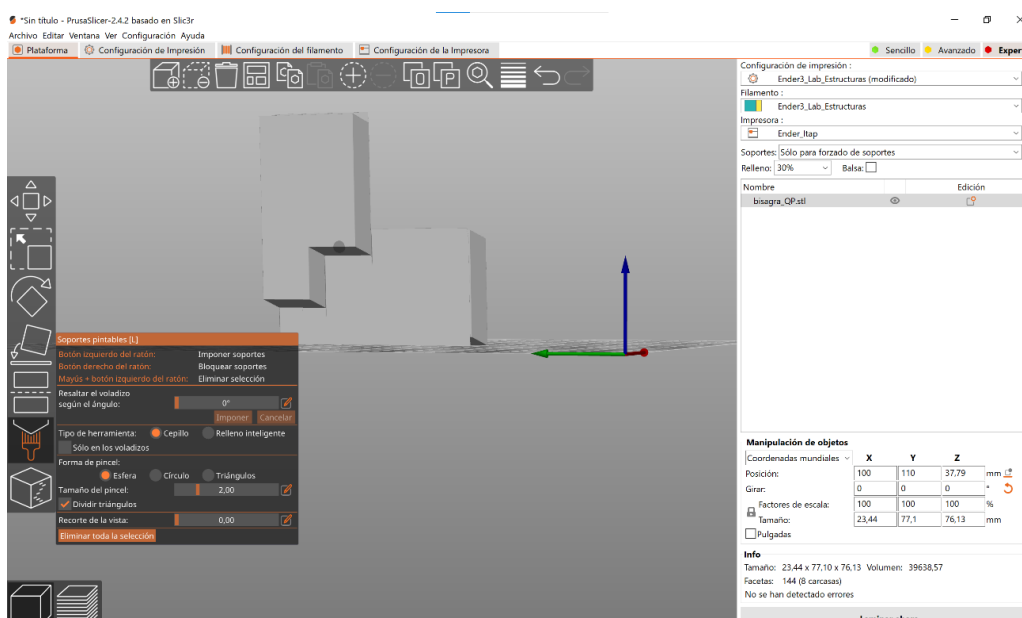


Figura IX Soportes pintables

Con la herramienta “pintado de costuras” que aparece en la Figura IX debajo de la herramienta seleccionada, se dibuja en el modelo la zona donde comenzará y finalizará a imprimir el cabezal de extrusión en la misma capa.

Con todos los parámetros deseados seleccionando “Laminar ahora” se exporta un archivo GCODE que hay que enviar a la impresora, para ello se utiliza otro programa, en el caso de este proyecto: Octoprint.

### 3. OCTOPRINT

Octoprint (Figura X) es una interfaz web para impresoras 3D, que permite enviar el GCODE obtenido con anterioridad a la impresora, también, se puede precalentar la boquilla de extrusión Y la cama de la impresora (para la impresora y material del taller se utilizan 205°C la boquilla y 65°C la cama), mover los ejes o vigilar las impresiones con una webcam [5].

Se accede directamente al programa Octoprint con la configuración de la impresora 3D del taller mediante una dirección ip conocida, siendo necesario estar conectado a la red wifi del taller.

Una vez abierto el programa para importar un modelo hay que crear una carpeta con el nombre del proyecto “Create Folder” y seleccionar el archivo Gcode a subir “Upload”, seleccionar el archivo Gcode e imprimir “Print”.

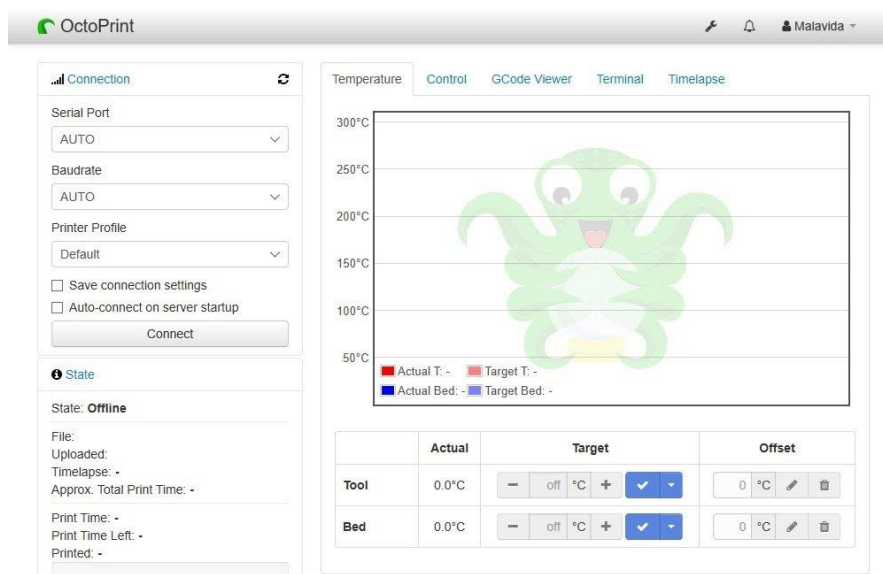


Figura X Octoprint

## 4. IMPRESIÓN DEL MÓDULO QUADROR

En este apartado se muestra la impresora y el material empleado, así como, las características de impresión.

### - IMPRESORA Y MATERIAL EMPLEADO

En este trabajo se ha utilizado de material de impresión PLA de 1.75mm de diámetro y una impresora 3D Ender 3 (Figura XI) de extrusión FDM con las siguientes características [6]:

- Volumen de construcción: 220 x 220 x 250 mm
- Diámetro del filamento: 1.75 mm
- Diámetro boquilla: 0.4 mm
- Espesor de capa: 0.1 – 0.35 mm
- Precisión: +/-0.1 mm
- Temperatura máxima extrusor: 255 °C
- Temperatura máxima de cama: 110 °C
- Velocidad máxima de trayecto: 180 mm/s.
- Formatos modelo 3D: STL, OBJ, GCODE
- Dimensiones de la impresora 3D: 440 x 410 x 465 mm
- Peso: 8.6 Kg.



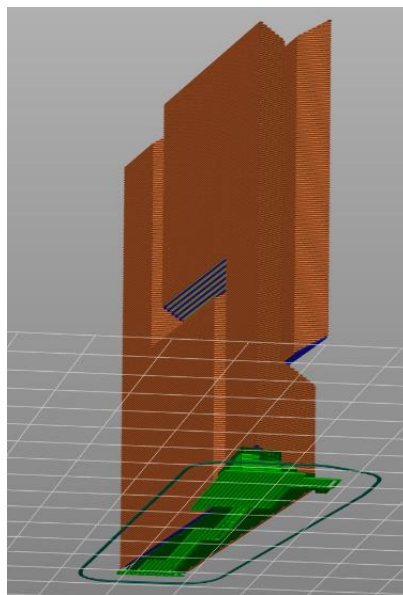
*Figura XI Impresora Ender 3*

## - CARACTERÍSTICAS DE IMPRESIÓN

El módulo Quadror se ha impreso de una sola vez, sin necesidad de unir sus piezas posteriormente; para ello, se ha dado una holgura de 1mm entre ambas piezas, para que, al imprimirlas, no se pegasen entre sí, Esta holgura se consiguió aumentando la dimensión de la zona de unión entre las piezas 1 mm; dando como resultado un módulo plegable sobre un eje virtual formado por dos piezas impresas simultáneamente.

El modelo se imprimió plegado apoyado sobre el plano que se muestra en la Figura XII.

Se necesitan soporten en los chaflanes inferiores, que se pintan con la herramienta “soportes pintables” y retirarán una vez se haya enfriado la pieza.



*Figura XII Impresión del módulo*