



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Mecánica

**DISEÑO CON SUPERFICIES DE
CLASE A. METODOLOGÍA DE
TRABAJO, PROPUESTA DE MANUAL
Y APLICACIÓN PRÁCTICA EN
AUTODESK ALIAS.**

Autor:

Vinuesa Rosa, Pedro

Tutor:

Sanz Arranz, Juan Manuel

**CMelM / Expresión gráfica en la
ingeniería**

Valladolid, Febrero 2021

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por estar a mi lado brindándome todo su apoyo en todo momento.

A mis compañeros, por hacer de este trabajo y de todo el periodo universitario, una experiencia inolvidable.

A Juan Manuel y Roberto, por enseñarme y ayudarme a crecer en esta rama tan bonita de la ingeniería.

A Lily, por acompañarme siempre en lo bueno y en lo menos bueno durante todos estos años.

RESUMEN

Las superficies de Clase A representan el último grado de complejidad y perfección dentro del modelado tridimensional con fines estéticos.

Este trabajo trata de abordar de manera general la teoría subyacente en este tipo de superficies, así como la metodología específica de trabajo que las diferencia de las utilizadas habitualmente en el modelado de objetos. Estos conocimientos se van a plasmar de manera visual a través de un ejemplo de aplicación práctica similar al que se podría dar en un caso real. Para ello se va a usar la herramienta más utilizada a nivel industrial para este propósito: Autodesk Alias.

Palabras clave: Autodesk, superficies de Clase A, Alias, continuidad G2 y G3, curvatura, puntos de control (CVs)

ABSTRACT

Class A surfaces represent the ultimate degree of complexity and perfection in three-dimensional modeling for aesthetic purposes.

This work approaches in a general way the underlying theory in this type of surfaces, as well as the specific work methodology that differentiates them from those commonly used in the modeling of objects. This knowledge will be visually expressed through an example of practical application similar to one given in a real case. For this purpose, we will be using the most widely established software at industrial level: Autodesk Alias.

Key words: Autodesk, Class A surfaces, Alias, G2 and G3 continuity, Curvature, Control points (CVs)

ABSTRACT

Class-A-Flächen stellen den ultimativen Grad an Komplexität und Perfektion bei der dreidimensionalen Modellierung zu ästhetischen Zwecken dar.

Diese Arbeit nähert sich in allgemeiner Weise der zugrundeliegenden Theorie dieser Art von Oberflächen, sowie der spezifischen Arbeitsmethodik, die sie von den üblicherweise bei der Modellierung von Objekten unterscheidet. Dieses Wissen wird anhand eines praktischen Anwendungsbeispiels, das einem realen Fall ähnelt, anschaulich dargestellt. Zu diesem Zweck werden wir die am meisten etablierte Software auf industrieller Ebene verwenden: Autodesk Alias.

Stichworte: Autodesk, Class-A-Flächen, G2 und G3 Stetigkeit, Krümmung, Punktwolken

ACRÓNIMOS

CAD	Computer Aided Design
CV	Punto de control
G0	Continuidad en punto
G1	Continuidad en tangencia
G2	Continuidad en curvatura
G3	Continuidad en curvatura tangente
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines
OA	Oclusión Ambiental
VR	Realidad virtual

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS	10
1. MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A.....	11
1.1. ¿QUÉ SON LAS SUPERFICIES DE CLASE A?	11
1.2. CALIDAD ESTÉTICA REQUERIDA PARA LAS SUPERFICIES CLASE A.....	11
2. CONCEPTOS PREVIOS Y TERMINOLOGÍA.....	13
2.1. MODELADO NURBS	13
2.1.1. Puntos de control.	15
2.1.2. Tramos o intervalos. (“spans” en alias o “segments” en catia).....	17
2.1.3. Grado matemático que define la geometría.....	18
2.1.4. Puntos de control y curvas isoparamétricas	19
2.1.5. Parámetros u y v.....	20
2.1.6. “HULLS” en Alias o “MESH” en CATIA.....	21
2.1.7. Direcciones normales en curvas y superficies.	21
2.1.8. Círculos y revoluciones.....	21
2.1.9. Comparación del modelado nurbs con el modelado poligonal.....	24
2.2. NIVELES DE CONTINUIDAD	25
3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO GENERAL EN MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A	31
3.1. PASO 0 - PREPARACIÓN PREVIA AL MODELADO.	32
3.1.1. Tolerancias de diseño	32
3.2. PASO 1 – MODELADO DE LAS CURVAS QUE DEFINEN LAS SUPERFICIES.....	34
3.3. PASO 2 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES PRIMARIAS	35
3.4. PASO 3 – EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO	37
3.5. PASO 4 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES SECUNDARIAS Y Terciarias.....	37
3.6. PASO 5 – ANÁLISIS DETALLADO DE LAS SUPERFICIES FINALES	38
3.6.1. Evaluación mediante peines de curvatura	39
3.6.2. Evaluación mediante líneas de reflexión o reflejos	41
3.6.3. Evaluación mediante iso-ángulos.....	43
3.6.4. Evaluación mediante curvatura de la superficie.....	45
4. REGLAS DE ORO DEL MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A	51
4.1. REGLA DE ORO Nº 1 – UTILIZAR CURVAS Y SUPERFICIES DE UN SOLO TRAMO O PARCHE.	51
4.2. REGLA DE ORO Nº 2 – UTILIZAR SUPERFICIES DE CUATRO LADOS.....	53
4.2.1. Concepto de punto degenerado.....	55
4.2.2. Superficie de cuatro lados, dos de ellos tangentes entre sí.	56
4.2.3. Superficies de cuatro lados recortadas.....	57
4.3. REGLA DE ORO Nº 3 – PRESTAR ATENCIÓN AL FLUJO DE LOS PUNTOS DE CONTROL..	57

4.4.	REGLA DE ORO Nº 4 – UTILIZAR EL MÍNIMO NÚMERO DE PUNTOS DE CONTROL.....	61
4.5.	REGLA DE ORO Nº 5 – ASEGURAR UNA BUENA CONTINUIDAD EN LAS LINEAS DE SIMETRÍA.....	63
4.6.	REGLA DE ORO Nº 6 – SOBREDIMENSIONAR Y POSTERIORMENTE RECORTAR	66
4.7.	REGLA DE ORO Nº 7 – IGUALAR CURVAS EN LADOS OPUESTOS.....	68
5.	APLICACIÓN PRÁCTICA MEDIANTE AUTODESK ALIAS	71
5.1.	ELECCIÓN DEL MODELO	71
5.2.	ELABORACIÓN DEL MODELO BÁSICO O “DE BLOQUES”	75
5.2.1.	Inventario de superficies.....	75
	76
5.2.2.	Configuración de las tolerancias de diseño.....	77
5.2.3.	Introducción de planos o dibujos de referencia.....	78
5.2.4.	Creación de las curvas centrales del barco.....	83
5.2.5.	Creación de las curvas del casco en planta	88
5.2.6.	Creación de las superficies del casco.....	94
5.2.7.	Creación de la superficie de cubierta. <i>Referencia</i>	100
5.2.8.	Creación de las curvas del parabrisas.....	102
5.2.9.	Creación de la cola de cubierta	106
5.2.10.	Creación de las superficies de unión de parabrisas y cola de cubierta	110
5.2.11.	Recorte de superficies. Finalización del modelo de bloques	113
5.3.	MEJORA DE LAS SUPERFICIES Y ADICIÓN DE DETALLES.	115
5.3.1.	Mejora y redondeo de las superficies del casco	115
5.3.2.	Creación de los detalles de la zona de unión casco superior – cubierta	121
5.3.3.	Mejora de la plataforma temporal de popa. <i>Referencia</i>	128
5.3.4.	Reajuste de la cubierta	130
5.3.5.	Creación de las superficies finales de la cola y la unión cubierta-parabrisas	131
5.3.8.	Creación de la superficie inferior de las escaleras	147
5.3.9.	Creación de redondeos entre las superficies principales del barco.....	150
5.4.	ANÁLISIS DE REFLEJOS DE LAS SUPERFICIES.	154
5.5.	CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES	160
6.	CONCLUSIONES.....	163
7.	ESTUDIO ECONÓMICO.....	165
8.	ÍNDICE DE FIGURAS	167
9.	BIBLIOGRAFÍA	175
	ANEXO I. RENDERIZADO CON AUTODESK VRED	

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se aborda de manera completa el proceso de aprendizaje para el modelado con superficies de Clase A.

No obstante, cabe destacar que para la comprensión y la utilización de este documento como método de aprendizaje se deben poseer con anterioridad unos conocimientos básicos en el modelado 3D. Estos deben abarcar tanto el conocimiento y manejo fluido de la interfaz de usuario del programa, como ciertas destrezas a la hora de modelar con superficies y sólidos.

En primer lugar, estableceremos una base teórica en la que se detallarán uno a uno los conceptos de obligada comprensión necesarios para el modelado con este tipo de superficies.

A continuación, definiremos una serie de reglas que determinarán las condiciones que deben obedecer algunas fases del modelado para garantizar que las superficies realizadas cumplan con las características y peculiaridades de una superficie de Clase A.

Una vez conocidas la teoría y las reglas de obligado cumplimiento, estas se plasmarán en la elaboración de un caso práctico en el que se explicarán - de manera específica - las diferentes fases que componen el modelado, así como los pasos a seguir comprendidos dentro de ellas.

En muchas ocasiones, haremos referencia a la teoría y a las reglas establecidas y en otras, definiremos las excepciones propias a estas, las cuales nos permitirán obtener el resultado deseado.

Por último, concluiremos el trabajo con un pequeño estudio económico, donde estimaremos el coste de la elaboración de este trabajo de modelado.

OBJETIVOS

Uno de los objetivos principales de este trabajo de investigación es el de seguir aportando conocimientos a esta serie de estudios colaborativos con los que se pretende dominar la técnica de modelado con superficies de Clase A.

Partiendo de los resultados presentados en anteriores trabajos, se ampliará el conocimiento teórico existente para, de esta manera, disponer de un marco teórico suficiente que pueda servir como base para futuros trabajos de investigación. Por otra parte, los conocimientos teóricos adquiridos servirán para la elaboración de una metodología de trabajo de uso común en cualquier tipo de software en la que se desee aplicar.

Otro de los objetivos de este trabajo es el de aprender - de manera completamente autónoma - a utilizar el programa más extendido a nivel industrial para la creación de este tipo de superficies: *Autodesk Alias*.

Mediante el aprendizaje de este programa no solo se abren las fronteras para futuros trabajos si no que, además, se puede establecer una comparación entre mismos procedimientos dentro de diferentes programas. De esta manera, se tienen distintos enfoques para un mismo proceso y , por ende, se aumentará la base de conocimiento.

Finalmente, no podemos olvidar que nos encontramos ante trabajos eminentemente estéticos, los cuales no quedan representados en su totalidad solamente con el programa de creación de superficies. Es por esto por lo que un buen renderizado del modelo resulta casi de tanta importancia como la calidad de las superficies creadas. Con este fin se utilizará el programa *Autodesk VRED* para la obtención de los renderizados del modelo.

1. MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A

1.1. ¿QUÉ SON LAS SUPERFICIES DE CLASE A?

Superficies de clase A es como se denominan aquellas superficies de diseño que deben poseer una alta calidad estética, la cual se consigue alcanzando los niveles más altos de continuidad entre superficies y que, normalmente, se reservan para productos de tipo “premium” en los que el aspecto es un factor determinante a la hora de establecer su valor en el mercado. Estas superficies son “caras” de producir ya que requieren mucho trabajo y personal experto en su realización ya que, en ellas, se deben combinar:

- **Calidad estética:** continuidad y reflejos.
- **Requerimientos de ingeniería:** pestañas y acoples.
- **Requerimientos de producción:** tolerancias de modelado.

Es un término usado específicamente en la industria automotriz pero que poco a poco se está extendiendo cuando se describen las superficies finales de producción de otro tipo de productos de alto valor estético.

1.2. CALIDAD ESTÉTICA REQUERIDA PARA LAS SUPERFICIES CLASE A

El desafío para los diseñadores de superficies de clase A es conseguir una buena calidad estética mediante la imposición de una serie de condiciones de continuidad. Estas van a propiciar una buena distribución de reflejos. Los requisitos de continuidad básicos son (para unas determinadas tolerancias estrictas) construir con continuidades de tipo G0, G1 y G2. En cuanto a que los reflejos sean perfectos hay que trabajar con continuidad de tipo G3. Sobre los niveles de continuidad hablaremos en el apartado 2.2.

No existen reglas absolutas acerca de qué nivel de exigencia de tolerancias son necesarias ya que en cada caso con un valor será suficiente. Es trabajo del modelador de clase A juzgar qué configuraciones dan un resultado con la calidad correcta para la pieza que se está diseñando. En otras ocasiones es la empresa, cliente o entidad que contrata al modelador quien establece el nivel

de tolerancia mediante estándares detallados para cada elemento del diseño, lo cual facilita la labor del modelador.

Cabe destacar que unas tolerancias muy ajustadas conllevan superficies muy pesadas en cuanto a la complejidad y grado matemático. Es por ello por lo que se debe encontrar el equilibrio entre las especificaciones y la simplicidad del modelo.

2.CONCEPTOS PREVIOS Y TERMINOLOGÍA

2.1. MODELADO NURBS

El modelado NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) es como se denomina a la matemática que utilizan los programas de diseño asistido por ordenador (CAD) como Alias y CATIA para crear la geometría. Se trata de la forma que tiene el programa de trabajar internamente.

Afortunadamente, no se requiere ninguna comprensión de las matemáticas para convertirse en un usuario experto de Alias ni de CATIA. Hay algunos términos técnicos que se utilizan para controlar las formas que diseñamos, pero simplemente se aprenden a medida que se aprende cada herramienta, y no necesitan ser entendidos de una manera matemática.

El principal beneficio de la utilización de NURBS es que el resultado obtenido no es una aproximación de una forma suave. Las matemáticas calculan una definición exacta de la forma de la superficie que sigue siendo lisa por muy cerca que se examine la superficie.

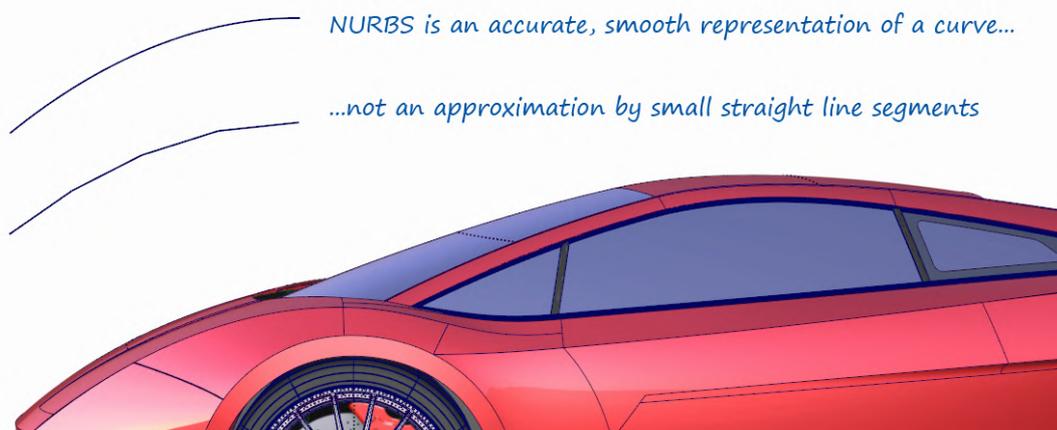


Figura 1. Diferencia entre curvas de tipo NURBS y las aproximaciones. [1]

Para mejorar la interacción entre el usuario y algunos programas de CAD, la representación de la curva que se proyecta en la pantalla es una aproximación mediante la sucesión de líneas rectas. No obstante, las matemáticas subyacentes a dicha operación son las que finalmente marcan la calidad del resultado durante la producción.

¿Por qué se utilizan las curvas de tipo NURBS?

Más allá de las matemáticas que forman la base de este tipo de modelado, existen una serie de factores que hacen que el trabajo con este tipo de curvas sea especialmente idóneo para la elaboración de productos en los que la calidad estética de las superficies y de los reflejos de la luz son factores determinantes. Estos son:

- **Flexibilidad** para crear superficies con formas esculturales.
- **Tensión** para mantener las superficies lisas sin ningún tipo de arruga.
- **Capacidad de alineación de los CV** (puntos de control) para crear uniones entre superficies imperceptibles al ojo humano.

Es este nivel de atención a la estética a la hora de modelar lo que convierte al NURBS en el modelado adecuado para superficies de clase A.

Una superficie NURBS es como se denomina a las superficies creadas con ese tipo de modelado o matemática interna. Estas superficies están definidas por una red de puntos de control, siendo estos últimos los que controlan la forma de la superficie, como si de una tela flexible se tratase.

"The layout of the surface data is the key to Class A modeling."

(Barry Kimball, Technical Product Manager – Autodesk Alias)

Esto significa que el flujo de las mallas de puntos de control a lo largo de las superficies es el factor más importante a la hora de alcanzar superficies de calidad de Clase A.

Un buen diseñador no solo debe controlar las formas que desea crear si no que, además, debe saber determinar la cantidad de puntos de control necesarios y la correcta alineación de estos para conseguir no solo la forma deseada si no también la calidad superficial requerida en el producto.

El modelado NURBS permite, cuando una pieza no se puede definir a través de sus dimensiones o geometría, modelar cualquier superficie de forma libre. Es decir, parte de la geometría ha de adaptarse a unas dimensiones establecidas para cumplir con la funcionalidad de la pieza, pero hay zonas muy concretas normalmente asociadas a detalles que han de ser creadas “a ojo” para lograr una buena distribución de reflejos y calidad estética.

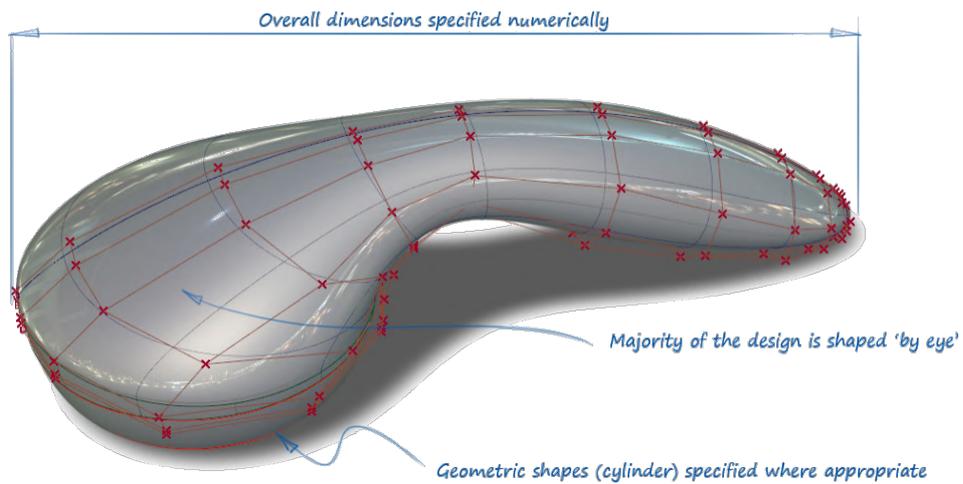


Figura 2. Elemento de fusión artístico-dimensional [1]

2.1.1. Puntos de control.

Como se ha comentado con anterioridad, los puntos de control (CV denominados en Alias o CP denominados en CATIA) son los puntos que definen una superficie NURBS de modo que, modificando estos, se adapta la forma de las curvas y superficies. Acorde a las características de la curva o superficie se puede trabajar con el número de puntos de control que se considere necesario.

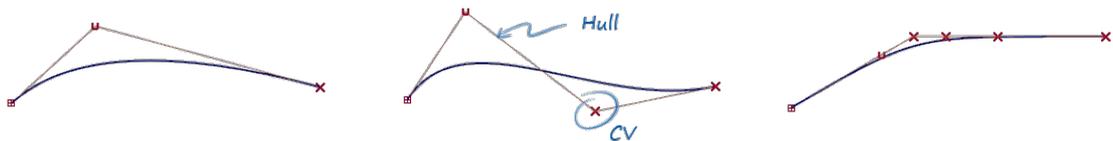


Figura 3. Definición de los puntos de control [1]

La cantidad de puntos de control es algo característico del tipo de pieza que se vaya a realizar.

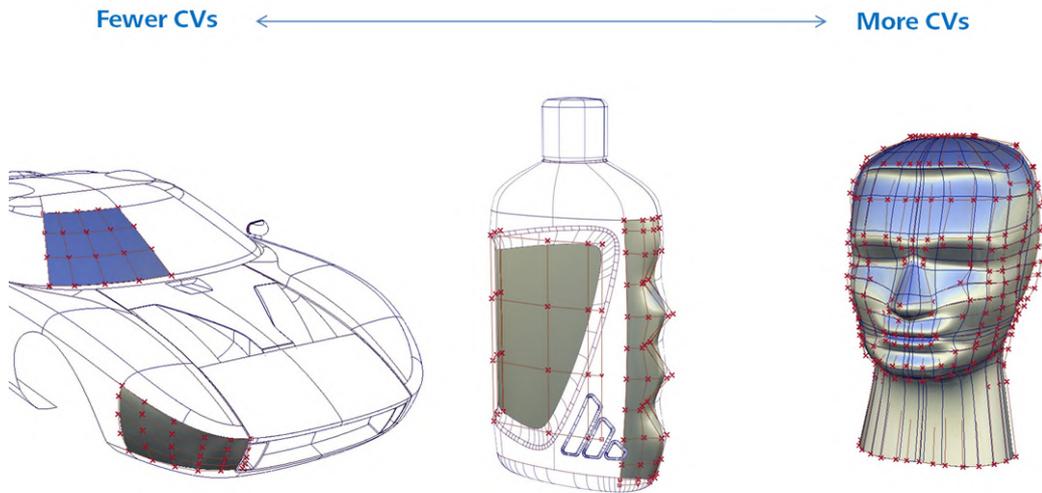


Figura 4. Diferentes ejemplos de superficies y sus puntos de control acorde a la complejidad. [1]

En la figura anterior se pueden observar diferentes aplicaciones de las superficies de NURBS.

- Un menor número de puntos de control permite mantener las superficies tensas y suaves en toda su extensión. Especialmente recomendado para productos de tipo “Premium”
- Por otra parte, hay algunos productos que no requieren de tanta calidad superficial pero cuyo diseño obliga a añadir más puntos de control para obtener las formas requeridas.
- Por último, diseños muy intrincados requerirán de un gran número de puntos de control.

Podría establecerse en primera instancia una correlación como la siguiente:



Figura 5. Diagrama de evolución de la cantidad de puntos de control

2.1.2. Tramos o intervalos. (“spans” en alias o “segments” en catia).

Un “Span” o “Segment” es la unidad de curva definida entre un punto inicial y final y controlada por los puntos de control que sean necesarios.

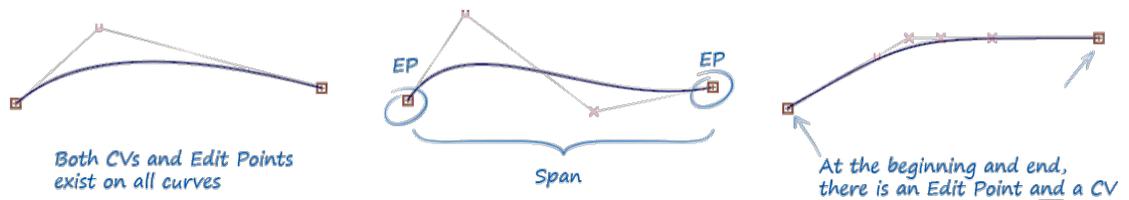


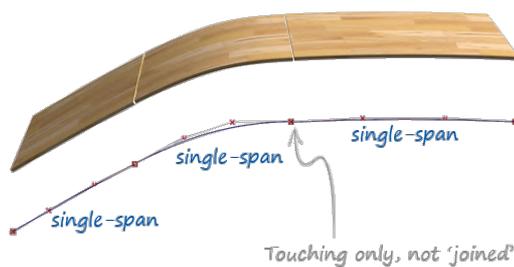
Figura 6. Definición de “Span” o “Segment” [1]

Se deben entender los “Spans” o “Segments” como una lámina única de un material como madera, metal o plástico. Estos materiales pueden flexionar, pero tienen la rigidez suficiente como para mantener una forma continua. De manera equivalente podemos entender las curvas como láminas de material de tipo NURBS.

Una curva compleja puede estar formada por uno o varios tramos.

Many, Single-Span curves

Take separate pieces, and place them together, touching at the ends. They remain separate and can be moved apart at any time.



One, Multi-Span Curve

Connect the separate pieces, to create a single piece that will flex and bend as a single item. (Like a physical join - sticky tape, or welding)

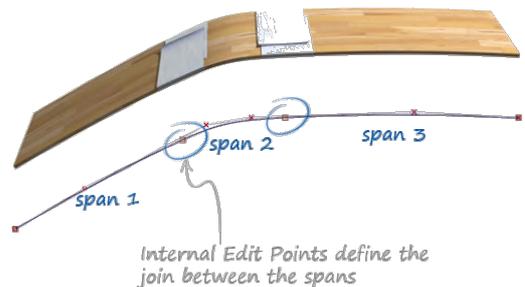


Figura 7. Superficie de múltiples tramos [1]

La principal diferencia entre las superficies “Single-Span” y las “Multi-Span” es que, en las primeras, el movimiento de uno solo de los puntos de control afecta a la totalidad de la superficie, mientras que, en las segundas, el movimiento se condensa entre el inicio y el final del tramo que se está manipulando.

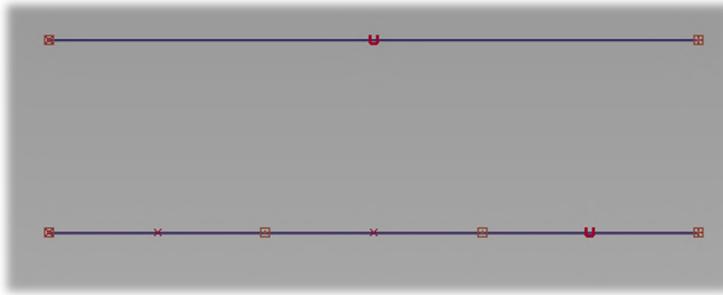


Figura 8. Misma Curva: Single-Span (arriba) y Multi-Span (3 Span, abajo)

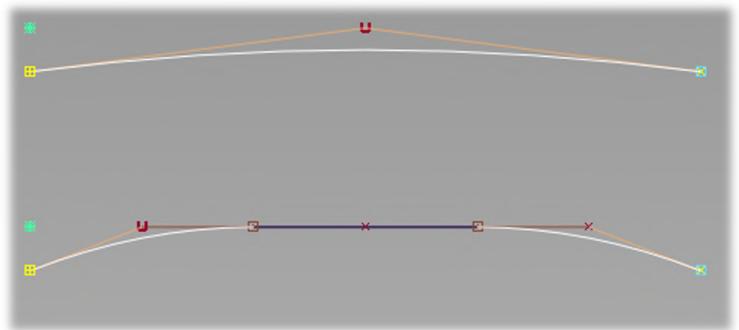


Figura 9. Respuesta al mismo movimiento de puntos de control

Como se puede observar en la figura, al “tirar” de los extremos hacia abajo, se obtienen resultados muy diferentes. Muchas veces es el propio programa el que avisa de alguna manera lo que está ocurriendo. En este caso al seleccionar el punto extremo se realiza la zona de acción de este, el *tramo* al completo.

En la curva superior se pierde la horizontalidad del centro de la curva mientras que en la inferior no.

Pese a que las superficies *Single-Span* siempre van a ser más continuas en lo que a curvatura se refiere, depende del resultado que queramos obtener la utilización de una configuración u otra.

2.1.3. Grado matemático que define la geometría.

Como se ha dicho el modelado NURBS es el modo matemático que tiene de trabajar el programa. Las curvas se definen a través de polinomios, donde el grado es el mayor de los exponentes.

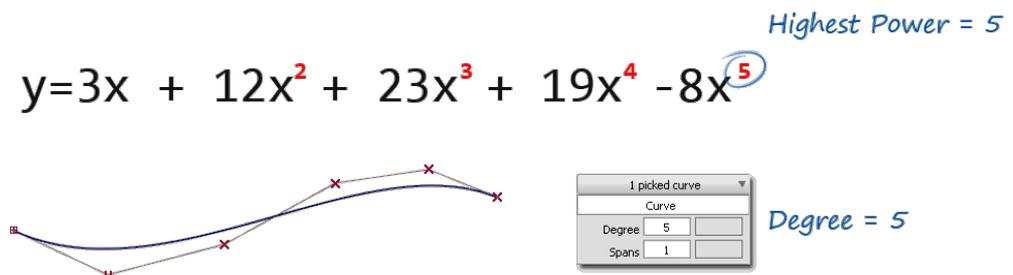


Figura 10. Grado matemático [1]

Cabe destacar la relación entre el grado y los puntos de control: a medida que se aumentan los puntos de control se incrementa el grado matemático de las curvas que forman la geometría pudiendo manipular la curva con mayor libertad y de forma más localizada.

Hay que añadir que la matemática que usa el programa internamente no es necesario que sea conocida por el diseñador. Simplemente ha de saber que las superficies NURBS trabajan mediante puntos de control.

El término grado es propio del lenguaje del programa Alias, en CATIA se habla de orden en vez de grado, siendo la equivalencia entre ambos términos la siguiente: orden (CATIA) = grado (Alias) + 1.

2.1.4. Puntos de control y curvas isoparamétricas

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el número de puntos de control viene determinado por el grado matemático que elijamos en la curva.

Las curvas isoparamétricas (del inglés “*Isoparms*”) están relacionadas de manera directa con estos puntos, ya que se crean mediante la proyección de estos a lo largo de la dirección de la superficie.

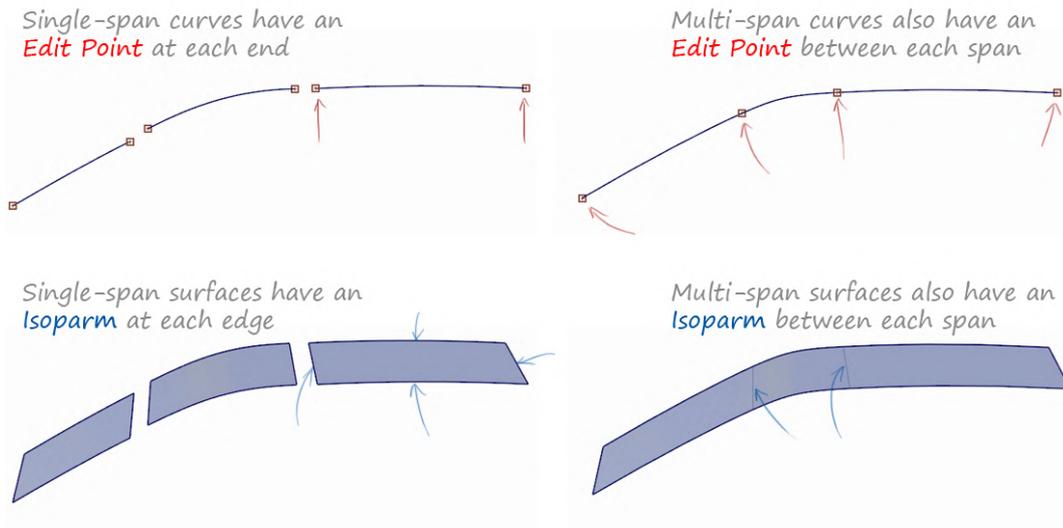


Figura 11. Puntos de control y curvas isoparamétricas [1]

2.1.5. Parámetros u y v.

Los parámetros U y V representan internamente las matemáticas que se utilizan para generar las curvas que forman una superficie. No obstante, el usuario de estas matemáticas utiliza estos parámetros únicamente para identificar las dos direcciones de una curva o superficie.

Normalmente las direcciones son irrelevantes a la hora de crear formas y pueden ser ignoradas, pero existen una serie de casos concretos, como es el de las superficies retorcidas, en los que estas direcciones cobran importancia. En estos casos el hacerlo en una dirección u otra producirá resultados diferentes.

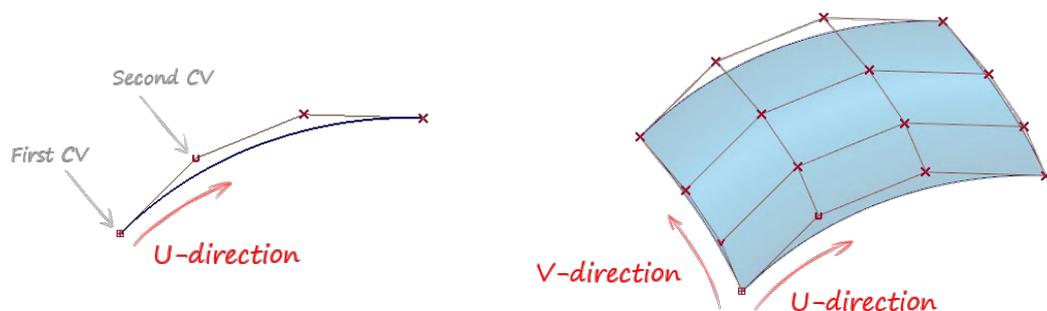


Figura 12. Direcciones U y V definidas en curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]

2.1.6. “HULLS” en Alias o “MESH” en CATIA

Aprovechando la figura anterior podemos definir este término muy utilizado dentro del modelado de superficies.

Los “Hulls” o “Mesh” son las líneas rectas que conectan los puntos de control que gobiernan una curva o superficie, cubriendo de extremo a extremo la longitud de esta (rectas rojas de la *Figura 12*).

Estas rectas tienen bastante importancia por dos razones principalmente:

- Permiten manipular una fila entera de puntos de control sin perder su posición relativa entre ellos
- Indican de manera visual el flujo de puntos de control a lo largo de la superficie.

2.1.7. Direcciones normales en curvas y superficies.

Las direcciones “normales” a las curvas y superficies siempre van a estar relacionadas con las direcciones U y V ya que nos van a mostrar su verdadera dirección en el punto en el que se mida.

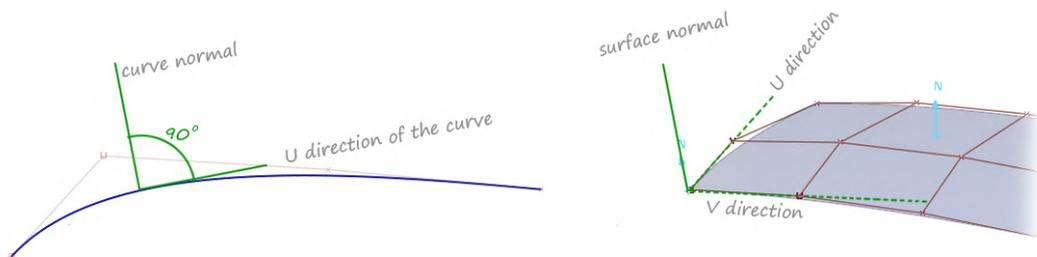


Figura 13. Normales a curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]

2.1.8. Círculos y revoluciones

En el modelado NURBS las formas circulares se clasifican en dos grupos principales:

- **Precisas:** mantienen el valor del radio constante en cualquier punto de la curva.
- **De forma libre:** definidas como un bucle cerrado en el que el valor del radio varía a lo largo de la curva.



Figura 14. Ejemplos de curvas circulares precisas y de forma libre [1]

En lo que a mallas de puntos de control se refiere, los programas de modelado de superficies presentan diferentes configuraciones a la hora de crear formas circulares o de revolución. Dependiendo de la forma final que se le quiera dar a las superficies será recomendable el uso de unos tipos u otros según se explica a continuación:

Periódicas

Formadas por un bucle regular de puntos de control. Mantiene una forma suave y cerrada cuando se manipulan los puntos de control.

Es bueno para definir formas pese a no ser completamente preciso.

No periódicas

Formadas por un bucle “abierto” con una distribución irregular de puntos de control.

Ideal para formas parciales de circunferencia.

Racionales

Reparte de manera no uniforme el peso¹ sobre los puntos de control.

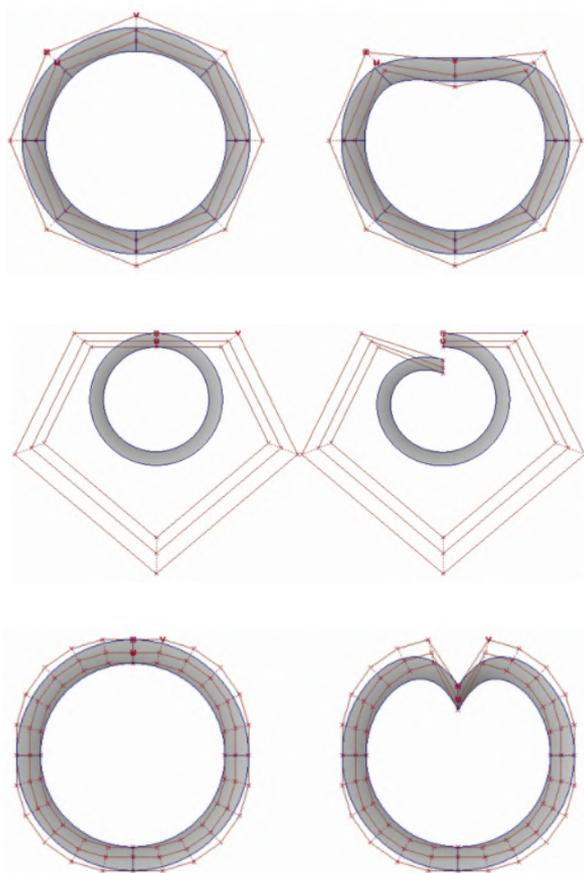


Figura 15. Tipos de circunferencias [1]

¹ Peso: influencia que tiene sobre la curva cada punto de control.

Gran precisión en el radio y poca capacidad de manipulación de los puntos de control.

Como ya se comentó al inicio de este texto, la “R” de NURBS significa *Rational* pero, para el caso de la construcción de formas circulares, podemos elegir que no lo sea. Entonces, a parte de las curvas de tipo racional que acabamos de explicar, se nos presentan otra de otro tipo:

No-Racionales

En estas curvas todos los puntos de control tienen el mismo peso sobre la forma final. Habitualmente se utilizan este tipo de curvas ya que los puntos de control se comportan de manera predecible durante su manipulación. Sin embargo, es muy difícil obtener curvas dimensionalmente precisas con este método.

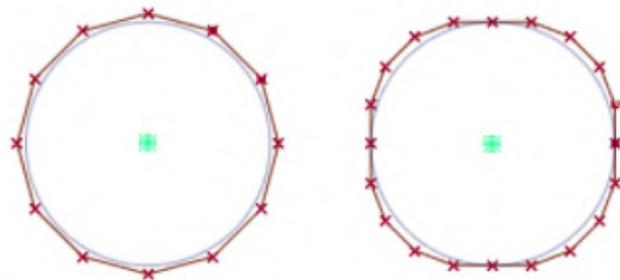


Figura 16. Diferencia entre círculo No-Racional (izq.) y Racional (dcha.) [1]

En la práctica, los modeladores no suelen utilizar los círculos de tipo racional ya que, como hemos dicho, muchas veces los resultados pueden ser inesperados o porque se hace muy difícil trabajar con ellos al no comportarse de manera predecible.

Una manera habitual de conseguir formas circulares con precisión sin recurrir a las curvas racionales es la de dividir la circunferencia en cuatro segmentos de 90 grados y aumentar el grado matemático de estos.

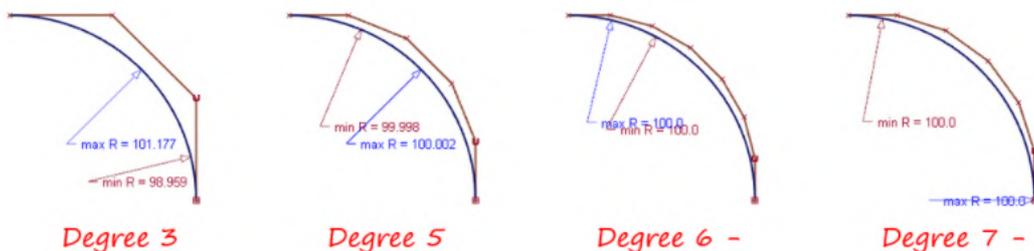


Figura 17. Precisión en los círculos No-Racionales [1]

2.1.9. Comparación del modelado nurbs con el modelado poligonal.

En este apartado se comparará el modelado NURBS con otro tipo de modelado muy común como es el poligonal, de modo que podrán visualizarse las diferencias de funcionamiento entre ambos y se justificará la elección del modelado NURBS para superficies de alta calidad superficial como son las superficies de clase A.

El modelado poligonal es uno de los tipos de modelado utilizado para crear diseños de forma libre definido mediante la posición de una serie de vértices que determinan planos (polígonos) en el espacio, los cuales permiten ver el objeto en tres dimensiones. Este se basa en representaciones completamente diferentes de la geometría y, por tanto, tiene diferentes métodos para controlar la flexibilidad del diseño. En el modelado NURBS se ha visto que dicho objetivo se consigue añadiendo puntos de control; en cambio, en el modelado poligonal se consigue aumentando el número de polígonos que definen la superficie haciendo que el resultado sea más preciso.

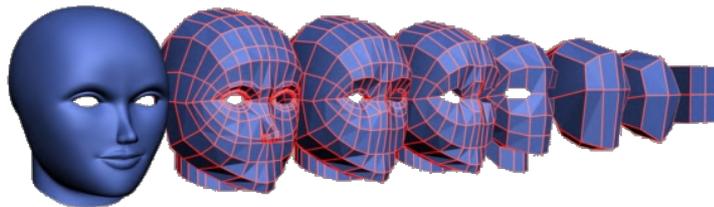


Figura 18. Modelado poligonal [1]

El modelado poligonal no se utiliza para diseños finales y de alta calidad debido a la falta de suavidad de la superficie resultante. El modelado poligonal es adecuado para la fase de prototipado y ensayos, pero a la hora de sacar el producto real a fabricación se hace necesario el uso de superficies creadas mediante el modelado NURBS.

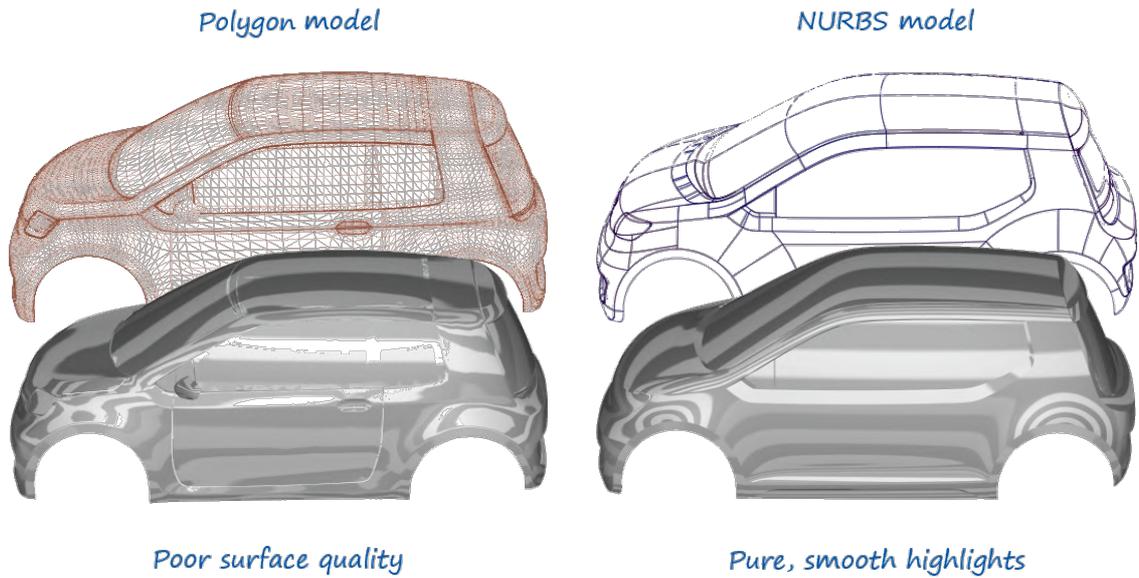


Figura 19. Diferencias en la calidad de los reflejos (Modelado poligonal a la izquierda y modelado NURBS a la derecha) [1]

2.2. NIVELES DE CONTINUIDAD

En el ámbito técnico, se diferencian dos ámbitos dentro del término continuidad.

- Continuidad interna propia de la curva o superficie.
- Continuidad entre dos curvas o superficies.

Esta segunda es la que se va a tratar durante este epígrafe.

Niveles de continuidad es el término utilizado para describir las características de la unión entre las diferentes superficies.

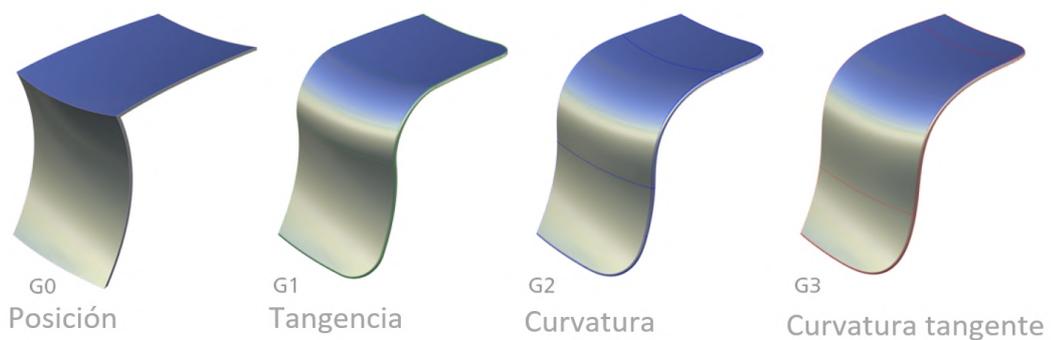


Figura 20. Definición visual de los niveles de continuidad [1]

Continuidad G0

Se trata de la continuidad a nivel de punto. Las dos superficies comparten una misma arista. Un fallo en esta continuidad se traduce en una brecha o agujero en la unión de las superficies. El error de este tipo de continuidad se mide en unidades de longitud representando la distancia existente entre los elementos que debieran permanecer unidos. Solo el punto de control extremo debe estar alineado.



Figura 21. Continuidad de tipo G0 [1]

Continuidad G1

Se trata de la continuidad en tangencia. Este tipo de continuidad garantiza la coincidencia de la tangente del final de uno de los elementos con la del inicio del siguiente, es decir, ambas líneas tangentes forman un ángulo de 180 grados. Un fallo en esta continuidad se traduce en la aparición de una arista no deseada. El error existente en este tipo de continuidad se mide en unidad angular representando el ángulo entre las normales a las tangentes (debiendo ser nulo en el caso de continuidad G1). El punto de control extremo y el siguiente deben estar alineados.



Figura 22. Continuidad de tipo G1 [1]

Continuidad G2

Se trata de la continuidad en curvatura. Este tipo de continuidad garantiza que el radio de curvatura del final de un elemento coincide con el de inicio del contiguo. El incumplimiento de este tipo de continuidad se traduce en la aparición de brillos y reflejos en la superficie. Una discontinuidad de tipo G2 se representa mediante el cálculo del tanto por ciento de desviación entre el valor absoluto de la diferencia de curvaturas dividido por la curvatura mayor. Los tres primeros puntos de control deben estar alineados.



Figura 23. Continuidad de tipo G2 [1]

Continuidad G3

Se trata de la continuidad en curvatura tangente. Este tipo de continuidad asegura la continuidad en curvatura y además la continuidad en el ritmo de variación de la curvatura entre ambas superficies. Los tres primeros puntos de control deben estar alineados y el cuarto debe encontrarse en una posición determinada por la curvatura de la superficie con la que se alinea.

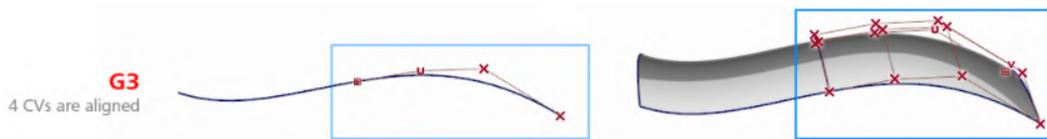


Figura 24. Continuidad de tipo G3 [1]

Es cierto que las curvas de menor grado matemático tienen mayor facilidad para crear superficies tensas, suaves y con reflejos continuos, pero a la luz de la información de este epígrafe se hace evidente que no siempre se puede trabajar con ese tipo de superficies.

Continuidad con más de una superficie

Para el caso de que queramos que una superficie sea continua con otras dos adyacentes, esta requerirá un grado matemático mínimo en función del nivel de continuidad deseado:

- Para continuidad G1 se requiere un grado mínimo dos (tres puntos de control), ya que los dos extremos nos darán la continuidad en posición y el intermedio en tangencia.
- Para continuidad G2 el grado mínimo requerido es cuatro (cinco puntos de control), ya que esta continuidad requiere que el extremo y los dos siguientes estén alineados de manera independiente para cada lado.
- Para continuidad G3 se requiere un grado mínimo seis (siete puntos de control), ya que esta continuidad requiere que el extremo y los tres siguientes estén alineados de manera independiente para cada lado.

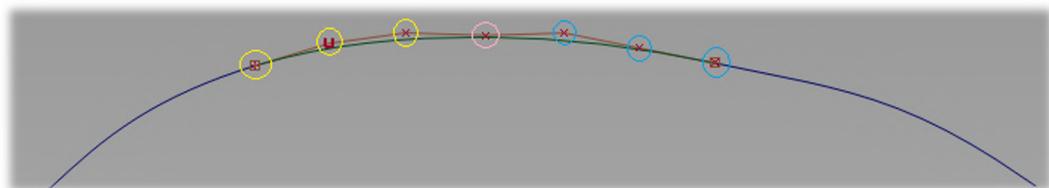


Figura 25 Ejemplo de alineación bilateral G3 con grado matemático mínimo.

Factor de forma

El factor de forma es un término que se acuña al pequeño rango de flexibilidad que permiten estos tipos de continuidad para poder jugar con la forma final de la superficie. Normalmente, esta flexibilidad viene marcada por la proximidad de los puntos de control centrales como ilustra la figura siguiente:

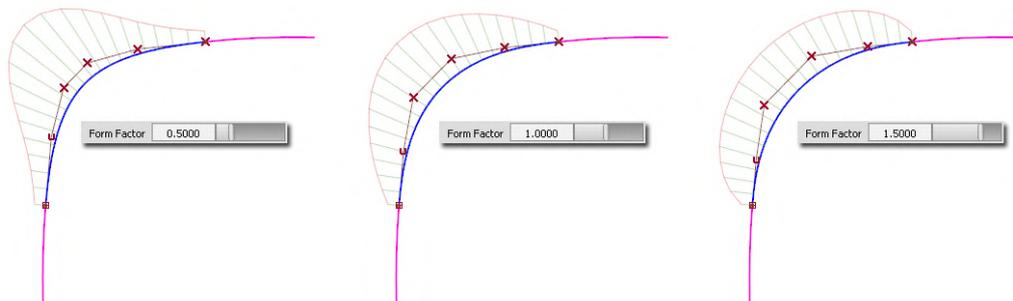


Figura 26. Influencia del Factor de forma [1]

Superficies alineadas

Pese a que, mediante la manipulación de puntos de control, se puede conseguir que prácticamente todas las superficies adquieran una continuidad G1 o G2 (no así con la de tipo G3), existen una serie de factores clave para que el resultado no sea tan complejo y trabajoso. Es por eso por lo que obtener dos superficies continuas suele ir de la mano de:

- Que las superficies no estén recortadas previamente en la arista de unión².
- Que las superficies tengan el mismo *grado* y *tramos* en la dirección de la arista de unión.

² Las aristas resultantes de una operación de recortado suelen ser extremadamente complejas. Por ejemplo, en aristas curvas suelen obtenerse curvas de grado 7 y más de 15 tramos.

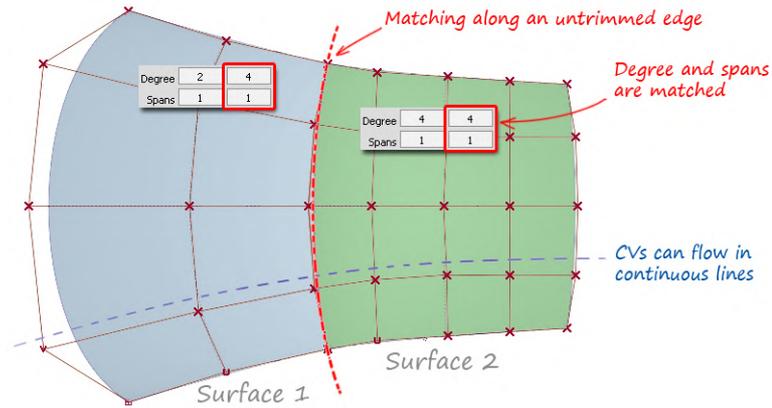


Figura 27. Ejemplo de superficies alineadas [1]

Se hace evidente que, según progresa el modelo, la probabilidad de trabajar con superficies alineadas se va haciendo cada vez menor y se acabará trabajando con casos más complejos según se acerque el cierre completo del modelo.

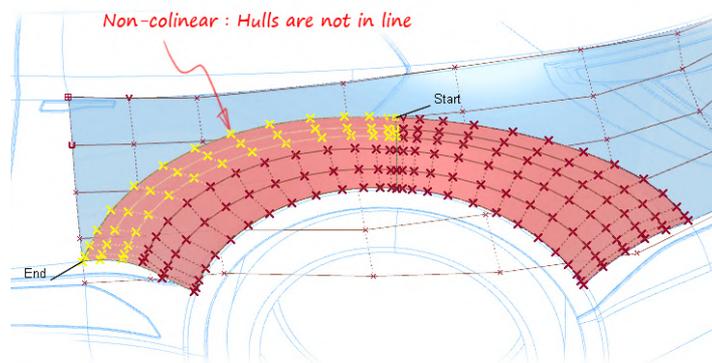


Figura 28. Ejemplo de superficies alineadas [1]

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO GENERAL EN MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A



Figura 29. Esquema del proceso de modelado

Como se puede apreciar el diagrama del proceso básico de modelado de superficies de clase A comprende un total de seis pasos. Los cuales pueden ser descritos a grandes rasgos como un proceso secuencial e iterativo en el que el camino general a seguir es construir las superficies de grande a pequeño, dejando para el final los detalles. Tras realizar determinadas superficies y a medida que se avanza en el proceso es necesario evaluar y analizar lo obtenido para determinar si es posible continuar o, por el contrario, se debe ir hacia atrás y arreglar algún aspecto.

3.1. PASO 0 - PREPARACIÓN PREVIA AL MODELADO.

En el modelado de superficies de clase A es muy importante una buena preparación y estructuración de las ideas previas puesto que de estas y de la formación de las primeras superficies va a depender el trabajo de los detalles finales, que es donde de verdad se trabaja para conseguir los niveles de acabado de clase A. De este modo, se puede deducir que la cantidad de trabajo que requiera el acabado final va a depender en gran medida de la calidad de la preparación previa al modelado.

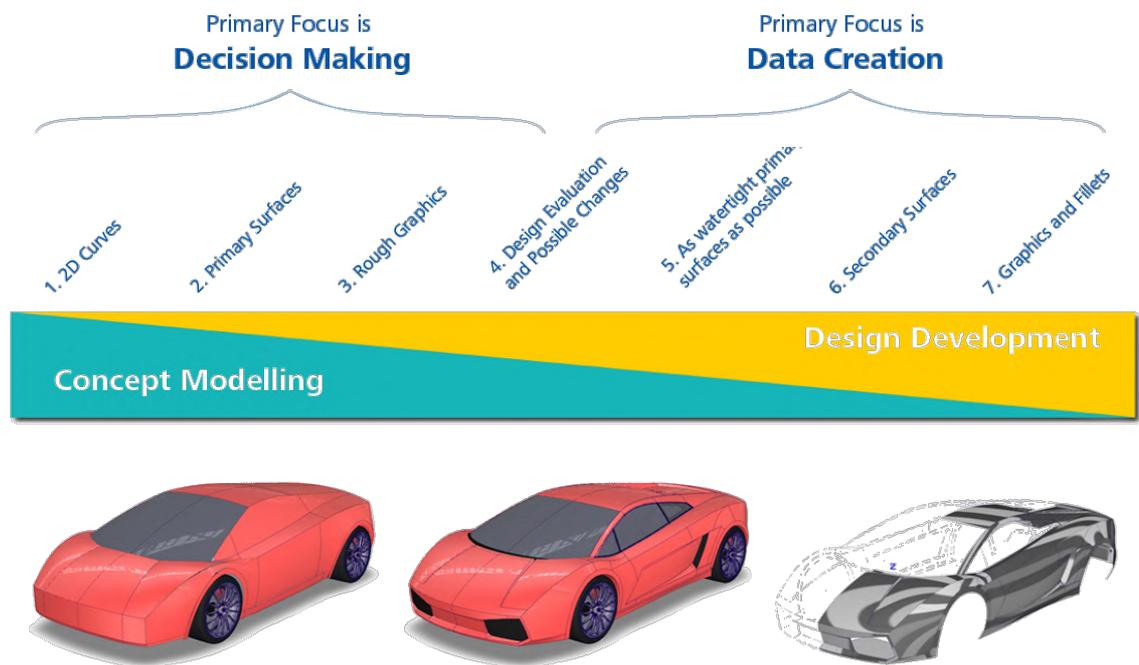


Figura 30. Esquema del proceso de modelado [1]

3.1.1. Tolerancias de diseño

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta durante la preparación previa son las tolerancias. En modelado de superficies de clase A debemos establecer las tolerancias antes del comienzo del modelado, puesto que, pese a poder cambiarlas durante el modelado, las operaciones anteriores a dicho cambio seguirán con las tolerancias antiguas. Esta es otra de las razones que hacen fundamental este trabajo previo al modelado. Es importante establecer una tolerancia adecuada al producto que se esté diseñando y teniendo en cuenta el proceso de fabricación del mismo. Esto es fundamental ya que se crean

modelos para exportar a otros sistemas CAD o para llevarlo directamente a producción.

Por ejemplo: el programa de la máquina de control numérico en la que se va a llevar a cabo la fabricación tiene definida una tolerancia de continuidad G0 (en punto) de 0,000100mm y el modelo ha sido creado con una tolerancia de 0,000500mm. El programa va a entender que no existen uniones entre las aristas de las superficies y, o bien salta un error, o bien la fabricación es defectuosa.

La configuración clave para la transferencia de datos entre sistemas CAD es la tolerancia máxima de espacio (continuidad G0 o en punto), ya que esto asegura que las superficies se encuentren unidas cuando se transfieren a un sistema de producción.

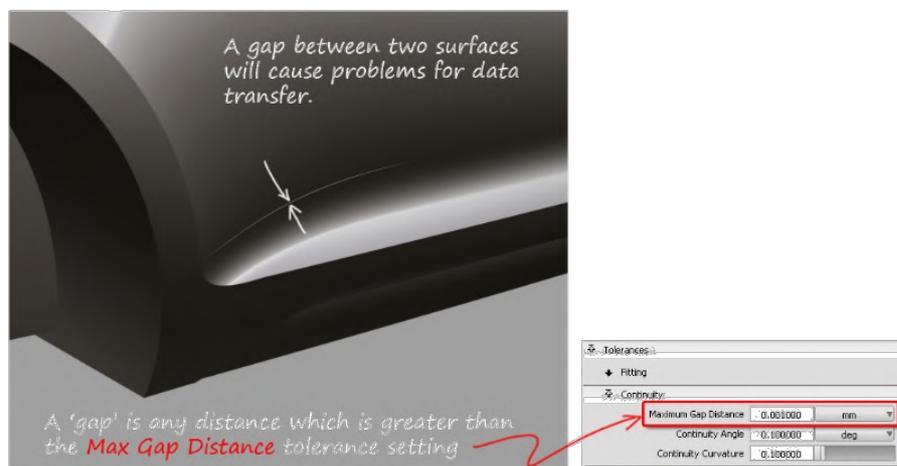


Figura 31. Tolerancia máxima de espacio o GAP [1]

Otro aspecto importante a tratar es saber cuánto exigir a las tolerancias. En este aspecto hay que añadir que no siempre hay que establecer las tolerancias en los ajustes más precisos posibles puesto que esto hará que los tiempos de cálculo sean excesivos y las superficies tengan demasiada pesadez en cuanto al grado. Normalmente cada empresa trabaja con sus propias tolerancias de diseño en función al tipo de trabajos que normalmente desarrolle.

Dependiendo de en qué etapa de modelado se esté, se pueden seguir una serie de recomendaciones:

- Si se está creando un modelo conceptual orientado al desarrollo de superficies y estudio de mejoras el cual no se utilizará para la producción entonces es aceptable usar tolerancias menos exigentes. El reducido tiempo de cálculo derivado de esto es idóneo para este tipo de trabajos dinámicos y en muchas ocasiones se basan en ensayo-error.

- Si el modelo se utilizará como base para la posterior producción de la pieza, es esencial escoger un conjunto de tolerancias ajustadas antes de comenzar a modelar las superficies. Este conjunto de tolerancias depende de múltiples factores, pero se puede acotar el GAP entre 0.01 mm y 0.001 mm para que tenga la cohesión suficiente como para ser producido.
- Si se está trabajando en el análisis de problemas y resolución de problemas, una práctica bastante habitual entre los modeladores es tener configurado unas tolerancias muy exigentes. Esto es muy útil a la hora de localizar con precisión los puntos en los que no se cumple la curvatura o bien para realizar las operaciones más complicadas con el fin de asegurar un resultado satisfactorio.

Una vez finalizadas dichas operaciones se vuelven a configurar las tolerancias normales de diseño.

3.2. PASO 1 – MODELADO DE LAS CURVAS QUE DEFINEN LAS SUPERFICIES

En los dos siguientes pasos, previos a la primera evaluación del diseño, se va a trabajar en el modelado de las dimensiones generales del modelo (modelado de bloques).

En primera instancia, se trazan en vista ortogonal los contornos básicos del producto que se vaya a diseñar. Cabe destacar en este punto la utilidad de módulos específicos que permiten la construcción de curvas a partir de bocetos y planos de la pieza como es *Sketch Tracer* de CATIA o el *SketchBook Pro* de Autodesk.

En este punto no es necesaria una calidad de acabado excelente en las curvas y tampoco se deben tener en cuenta los redondeos de los extremos. Es tarea del modelador experimentado intuir dónde se encuentran las intersecciones teóricas de las superficies viendo el sketch o plano realizado con formas suaves.

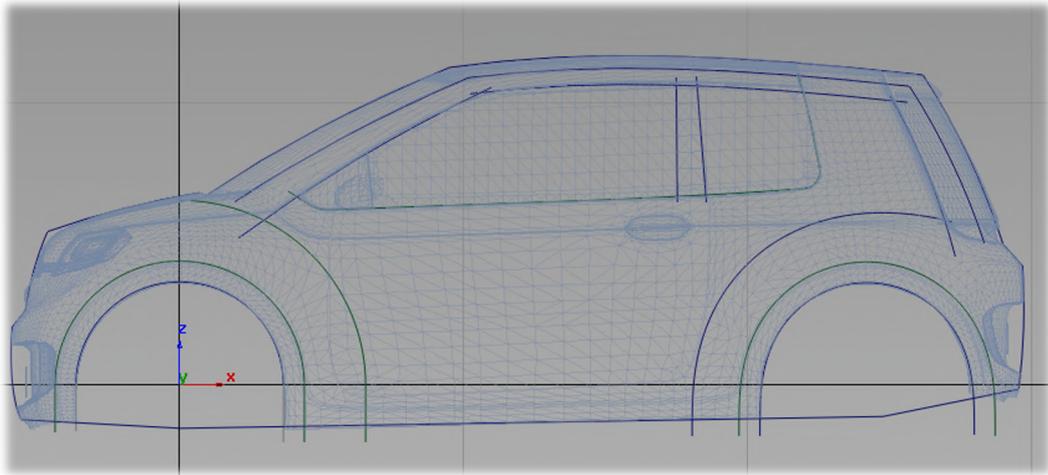


Figura 32. Ejemplo de curvas básicas de un vehículo [1]

3.3. PASO 2 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES PRIMARIAS

Una vez se tienen las curvas de apoyo, se construyen las superficies primarias. Las superficies primarias son aquellas que dan el aspecto visual básico a la pieza, es decir, con ver esas superficies primarias quedan definidas las dimensiones generales de la pieza, aunque esta aún no se vea estéticamente agradable ni acabada.

¿Por qué se actúa así? Pues bien, cuando el diseño de la superficie deseada está formado por parches complejos es una buena costumbre comenzar creando en primer lugar las superficies grandes, las cuales suelen caracterizarse por tener una curvatura más suave y controlada. Por otro lado, las superficies pequeñas normalmente sirven de nexo entre grandes superficies y por lo tanto suelen formar geometrías más complejas y curvaturas más extremas. Para ello es importante tener definidas claramente con anterioridad las superficies grandes donde las pequeñas se apoyarán. En definitiva, se trabajarán las superficies de grandes (primarias) a pequeñas (secundarias y terciarias).

Red surfaces first
Green Surfaces second
Blue Surfaces third

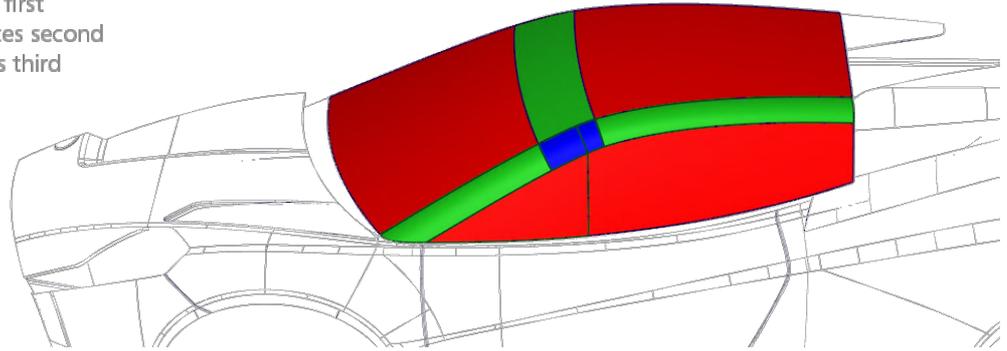


Figura 33. Descripción visual de los tipos de superficies [1]

Es una buena costumbre modelar las superficies primarias con bordes afilados o teóricos antes de realizar cualquier operación de acabado como redondeos, chaflanes, etc. El resultado será una forma más disciplinada y controlada, de modo que será más sencillo modificarlo posteriormente si fuera necesario.

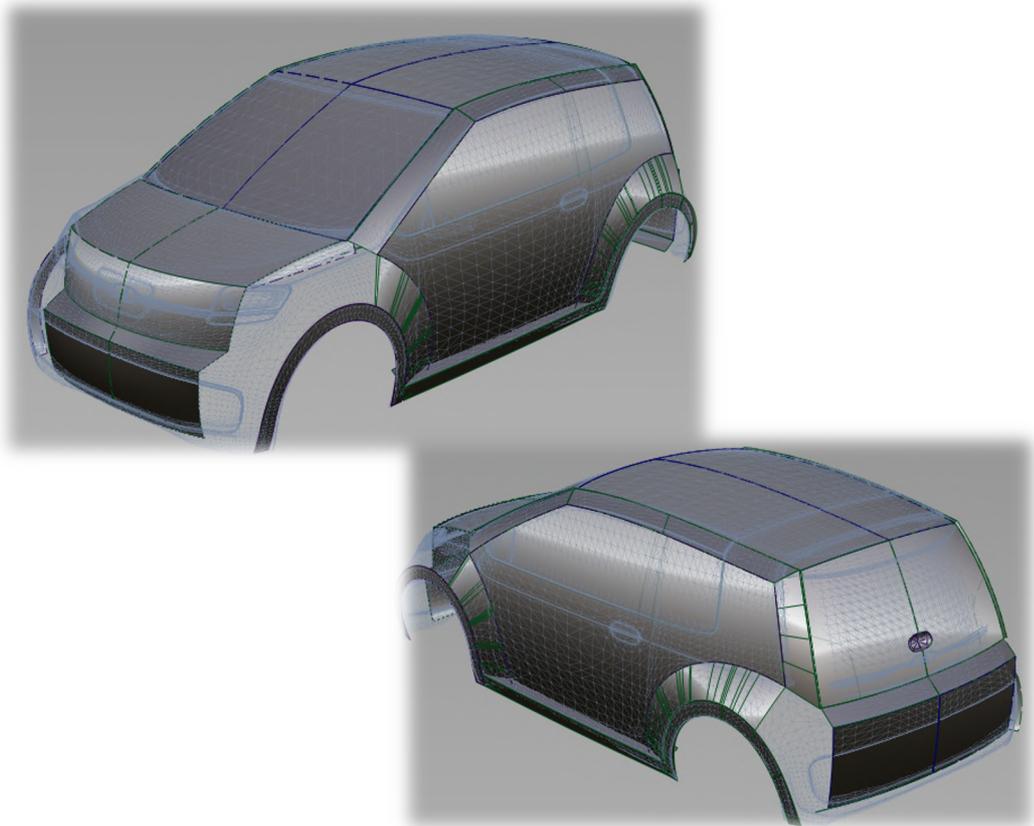


Figura 34. Superficies primarias y secundarias en un modelo [1]

3.4. PASO 3 – EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO

Como se ha dicho, tras el modelado de las superficies primarias se obtiene una aproximación de la pieza que se caracteriza por dar las formas primitivas de la futura pieza acabada, es decir, llegados a este punto podemos ver cómo es la pieza a grandes rasgos.

Este punto es importante al igual que lo era el primero (preparación previa al modelado) porque esta será la base para lo que venga después. Se ha de ser consciente de las operaciones que pueden acarrear las superficies con las que se cuenta hasta aquí y decidir si hay algo que modificar o es viable seguir. Puede ocurrir que debido a un mal diseño de las superficies primarias se dé la imposibilidad de conseguir posteriormente un buen acabado acorde con una superficie de clase A.

3.5. PASO 4 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES SECUNDARIAS Y Terciarias

Una vez se ha tomado la decisión de que el diseño previo de las superficies primarias es adecuado, se modelan las superficies secundarias y terciarias. Estas son aquellas que van definiendo la forma final de la superficie siendo las secundarias las que ya conforman prácticamente el diseño final y las terciarias los pequeños detalles que aseguran la continuidad y la fluidez esperadas en los reflejos de la luz en superficies de clase A.

Las superficies primarias pueden tener pocas o ninguna restricción de borde, por lo cual es sencillo crear un buen flujo de puntos de control. En cambio, las superficies secundarias normalmente tienen restricciones en dos de los cuatro lados, por lo que requerirán más puntos de control y tramos para cumplir con las restricciones. Por otro lado, las superficies terciarias tienen restricciones de continuidad en los cuatro bordes (por eso se las conoce como superficies de cierre), por lo cual son las que requieren de mayor control y trabajo a través de puntos de control.

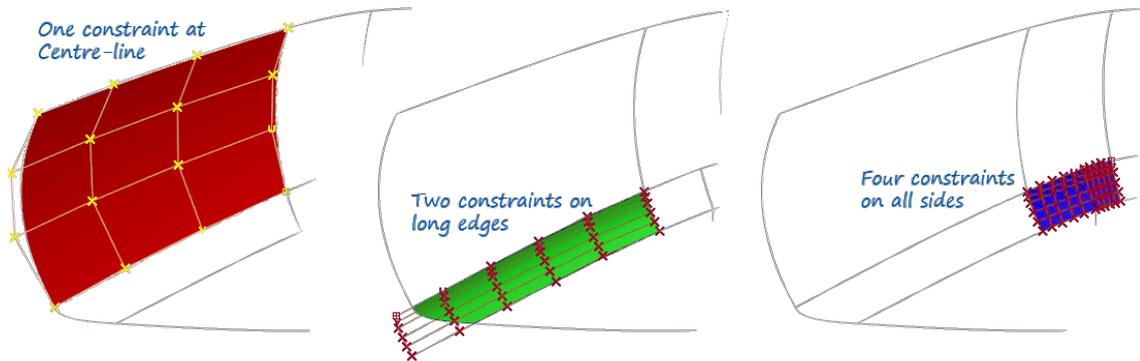


Figura 35. Descripción visual de los tipos de superficies [1]

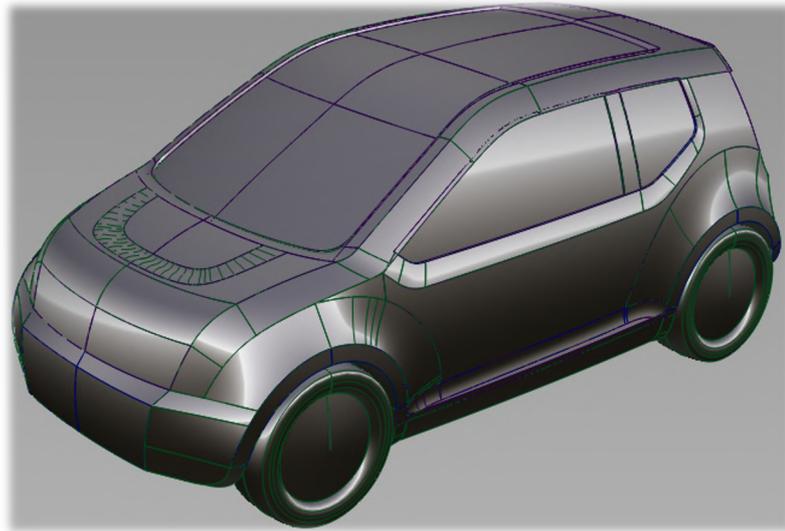


Figura 36. Ejemplo de modelo con los tres tipos de superficies [1]

3.6. PASO 5 – ANÁLISIS DETALLADO DE LAS SUPERFICIES FINALES

Comúnmente, el grueso de los análisis de superficies se suele hacer tras la última etapa del modelado. No obstante, es altamente recomendable ir realizando pequeños análisis a medida que se van creando superficies con el fin de asegurarse que no se comete ningún error que pueda acarrear el borrado de un montón de superficies al final del proceso

Estos análisis pueden ser:

- Análisis visual de curvas, bordes e isoparamétricas a través de peines de curvatura.

- Análisis visual de superficies mediante líneas de reflexión.
- Análisis mediante la evaluación de la curvatura de la superficie.
- Análisis mediante la evaluación de la conexión entre curvas o superficies.

3.6.1. Evaluación mediante peines de curvatura

Es posible evaluar la curvatura de una línea usando un diagrama de peine. Se puede aplicar a curvas, bordes de superficies e isoparamétricas.

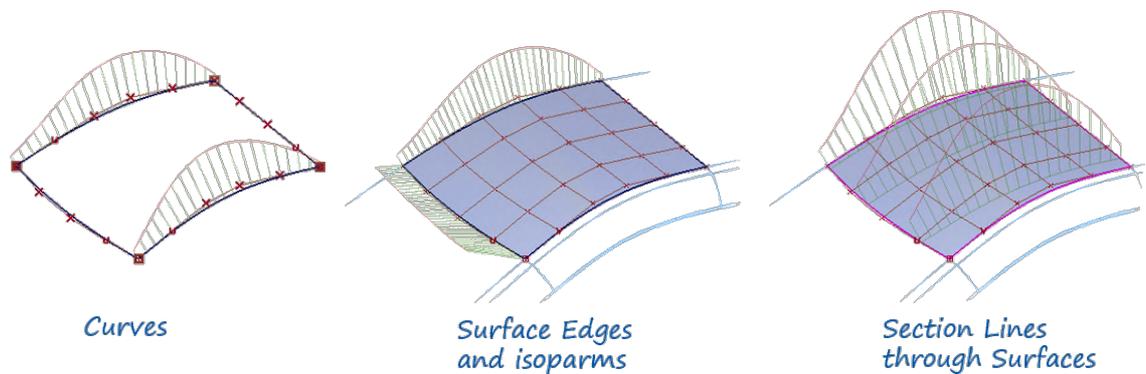


Figura 37. Diferentes diagramas de peine [1]

La curvatura se calcula como la inversa del radio en cualquier punto. El peine de curvatura es el gráfico que muestra este dato en puntos discretos a lo largo de la curva. Lo que da información acerca de la suavidad de la forma que crea la curva es la variación de la curvatura, es decir, el flujo.

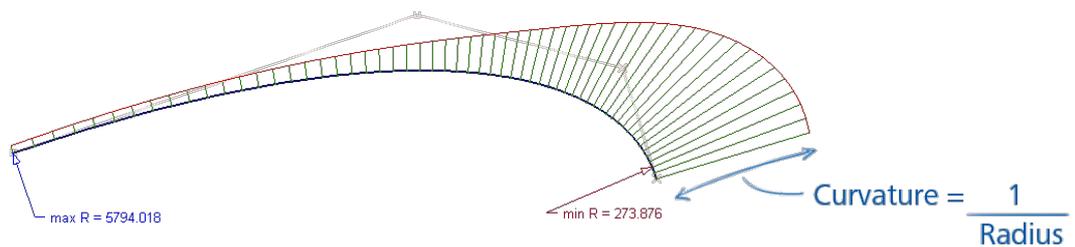


Figura 38. Definición de curvatura [1]

- La **longitud** de cada línea representa el valor de la curvatura.
- La **dirección** de la línea es la normal a la curva en dicho punto.
- La **línea roja** representa el flujo de curvatura, también conocido como el “carácter de la curva”.

Los diagramas de peines pueden ser **constantes**, presentar **aceleración**, presentar puntos de inflexión o tener **discrepancias** entre los tramos. Se entiende discrepancia como falta de continuidad entre ambos tramos de una curva, es decir, radios de curvatura diferentes en el mismo punto.

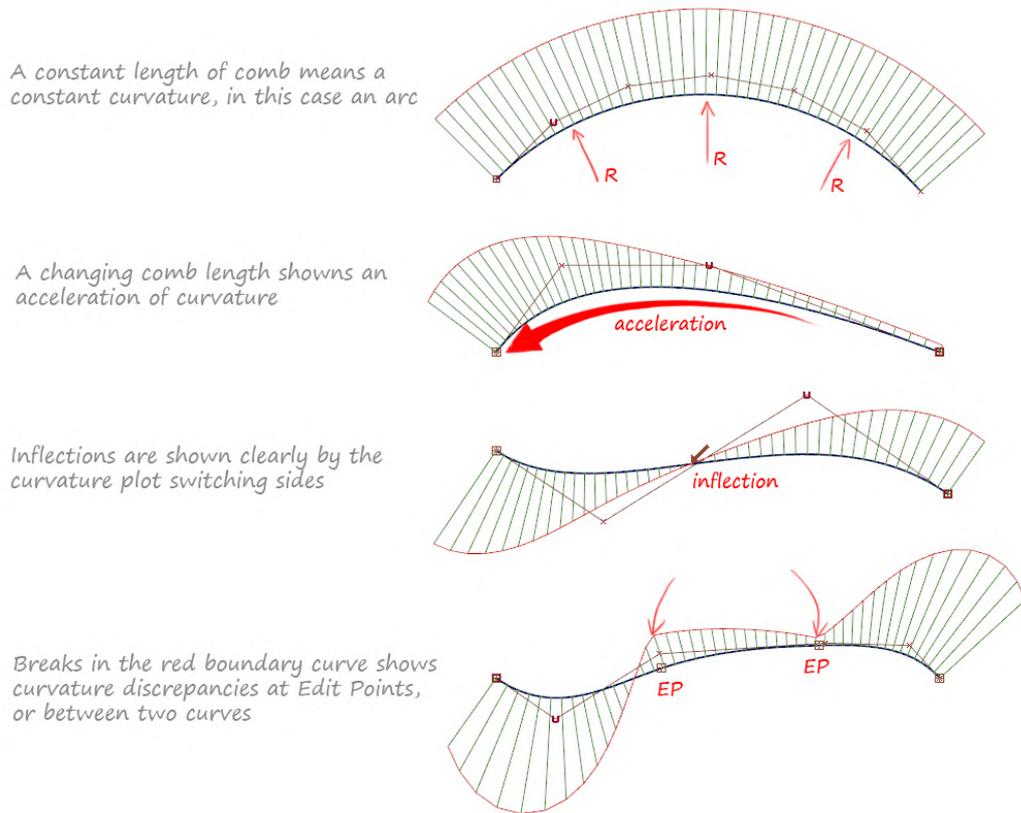
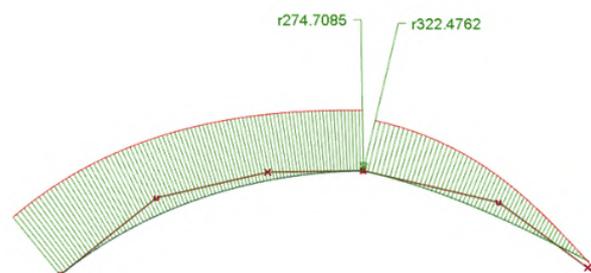


Figura 39. Diferentes diagramas de peine [1]

Ya se ha visto como analizar los peines de curvatura para una curva aislada y como el flujo muestra como es la suavidad de esa curva. Ahora tomando como ejemplo un caso parecido al último de la figura anterior en el que se analiza una curva con más de un tramo, se va a diferenciar los tipos de continuidad mediante la sola visualización de los diagramas.

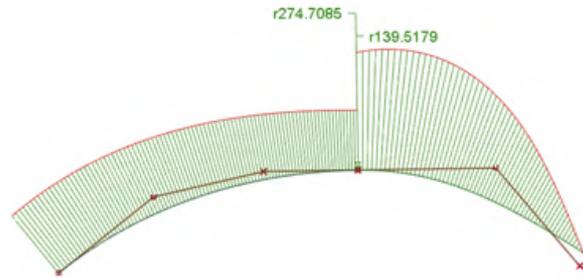
Continuidad G0

Los extremos coinciden formando un ángulo entre los diagramas.



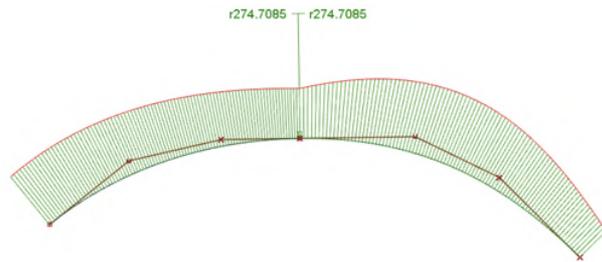
Continuidad G1

Los extremos coinciden en posición y en ángulo de diagrama. Discrepancia en los radios de curvatura.



Continuidad G2

Los diagramas coinciden en radio, pero sus líneas de flujo no son tangentes.



Continuidad G3

Los diagramas presentan el mismo radio y sus curvas de flujo son tangentes. Es por esto por lo que se conoce a este grado como “Continuidad en curvatura tangente”

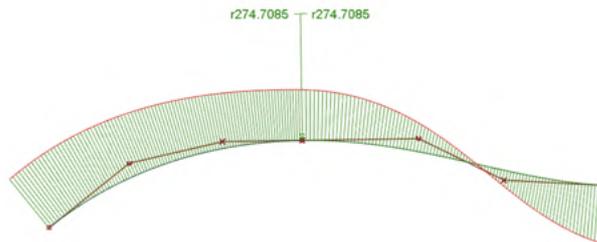


Figura 40. Descripción de los niveles de continuidad según los peines de curvatura [1]

3.6.2. Evaluación mediante líneas de reflexión o reflejos

Una de las maneras más visuales de evaluar las superficies son las líneas de reflexión o reflejos. La superficie refleja un conjunto de líneas de ancho constante, dicha reflexión es la que se utiliza para analizar la superficie y detectar roturas en la continuidad de las superficies (Véase Figura 41) o variaciones irregulares que puedan indicar problemas estéticos o funcionales.



Figura 41. Diferentes resultados según la continuidad [1]

Este tipo de análisis es dinámico, es decir, el programa calcula para cada instante la normal del ángulo de visión respecto a las superficies y reproduce el diagrama de líneas en función de la posición de la visual. Según se rota o se mueve la vista con el cursor, el diagrama se mueve con él.

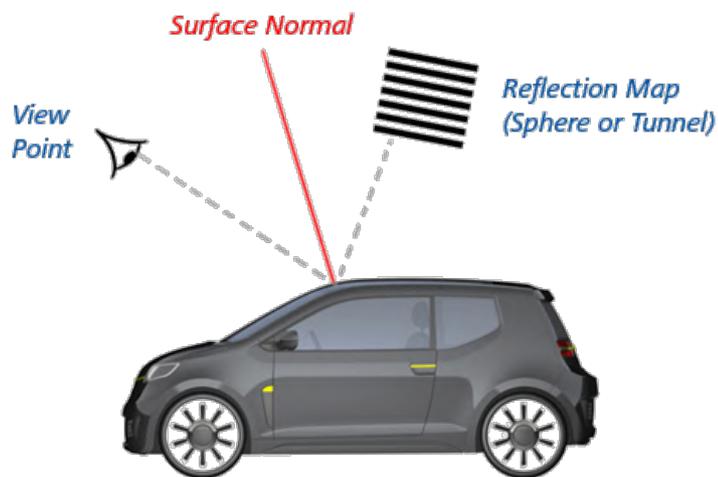


Figura 42. Representación de las líneas de reflexión [1]

Tipos de líneas de reflexión

Hay dos tipos de obtener las líneas de reflexión:

- Mediante túnel de luz. Este tipo de reflexión es lento de configurar y usar, pero es el que más se asemeja a la realidad. Consiste en reflejar

un túnel de luz cilíndrico en que se puede manipular y cambiar la dirección y la escala de las tiras de luces. En este tipo de análisis el modelo y el túnel de luz permanecen en la misma posición relativa entre sí al girar la vista.

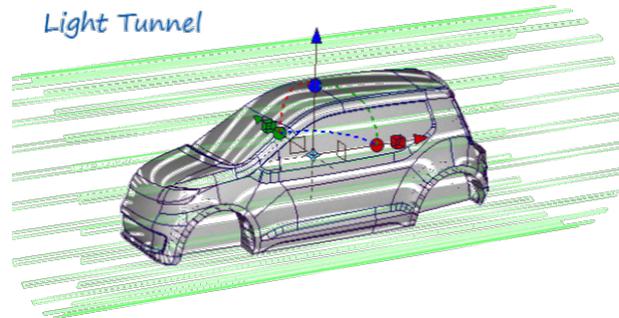


Figura 43. Análisis de túnel de luz [1]

- Mediante líneas verticales u horizontales. Es un método rápido de utilizar y aceptable para desarrollo de conceptos puesto que no es tan semejante a la realidad como el anterior. Se utiliza principalmente para la comprobación de la continuidad de la superficie. Cuando se gira la vista los reflejos se mueven a través de la superficie y se pueden colocar donde deseemos analizar la superficie.



Figura 44. Análisis tipo Zebra Stripes [1]

3.6.3. Evaluación mediante iso-ángulos

Los iso-ángulos representan líneas de ángulo constante. El ángulo se calcula entre las normales de la superficie y una sola dirección paralela (vector). Las áreas de la superficie con el mismo ángulo que el vector se muestran con una iso-línea conectada.

Se trata de un análisis que muestra con bastante precisión las propiedades reflectantes de una superficie. Por lo tanto, es el análisis que más se

recomienda utilizar a la hora de producir superficies que se vayan a llevar a producción.

Este tipo de análisis es estático, es decir, por mucho que el modelador se desplace alrededor del modelo, las reflexiones van a permanecer inmóviles. Incluso si se inicia otro análisis o se modifica alguna superficie, los parámetros del iso-ángulo no van a variar. Esto supone una gran ventaja ya que permite comparar diferentes variantes de las superficies y ver cuál es la que produce unos reflejos más suaves y continuos.

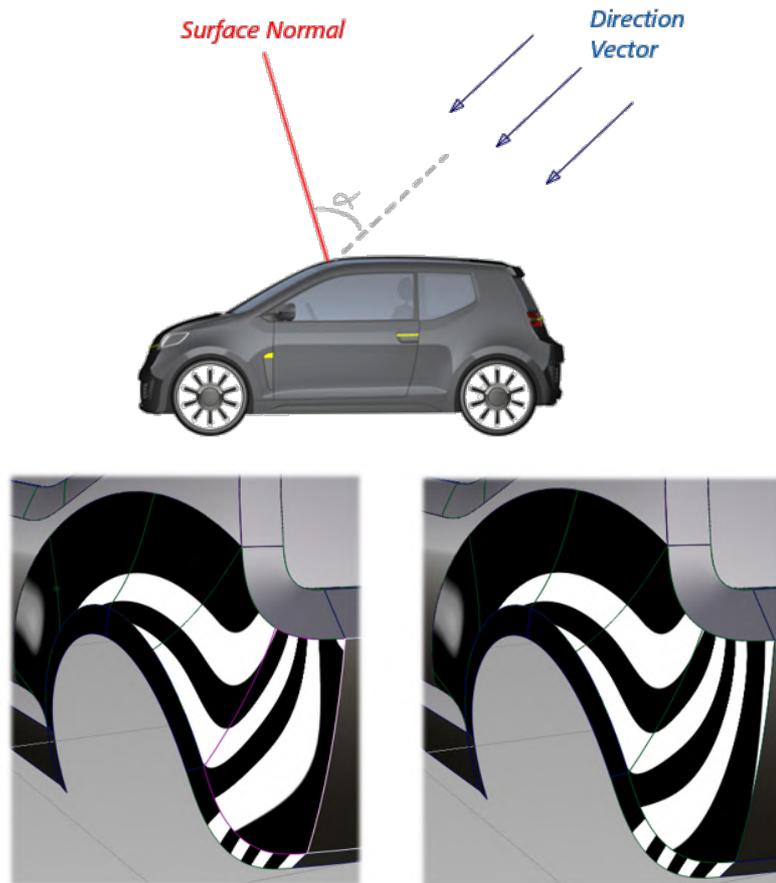


Figura 45. Análisis mediante iso-ángulos [1]

Cabe destacar que esta herramienta de análisis sólo se puede encontrar en Alias, no estando disponible como tal en CATIA.

3.6.4. Evaluación mediante curvatura de la superficie

Este análisis permite mostrar de manera gráfica con un código de colores los valores de la curvatura a lo largo de la superficie. Este análisis se puede programar para que muestre la curvatura en dirección U, V o las dos combinadas como se puede observar en la figura siguiente.

También resulta muy útil desplegar los diagramas de peine a lo largo de las diferentes direcciones para así poder corroborar si el flujo de curvatura es continuo o presenta cambios bruscos.

Sin embargo, la curvatura de la superficie es generalmente más compleja de usar e interpretar que la curvatura de la propia curva, porque cada punto de una superficie puede tener diferentes valores de curvatura, según la dirección que se elija evaluar.

Antes de poder calcular correctamente la curvatura de la superficie, es esencial que todas las normales de la superficie apunten en la misma dirección.

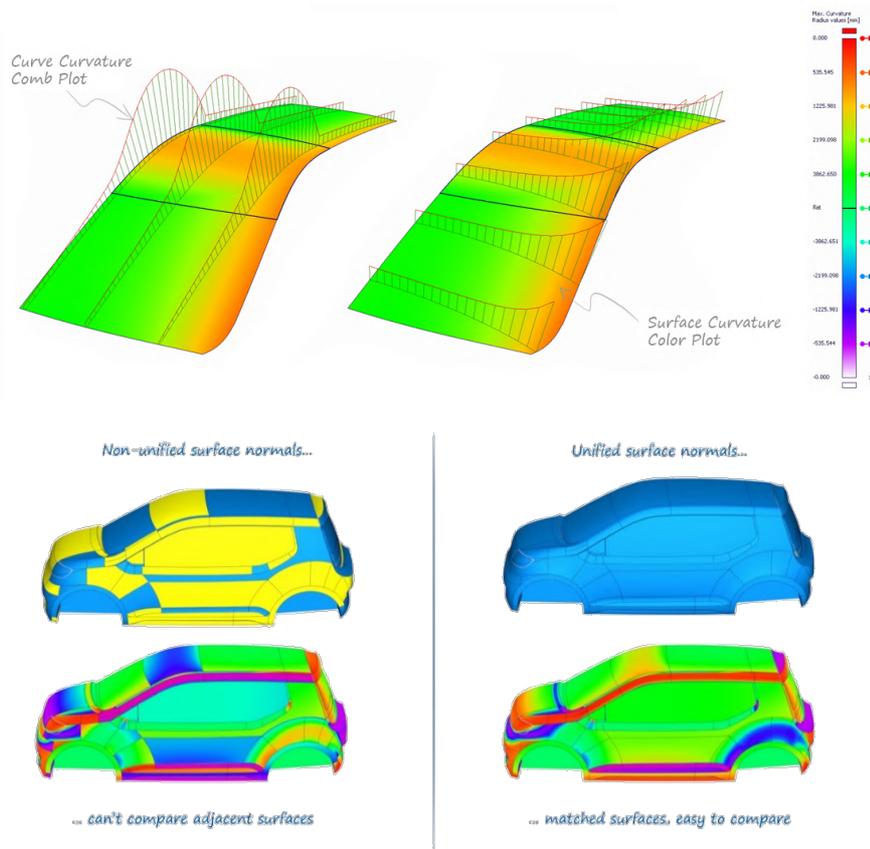


Figura 46. Análisis mediante diagramas de curvatura [1]

3.6.4.1. Direcciones de curvatura de superficie múltiple

El sombreado de curvatura toma muestras de muchos puntos de la superficie. En cada punto, la curvatura podría evaluarse en cualquier dirección y encontrar un valor diferente para cada uno.

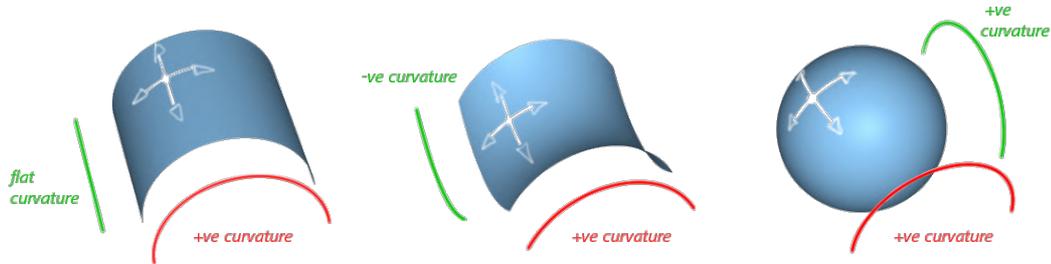


Figura 47. Tipos de curvatura en elementos geométricos básicos [1]

Debido a esta complejidad, existen tipos de curvatura adicionales que se pueden usar para tareas particulares: Mínimo Principal, Máximo Principal, Media y Gaussiana.

Principal de mínimo o máximo.

En cada punto de la superficie, el software encuentra qué direcciones de una superficie tienen el radio más pequeño / más grande.

El Máximo Principal encuentra la curvatura más extrema y es útil para mostrar cambios bruscos en la dirección de la superficie. También se puede utilizar para buscar radios inferiores a los que se pueden conseguir durante la producción de la pieza.

El Mínimo Principal encuentra la curvatura más plana y puede usarse para encontrar áreas que son demasiado 'planas' que podrían causar problemas de resistencia en grandes prensados de metales.

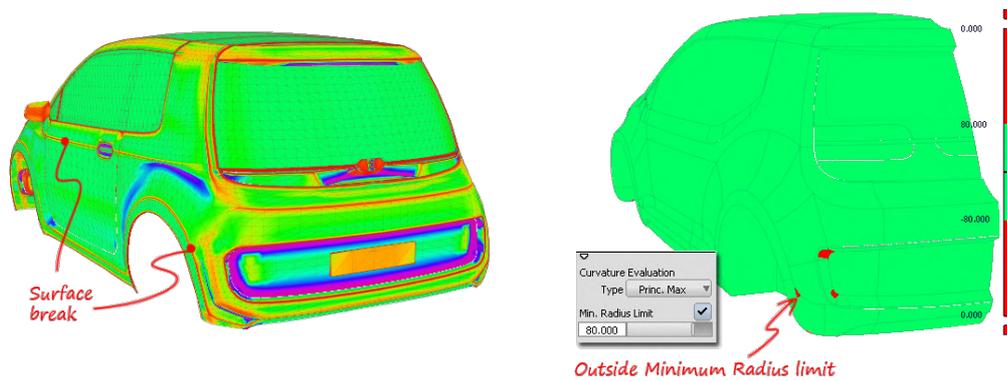


Figura 48. Curvatura de mínimo o máximo [1]

Media.

La curvatura media calcula la media aritmética de las dos curvaturas principales:

$$\text{Curvatura media} = (\text{Máx. Principal} + \text{Mín. Principal}) / 2$$

Ecuación 1. Curvatura media [1]

La curvatura media proporciona la indicación más intuitiva del carácter de las superficies, pero es menos útil para analizar condiciones específicas.

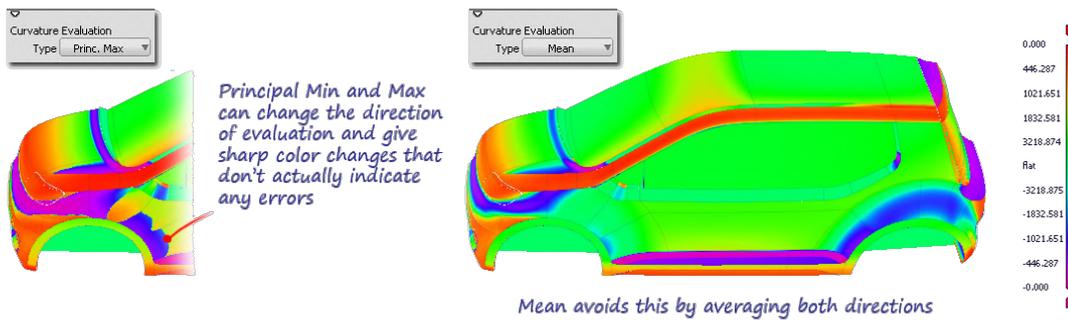


Figura 49. Curvatura media [1]

Gaussiano

La curvatura gaussiana calcula la media geométrica de las dos curvaturas principales:

$$Gaussiano = Principal Max * Principal Min$$

Ecuación 2. Gaussiano [1]

Este tipo de curvatura es buena para identificar inflexiones y para localizar superficies de silla, pero no es útil para una apreciación más general del carácter de la superficie.

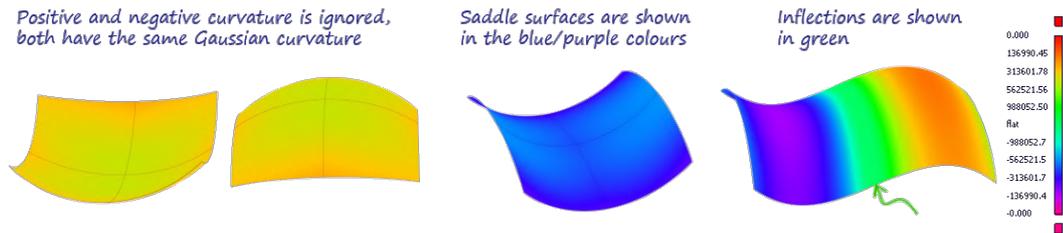


Figura 50. Identificación de superficies de silla o inflexiones [1]

Uso de la curvatura en la Ingeniería Inversa

Otro de los grandes atractivos de los gráficos de curvatura se encuentra en el campo de la ingeniería inversa.

Existen aplicaciones específicas dentro de los programas de modelado de superficies que nos permiten introducir datos en forma de mallas procedentes de un escáner 3D.

Mediante estas mallas, los programas son capaces de dar forma a los sólidos y de encontrar aquellos puntos en los que las curvaturas son máximas. Estas zonas sirven para indicarnos los lugares en los que se podrían encontrar las intersecciones teóricas de las superficies primarias siendo de gran ayuda en los primeros pasos de desarrollo del modelo.

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

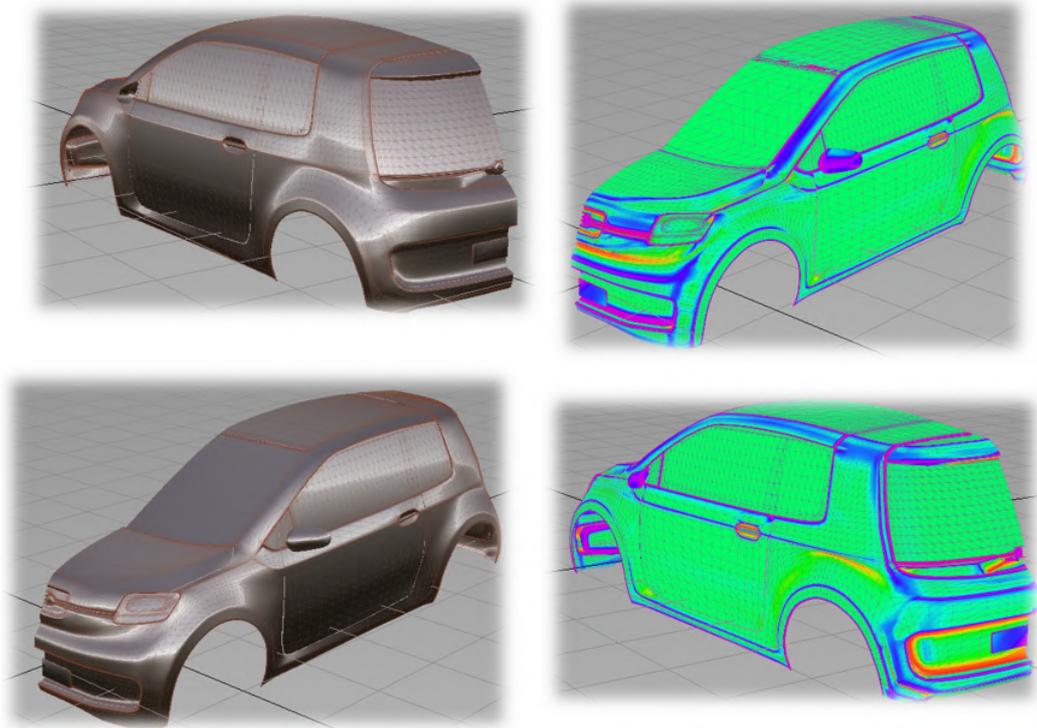


Figura 51. Identificación de bordes utilizando diagramas de curvatura [1]

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

4. REGLAS DE ORO DEL MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A

A continuación, se mostrarán una serie de consejos y recomendaciones a la hora de modelar y trabajar con superficies de clase A para obtener buenos resultados

4.1. REGLA DE ORO Nº 1 – UTILIZAR CURVAS Y SUPERFICIES DE UN SOLO TRAMO O PARCHE.

Siempre que se pueda, es recomendable la utilización de curvas o superficies de un solo tramo ya que, por naturaleza, no presentan discontinuidades y son inherentemente suaves.

Por otra parte, las curvas o superficies de múltiples tramos pueden presentar discontinuidades en las zonas de unión de estos. Esto no supone un problema mientras se asegure una buena continuidad entre los diferentes tramos a medida que se crean las superficies, pero es algo que resulta muy pesado y complejo, llegando a ser en algunas ocasiones imposible de conseguir.

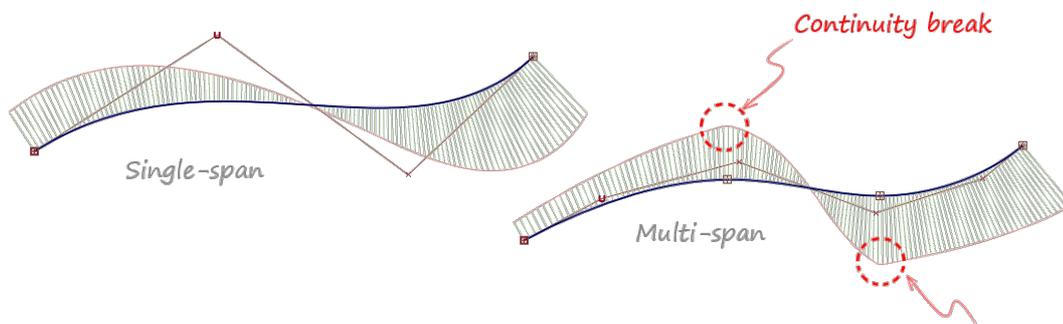


Figura 52. Diferencia entre curva Single-Span (izq.) y Multi-Span (dcha.) [1]

Además, cabe destacar la influencia del grado matemático de definición de la curva o la superficie.

- Una curva o superficie de un solo tramo presentará en todo momento un buen aspecto visual y excelentes cualidades de continuidad independientemente del grado que posea (como se ha visto el grado está relacionado de manera directa con el número de puntos de control).

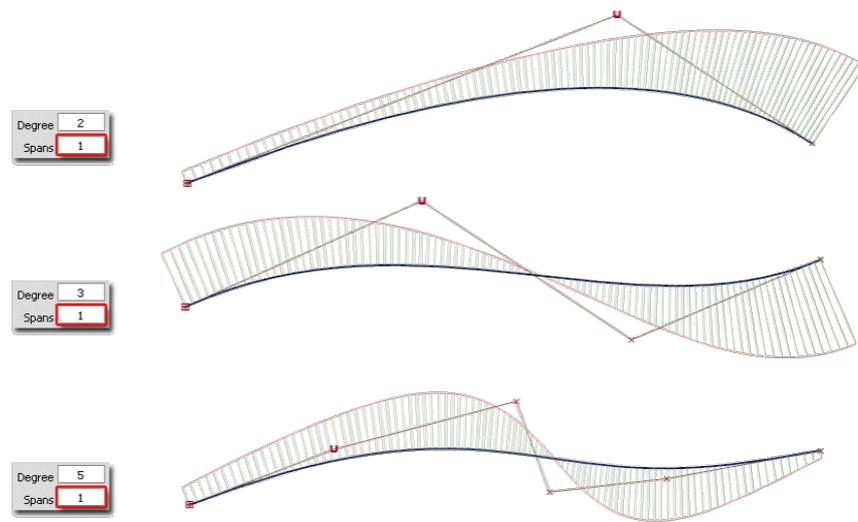


Figura 53. Diferentes grados de curvas [1]

- Una curva con múltiples tramos puede presentar discontinuidades. Esta discontinuidad se reduce al aumentar el grado matemático de la ecuación que define cada uno de los tramos de manera individual. Es decir, al imponer nosotros determinadas condiciones de continuidad en los contornos el programa, intrínsecamente, realiza un aumento del grado matemático para poder cumplir dichas condiciones.

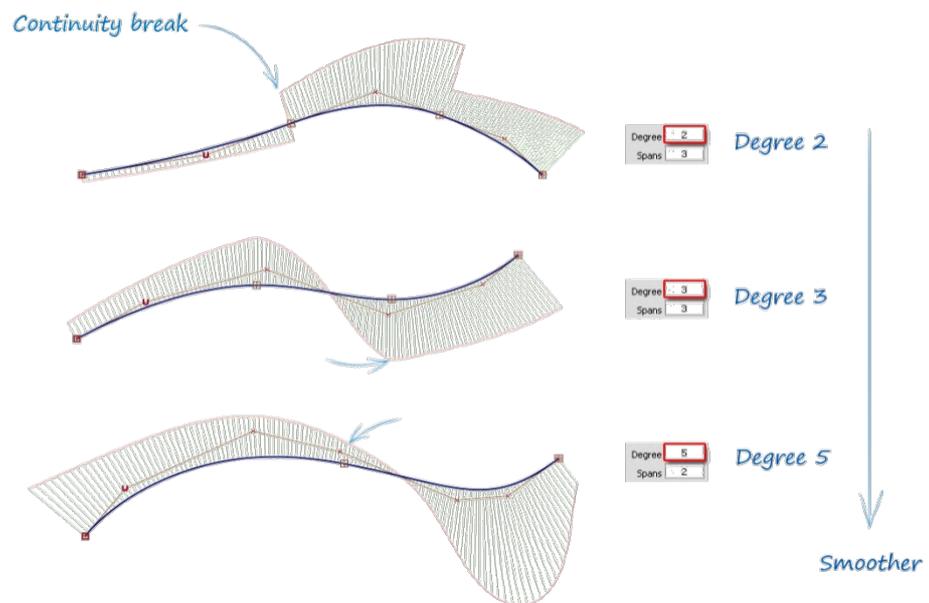


Figura 54. Resultado de un aumento del grado en condiciones de discontinuidad en una curva [1]

Otro ejemplo en el que se aprecia muy bien el efecto del grado matemático en las discontinuidades es en los círculos. El mismo círculo formado por 8 tramos puede ver reducida la discontinuidad entre los tramos simplemente por el hecho de aumentar el grado.

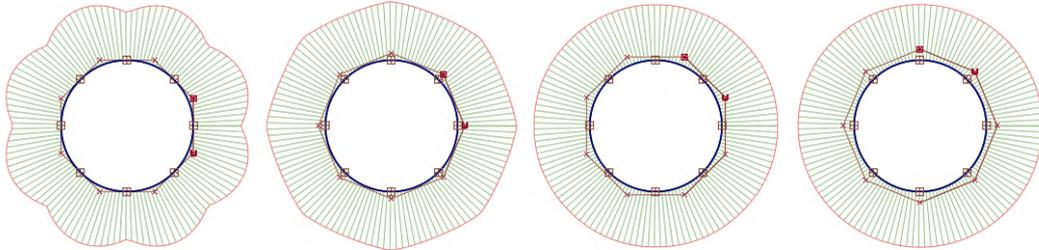


Figura 55. Círculos Multi-Span de grado matemático 2, 3, 4 y 5, de izq. a dcha. [1]

Esto se debe ni más ni menos a lo que ya se había adelantado en el apartado de niveles de continuidad y el número de puntos de control necesarios para alcanzar dichos niveles. (Apartado 2.2)

Se puede concluir que, para crear una misma geometría, es preferible crear una curva o superficie de un único tramo (mientras sea posible) y controlarla con multitud de puntos de control que crear una curva o superficie Multi-Span de bajo grado matemático.

4.2. REGLA DE ORO Nº 2 – UTILIZAR SUPERFICIES DE CUATRO LADOS

Las superficies NURBS son intrínsecamente de cuatro lados ya que están formadas por las direcciones U y V como ya se había comentado con anterioridad.

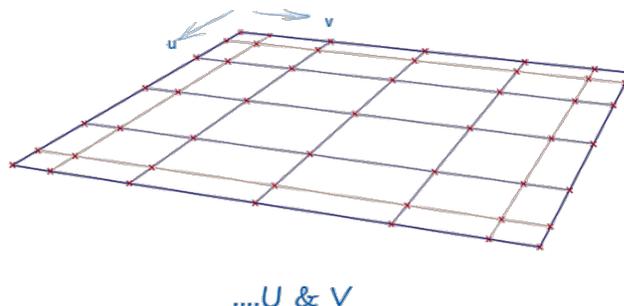


Figura 56. Superficie plana de cuatro lados [1]

El modelador debe ser capaz de “leer” las superficies que desea crear de manera que pueda realizarla al completo con el máximo número de sub-

superficies de cuatro lados. No es necesario que sean cuatro lados en ángulo recto (rara vez aparecerán ese tipo de superficies) pese a ser lo más conveniente. Cabe destacar que las esquinas no deben formar un ángulo demasiado cerrado o agudo. De esta manera se asegura una buena ligereza y simplicidad de las superficies, resultando mucho más sencillo alcanzar los niveles de continuidad requeridos.

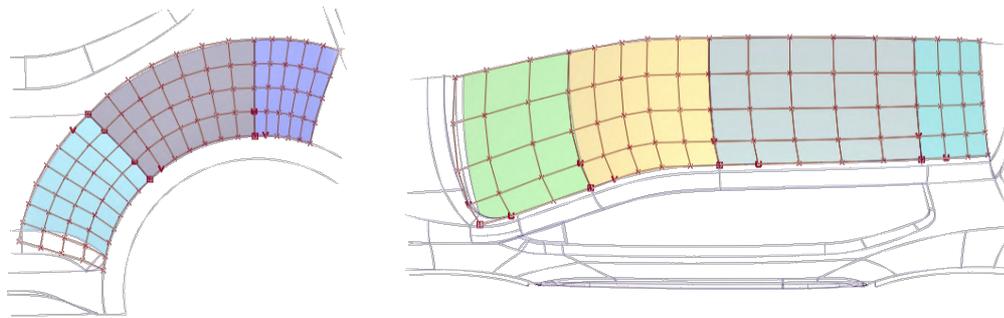


Figura 57. Superficies grandes formadas por sub-superficies de cuatro lados [1]

En base a lo dispuesto en el apartado sobre el procedimiento básico de modelado, la forma más recomendable de iniciar la creación de una superficie compleja es identificar en primer lugar las regiones fáciles de cuatro lados (superficies primarias) y construir estas primero. A continuación, para las áreas de mayor dificultad se debe determinar qué parche de cuatro lados se puede crear para completar la superficie deseada.

Un ejemplo de esto se puede ver en la siguiente imagen:

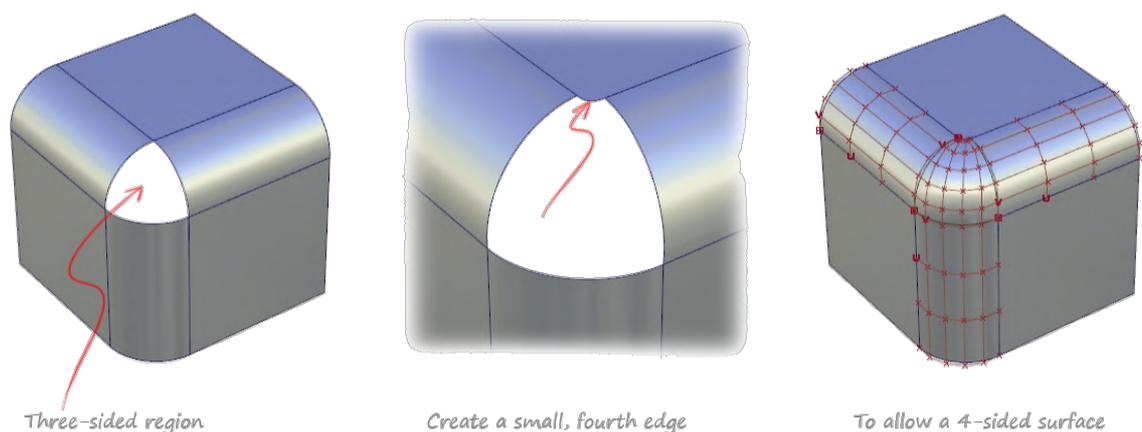


Figura 58. Procedimiento de creación mediante superficies de cuatro lados [1]

- En la primera representación podemos ver como se ha construido en primer lugar las seis superficies primarias: tres caras planas y tres redondeos de esquina.

- A continuación, en la misma imagen, podemos observar como la superficie restante está formada por tres lados, lo cual resultará problemático como se verá en el siguiente apartado.
- Para evitar esto, es preferible construir partiendo de cuatro lados. Para ello modificamos la geometría existente haciendo aparecer un cuarto lado mediante un redondeo en la superficie superior. El resultado obtenido presenta una distribución de puntos de control muy buena.

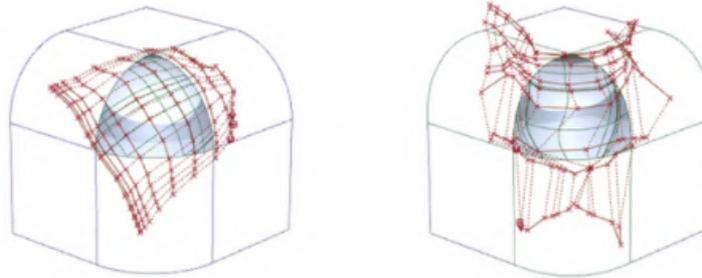


Figura 59. Distribución de los puntos de control para el caso de una superficie de tres lados. Continuidad G1 (izq.) y G2 (dcha.) [1]

4.2.1. Concepto de punto degenerado

Los puntos degenerados se producen cuando de un mismo vértice parten varias curvas que definen una superficie, de modo que se solapan numerosos puntos de control. Esto causa reflejos de baja calidad y generará problemas con el modelado posterior.

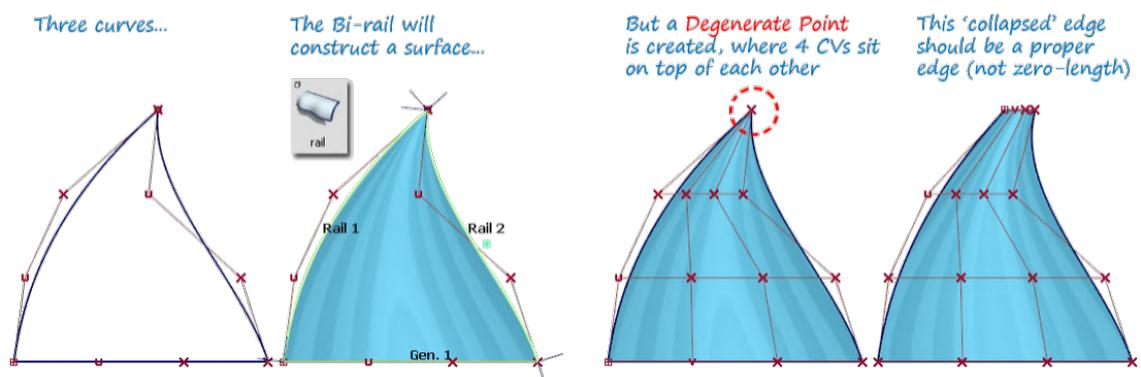


Figura 60. Concepto de punto degenerado [1]

Esta práctica no es para nada recomendable y con ella se obtienen pésimos resultados. A menudo se utiliza esta técnica (solo en fase de prototipado) para crear esferas a partir de una superficie de cuatro lados. No obstante, este

problema puede solucionarse recortando la zona del punto degenerado y creando una superficie de cuatro lados como ilustra la siguiente figura.

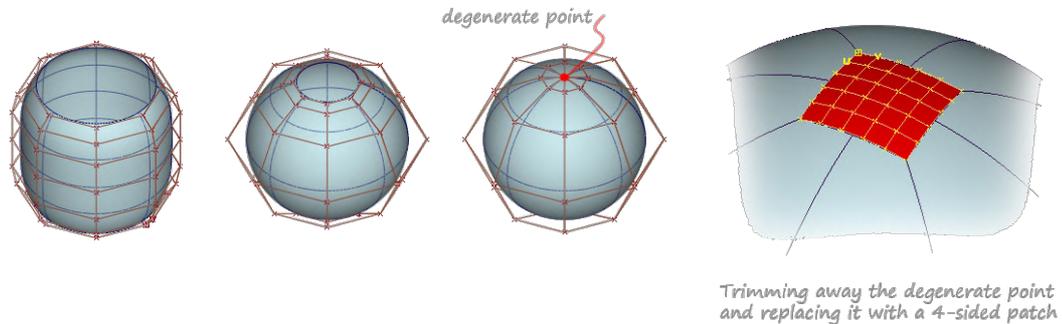


Figura 61. Sellado de una esfera a partir de una superficie plana [1]

4.2.2. Superficie de cuatro lados, dos de ellos tangentes entre sí.

Algo parecido a lo tratado en el punto anterior ocurre cuando tenemos una superficie de cuatro lados con dos de ellos tangentes. Pese a ser una superficie de cuatro lados, esta tampoco resulta una buena práctica. Esta especial circunstancia, al igual que los puntos degenerados, genera calidades en reflejos muy deficientes.

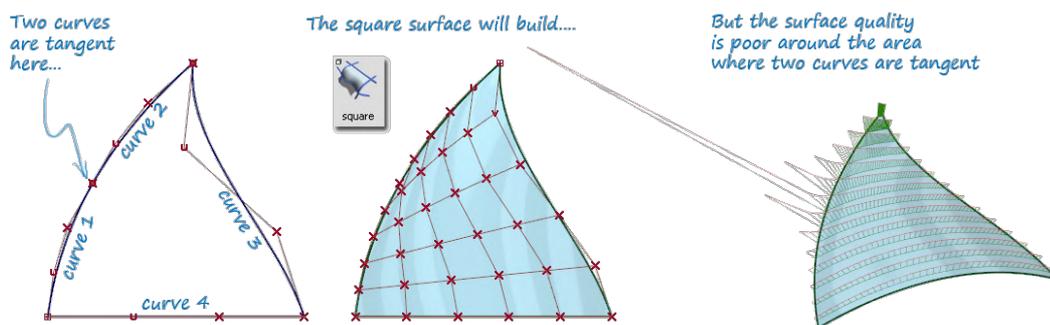


Figura 62. Superficie de cuatro lados con dos lados tangentes entre sí. [1]

4.2.3. Superficies de cuatro lados recortadas.

Ante las dos problemáticas anteriormente expuestas, la manera correcta de crear una superficie con la forma deseada es a partir de una superficie recortada.

La principal ventaja, a parte de la calidad de reflejos obtenida, es que la malla de puntos de control original permanece inalterada tras la operación de recorte. Esto nos permite modificar la superficie como si de la original se tratase, curvando u ondulando en las direcciones que creamos oportuno mediante los puntos de control iniciales. Es el historial de construcción el que intrínsecamente trabaja con la superficie original y vuelve a proyectar y recortar con la forma deseada. Todo ello de manera instantánea sin que nos demos cuenta. El resultado final es la forma deseada con una distribución de puntos de control adecuada y sencilla.

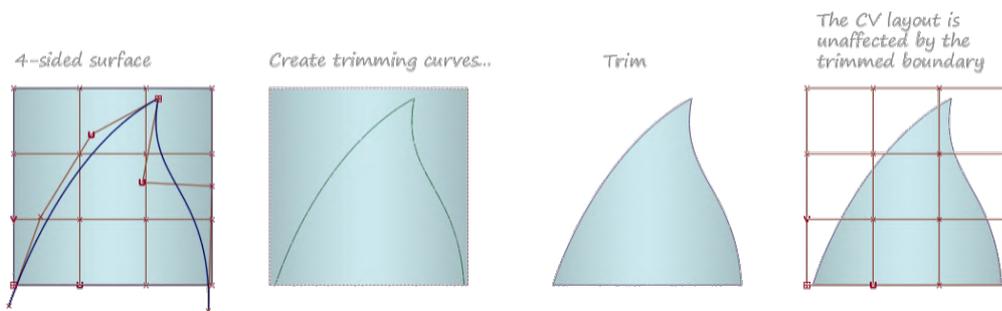


Figura 63. Superficie con la forma recortada. [1]

4.3. REGLA DE ORO N° 3 – PRESTAR ATENCIÓN AL FLUJO DE LOS PUNTOS DE CONTROL

Un flujo suave y regular en los puntos de control es esencial puesto que:

- Asegura que las curvas y superficies tengan suavidad (no aparecen dobleces indeseados).
- Produce una aceleración³ constante de la curva.
- Evita la aparición de inflexiones (cambios de cóncavo a convexo) no deseadas.

³ Cambio consistente en la curvatura de la curva.

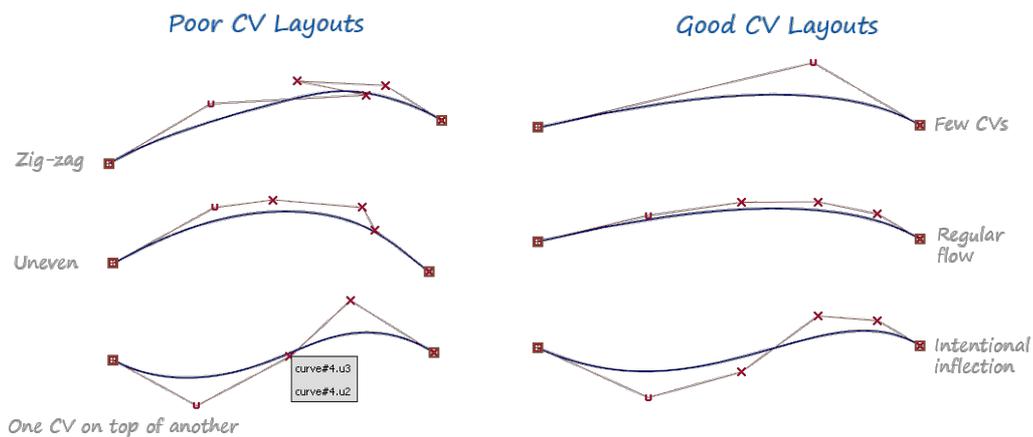


Figura 64. Diferentes ejemplos de flujo de puntos de control [1]

A simple vista se puede apreciar si el flujo de puntos de control tiene un aspecto visual correcto o si, por lo contrario, parece desordenado y caótico.

Más técnicamente hablando el flujo de puntos de control se puede definir como la relación que tienen entre sí todos los puntos de control. Esta relación viene determinada por el espaciado entre puntos y la distancia de cada punto de control a la curva que define.

- En cuanto al espaciado entre puntos de control se debe intentar que permanezca constante a lo largo de la curva o bien presente un incremento o disminución graduales.

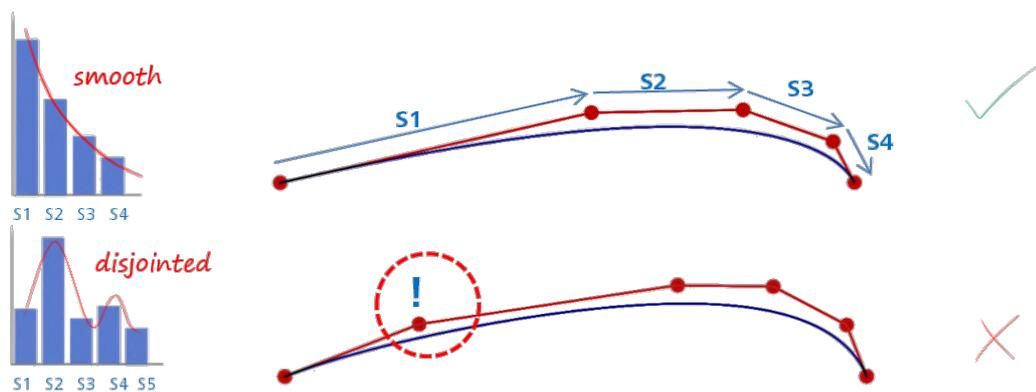


Figura 65. Espaciado de los puntos de control [1]

- En cuanto a la distancia entre los puntos de control y la curva que definen esta deberá cambiar de forma progresiva y controlada. Cambios bruscos provocarán deficiencias en el resultado.

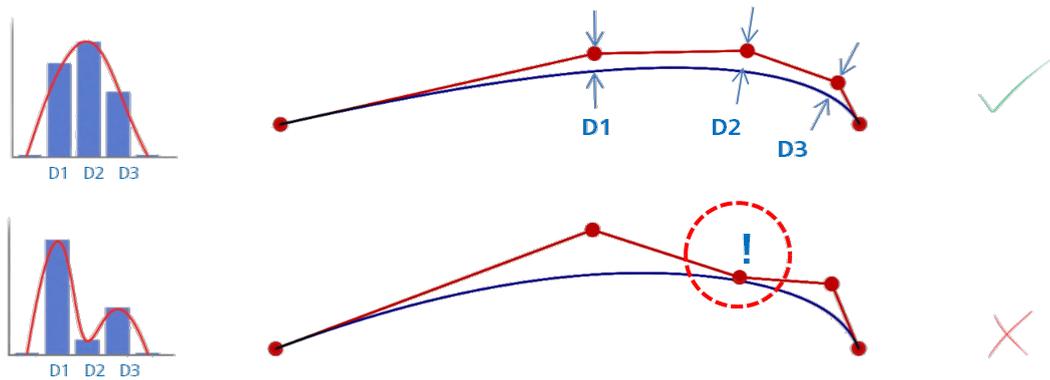


Figura 66. Distancia entre los puntos de control y la curva [1]

Como ya se había adelantado, a veces durante el modelado aparecen inflexiones. Estas se producen cuando la curva cambia de una curvatura “positiva” a una “negativa” o viceversa (concepto de cóncavo y convexo)

Las inflexiones justificadas (aquellas que aparecen por motivos de diseño y son realizadas deliberadamente) no suponen un error, sin embargo, sí son un problema cuando aparecen de forma accidental, puesto que causan malos reflejos. Estas inflexiones no deseadas pueden aparecer por error humano a la hora de modificar los puntos de control o pueden ser generadas por comandos de creación automática de superficies.

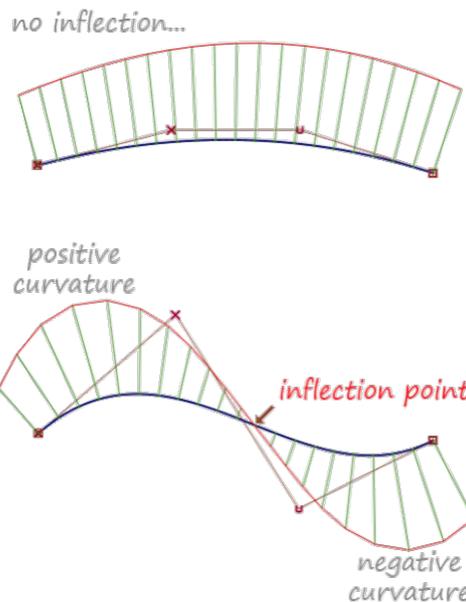


Figura 67. Puntos de inflexión [1]

Siempre que se realice una curva, es una buena costumbre aplicar el análisis de curvatura, aunque esta tenga buen aspecto. Observando el flujo de puntos de control de ambas curvas aparentemente iguales se observa que una de ellas presenta un buen flujo y la otra presenta un flujo en zig-zag, el cuál produce muy malos resultados a niveles de curvatura. Una forma de solucionar ese zigzag es disminuir el grado de la curva lo máximo posible y posteriormente aumentarlo hasta donde necesitamos. De esta manera los puntos de control se “reordenan” de manera automática en torno a la forma de la curva.

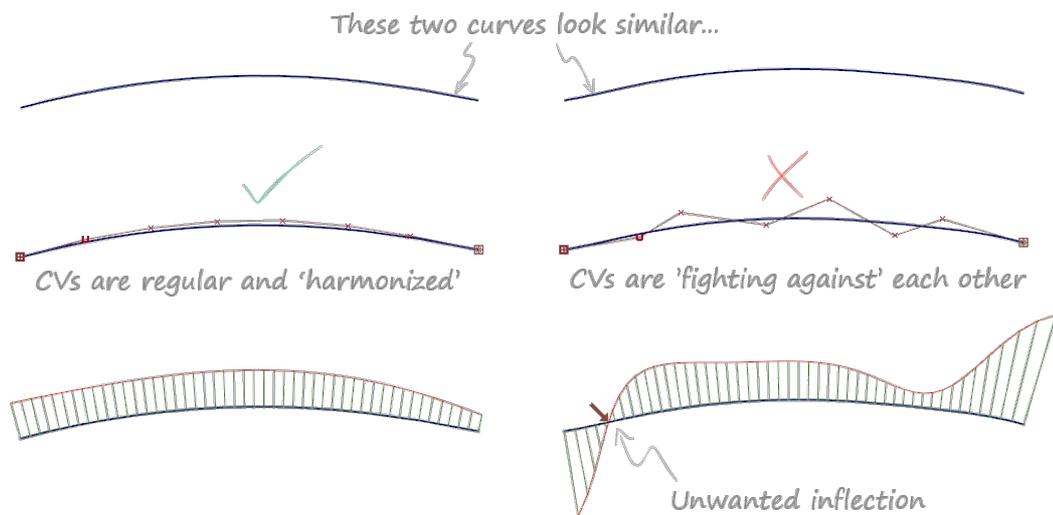


Figura 68. Diferentes flujos de puntos de control en una misma curva [1]

La forma más sencilla de garantizar un buen flujo de puntos de control es comenzar por crear una curva o superficie con muy pocos puntos de control. A continuación, se intentará ajustar la curva en la medida de lo posible al diseño real que se busca y se irá aumentando gradualmente y de forma ordenada los puntos de control sólo hasta que se ajuste suficientemente a la forma deseada.

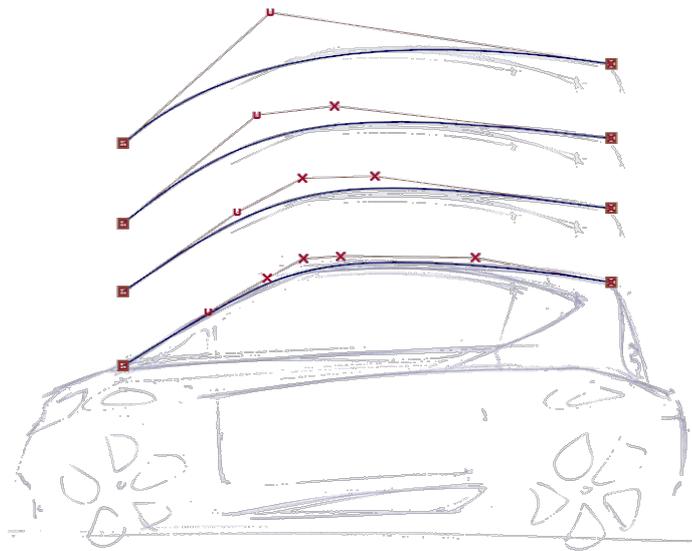


Figura 69. Proceso de creación y ajuste de una curva a una forma deseada. [1]

4.4. REGLA DE ORO Nº 4 – UTILIZAR EL MÍNIMO NÚMERO DE PUNTOS DE CONTROL

Un menor número de puntos de control se traduce en dos ventajas principales:

- Menos trabajo a la hora de colocar dichos puntos en su posición correcta.
- Menos puntos de control implican menos posibilidades de problemas con la curvatura.

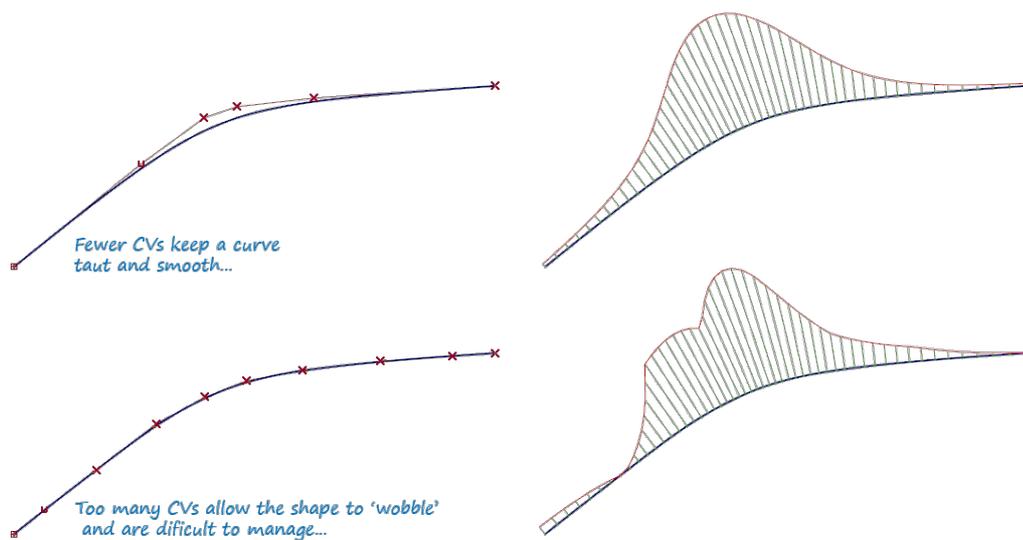


Figura 70. Diferencias en la curvatura de curvas con pocos y muchos puntos de control. [1]

Es posible que, utilizando comandos de modelado para completar determinadas zonas, estos generen superficies con numerosos puntos de control. Muchas veces el programa automáticamente asegura una superficie correcta en cuanto a acabados, pero se debe verificar siempre la estructura interna de la superficie. Muchas veces estas estructuras se pueden mejorar a partir de la superficie dada con un poco más de trabajo para, finalmente, obtener una superficie más ligera y estable. Muchos puntos de control pueden ocasionar pequeñas ondulaciones difíciles de solucionar.

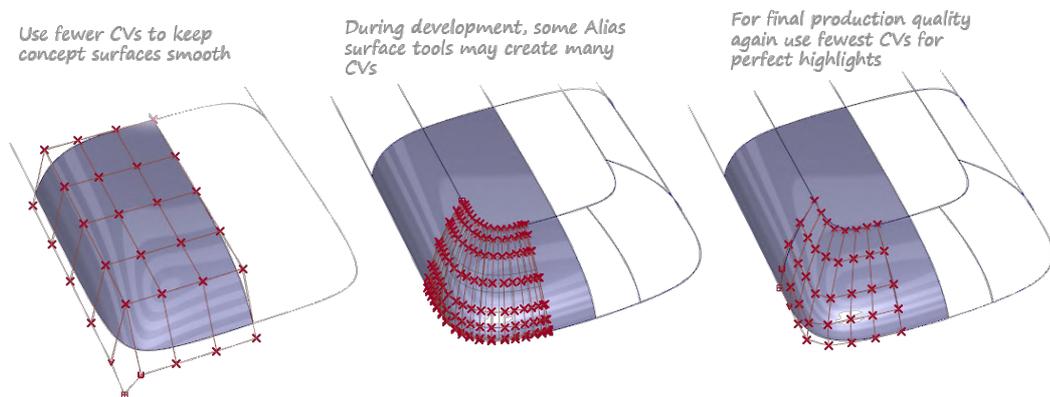


Figura 71. Diferentes soluciones para una misma superficie. [1]

4.4.1. Reconocer el número apropiado de puntos de control

Una de las preguntas a las que se enfrenta un modelador día a día es la de si la cantidad de puntos de control es insuficiente o excesiva. No es una pregunta fácil pese a la máxima de modelar con el mínimo de puntos de control. Hay veces que demasiado poco control también resulta en un pésimo resultado final.

Una forma práctica de dar solución a esta pregunta es la siguiente:

- Si a la hora de trabajar con los puntos de control nos damos cuenta de que estos se encuentran siguiendo la curva en vez de controlándola podemos concluir que estos son demasiados.
- Si tenemos que colocar los puntos de control de forma visualmente muy extrema y distorsionada esto nos indica que debemos añadir alguno más para conseguir un flujo más suave.

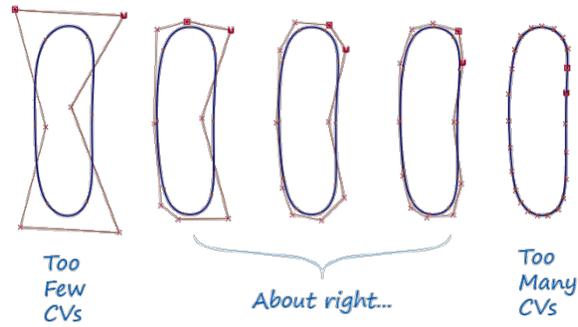


Figura 72. Esquema de cantidad de puntos de control. [1]

4.5. REGLA DE ORO N° 5 – ASEGURAR UNA BUENA CONTINUIDAD EN LAS LINEAS DE SIMETRÍA

Una práctica habitual (y recomendable) es utilizar las simetrías a la hora de crear superficies de modo que construimos solo la mitad de estas para posteriormente completar la otra mitad por simetría.

Esta forma de proceder es perfectamente correcta puesto que simplifica las operaciones al realizar solo una mitad de la pieza. No obstante, esta manera de proceder requiere especial atención en aquellas superficies que tocan o cruzan el eje de simetría. En estos casos debemos cerciorarnos y comprobar siempre que el resultado tras hacer la simetría es uniforme, es decir, debemos evitar la formación de picos o valles en la zona de unión de ambas mitades. Esto implica que debe existir tangencia en la arista de unión de las dos mitades.

Problema de continuidad de tipo cresta.

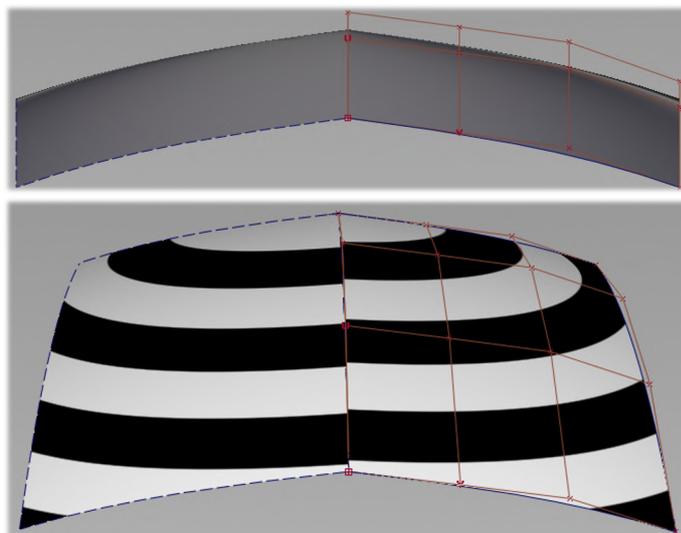


Figura 73. Falta de continuidad de tipo cresta.

Problema de continuidad de tipo valle.

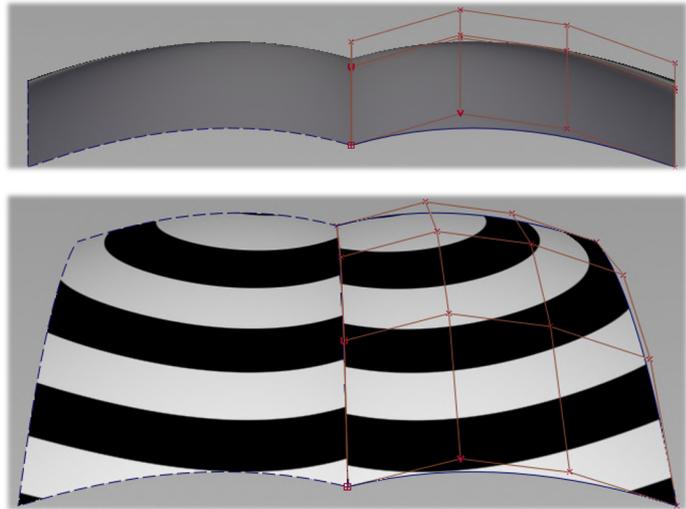


Figura 74. Problema de tipo valle.

Conseguir la tangencia entre dos mitades simétricas implica, a nivel de puntos de control, que las dos primeras filas se encuentren alineadas.

Continuidad en la mitad simétrica.

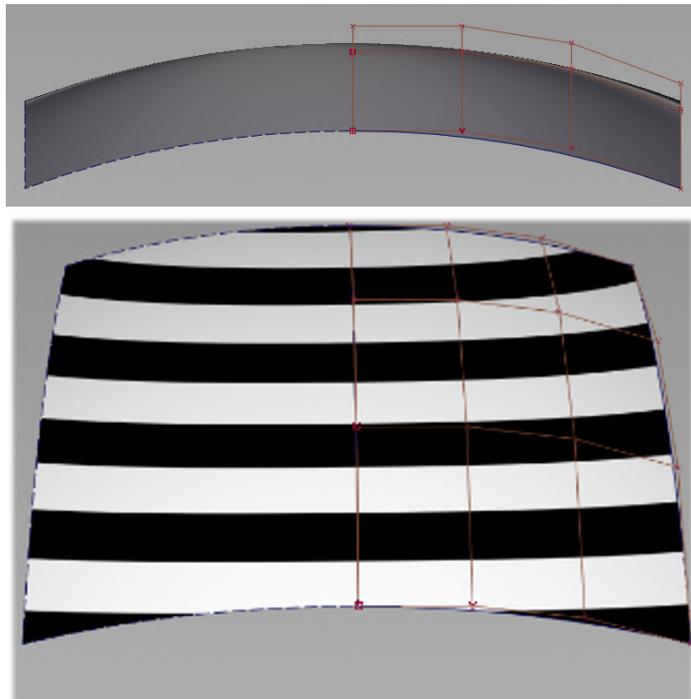


Figura 75. Continuidad en tangencia.

Una buena opción para evitar estos problemas derivados de la simetría es la siguiente:

- Para las superficies que no cortan el eje de simetría modelamos una de las mitades y por operaciones de simetría obtenemos automáticamente la otra mitad.

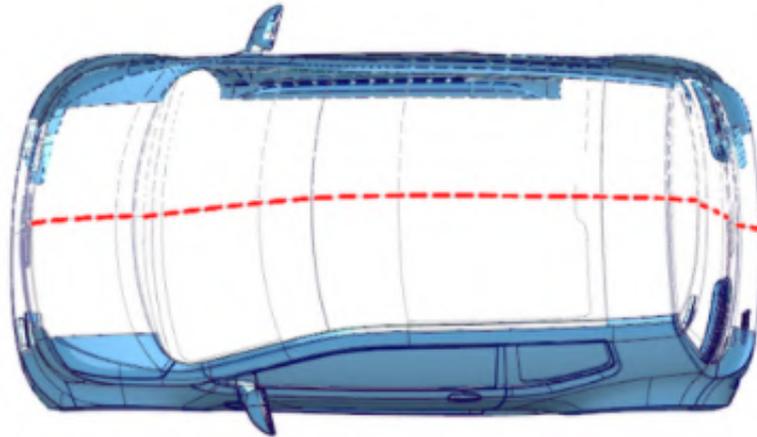


Figura 76. Ejemplo de superficies simétricas que no tocan el eje de simetría. [1]

- Para las superficies que cortan el eje de simetría una práctica habitual es crear estas de manera completa. No obstante, trabajar de esta manera requiere especial atención a modificar los puntos de control de manera simétrica, p. ej. seleccionando los puntos de control simétricos antes de modificarlos. De esta manera nos aseguramos de que la solución es satisfactoria.

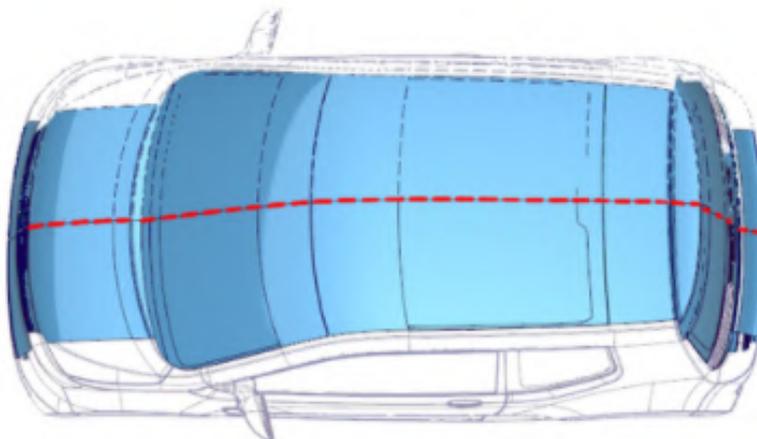


Figura 77. Ejemplo de superficies simétricas que tocan o cruzan el eje de simetría. [1]

4.6. REGLA DE ORO N° 6 – SOBREDIMENSIONAR Y POSTERIORMENTE RECORTAR

Siempre y cuando sea posible es una buena costumbre de trabajo evitar la construcción de nuevas superficies a partir de una arista procedente de un proceso de recorte. En su lugar, podemos sobredimensionar las superficies para, posteriormente, buscar la intersección y finalmente recortar y lograr el diseño final. De este modo nos aseguramos una perfecta y más limpia unión entre superficies.

La manera más visual de ilustrar lo anterior es mediante un ejemplo.

Se quiere obtener la siguiente superficie:

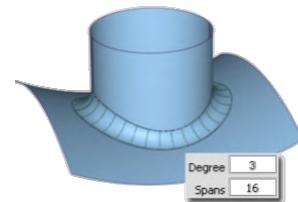


Figura 78. Superficie final. [1]

Una forma de conseguirlo es crear la curva superior del círculo y posteriormente crear la superficie a partir de las dos curvas. Como ya se había comentado anteriormente en este texto, las curvas procedentes de procesos de recorte son muy complejas y pesadas y, por ende, lo serán las superficies creadas a partir de ellas. En este caso, la curva inferior está formada por 15 tramos de grado 3.

Tras crear la superficie nos damos cuenta de que el resultado obtenido es tremendamente pesado: 20 tramos de grado 3.

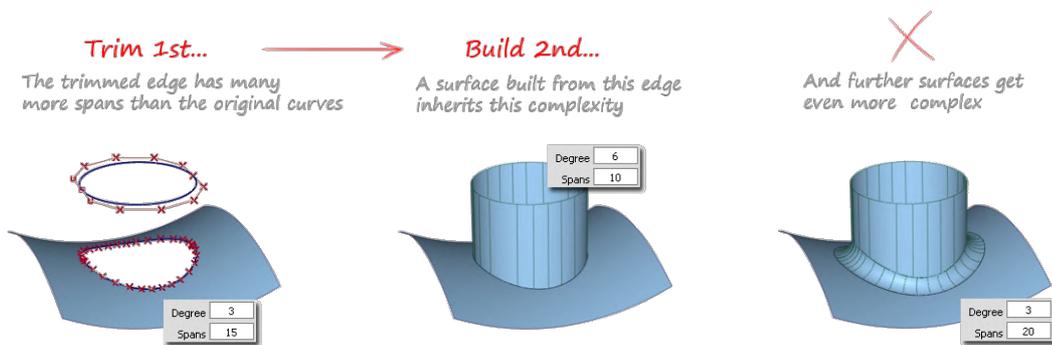


Figura 79. Proceso de creación de superficies a partir de aristas de recorte. [1]

La manera correcta de proceder sería la de construir un cilindro sobredimensionado que sobrepase la superficie inferior, buscar la intersección de ambas superficies y, posteriormente, recortarlo:

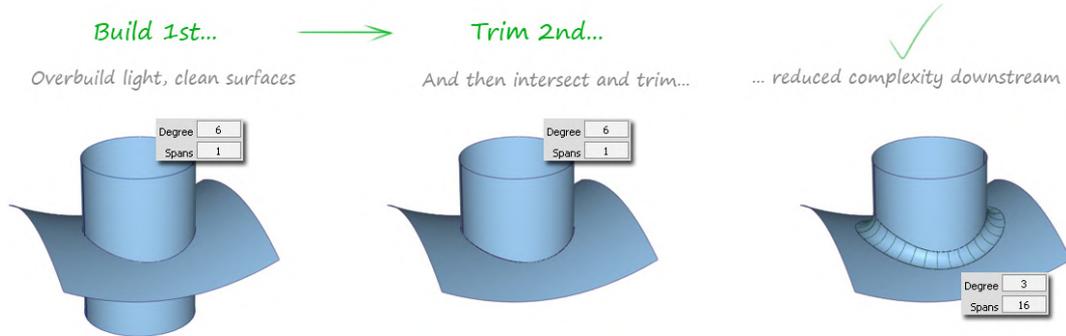


Figura 80. Manera correcta de obtener la superficie deseada. [1]

La manera más sencilla de crear elementos complejos es la de tratar de imaginar cómo se conseguirían a través de la combinación de superficies básicas, ya sea para añadir como para retirar material.

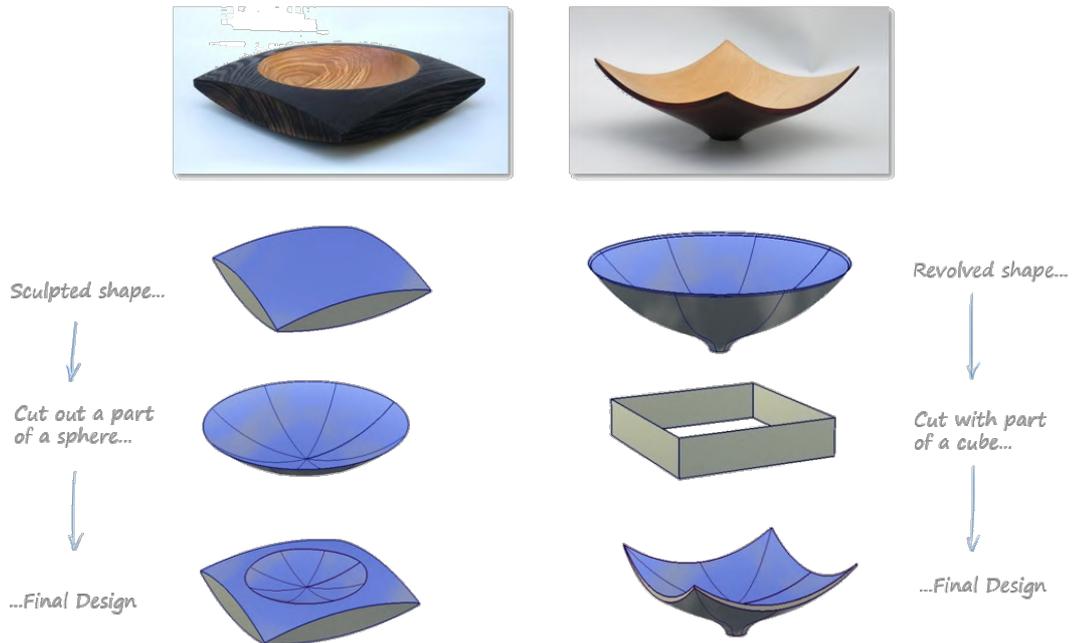


Figura 81. Obtención de formas complejas a través de intersección de superficies simples. [1]

4.7. REGLA DE ORO Nº 7 – IGUALAR CURVAS EN LADOS OPUESTOS

Como anteriormente se ha mencionado, las superficies NURBS (las que utiliza Alias y CATIA) tienen dos direcciones definidas como U y V. Esto implica que existen dos pares de aristas enfrentadas en una superficie de cuatro lados, dos de ellas asociadas a la dirección U y dos de ellas asociadas a la dirección V.

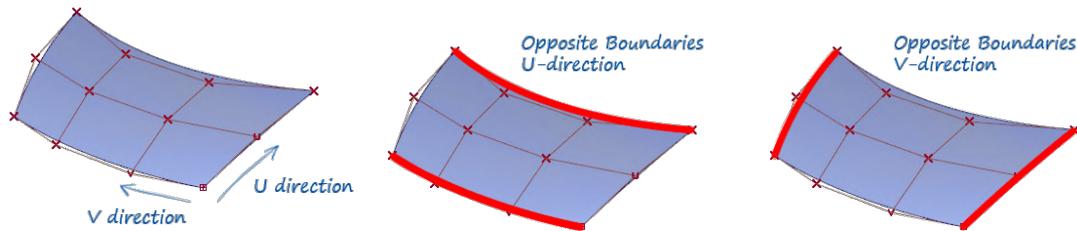


Figura 82. Definición de aristas enfrentadas. [1]

Lo que se pretende con estas curvas enfrentadas es que ambas tengan una parametrización de los puntos de control más o menos equivalente. De esta manera, las filas de puntos de control tendrán una disposición más o menos paralela a las líneas base.

Un ejemplo de ello se puede apreciar en la siguiente figura donde vemos cómo la mala colocación de los puntos de control en las aristas enfrentadas conduce a una distribución de filas pésima.

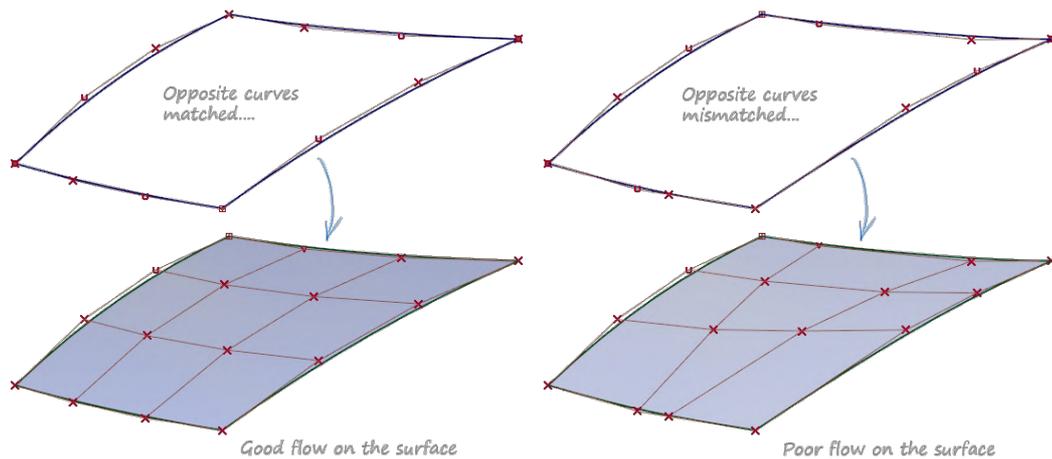


Figura 83. Ejemplos de distribución de filas de puntos de control. [1]

Una práctica habitual a la hora de realizar estas superficies de tipo parche es la siguiente:

1. Crear las curvas básicas.

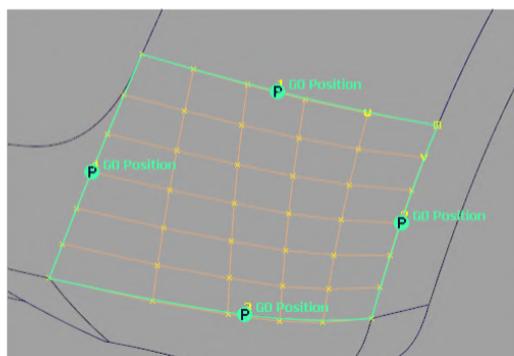


2. Copiar una de ellas para crear una arista equivalente.



3. Y por último crear la superficie final controlando ambos laterales.

En casos en los que ya se parte de bordes existentes se podría modificar la posición de los puntos de control de la curva que sean necesarios de modo que adquiera proporcionalidad con la opuesta.



Rebuilding this edge allows the CVs to flow better

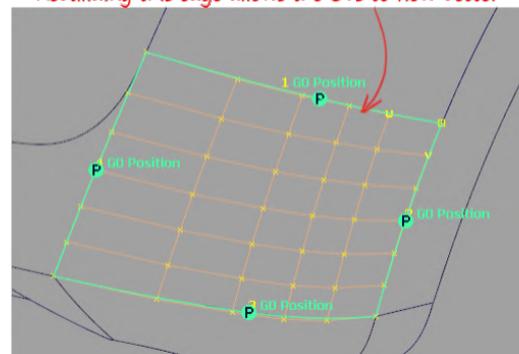


Figura 84. Arreglo de la malla de puntos de control con cuatro aristas preexistentes. [1]

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA MEDIANTE AUTODESK ALIAS

En este apartado se va a tratar de dar un enfoque más visual a la teoría expuesta anteriormente mediante la elaboración de un caso práctico utilizando el programa Autodesk Alias.

5.1. ELECCIÓN DEL MODELO

En el mercado, existen numerosos productos cuyas superficies presentan las características internas y externas de una superficie de Clase A. Pueden ser desde productos tan cotidianos como un envase de champú o de suavizante (por ejemplo, el realizado por mi compañera Marina Bartolomé Lorenzo), hasta algunos de los objetos más caros creados por el ser humano como pueden los cohetes espaciales.



Figura 85 Ejemplos de productos creados mediante superficies de Clase A. [4]

No obstante, si tuviéramos que elegir un producto entre todos los disponibles para definir las superficies de Clase A, ese sería el automóvil.

El automóvil es el objeto que define por antonomasia las superficies de Clase A. No solo se trata de uno de los productos en los que el aspecto exterior resulta definitivo a la hora de la elección por parte del cliente si no que, además, el desarrollo de este tipo de superficies va de la mano con la evolución de las formas de los vehículos.

Por otra parte, los automóviles son uno de los objetos más complejos de crear durante su modelado. Un ejemplo de ello es el *Concept Car* que ha ido apareciendo en algunas de las figuras que hemos utilizado para poder explicar los conceptos teóricos durante los apartados anteriores.

Este vehículo (una forma simplificada de él) es el que se utiliza durante los tutoriales básicos de aprendizaje de Alias para ilustrar los conceptos teóricos.

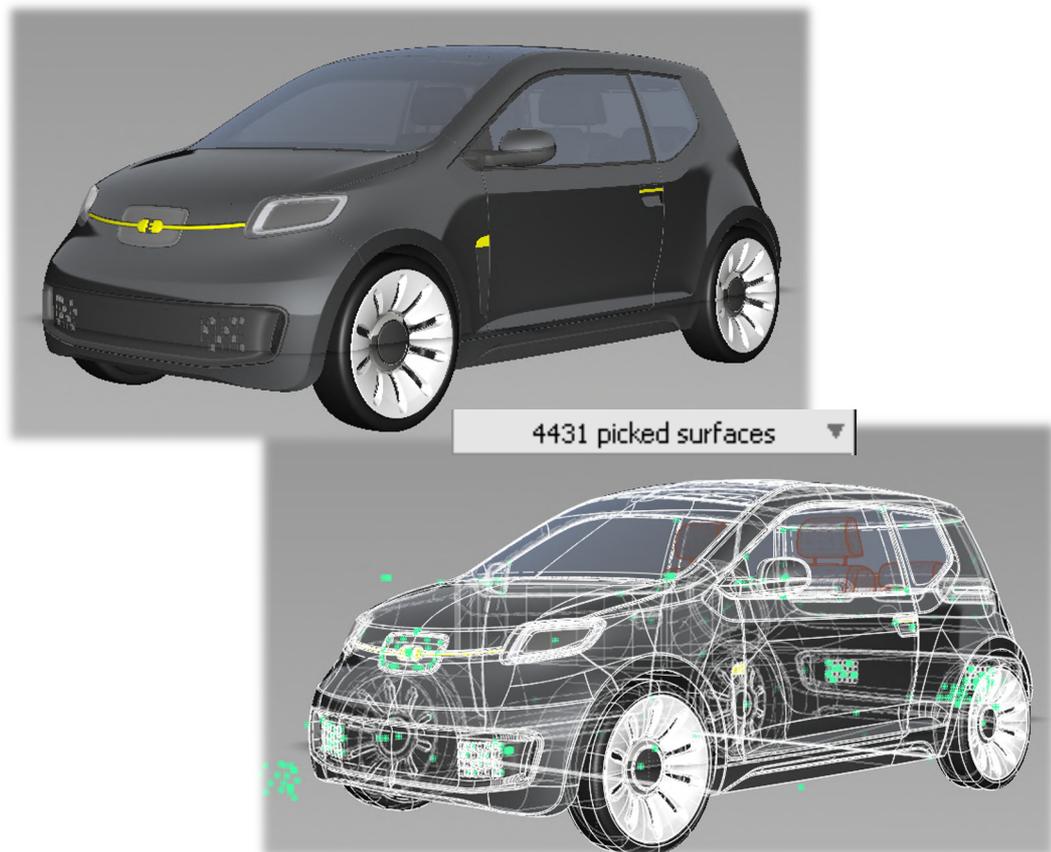


Figura 86 Concept Car.

Este modelo se trata de un *Concept Car*, avanzado, pero no listo para la producción. No obstante, podemos observar que, haciendo una selección de todas las superficies que lo conforman, obtenemos un número cercano a las 4500 superficies.

Estos modelos tan complejos y con acabados de tanta calidad podrían llevar varios meses de trabajo para modeladores con mucha experiencia.

Extrapolar una parte concreta de un modelo de automóvil para trabajar con un número reducido de superficies tampoco resulta sencillo ya que deberíamos crear un marco para que esas superficies tuvieran sentido y continuidad por lo que tampoco resulta una opción óptima.

Nos encontramos ante una situación en la que no se dispone de experiencia previa en el modelado de este tipo de superficies y el aprendizaje se ha realizado mediante la lectura y visualización de la ayuda propia del programa.

Es por eso por lo que encontrar un modelo que sea un trabajo “abordable” no resulta tarea fácil.

Mi intención desde el inicio del trabajo era la de realizar un modelo que se encontrara a mitad de camino entre los productos más sencillos (véase un envase) y los más complejos, como hemos visto que puede ser un automóvil.

Tras varios intentos con diferentes productos que resultaron ser excesivamente complejos, el modelo finalmente elegido es el de una lancha de recreo privada.

Aeroboast S6, de AeroboastUK - Rolls Royce



El Aeroboast S6 es, por así decirlo, el modelo de producción elaborado por la firma inglesa a partir del prototipo de Aeroboast SV12 creado por el diseñador Claydon Reeves.

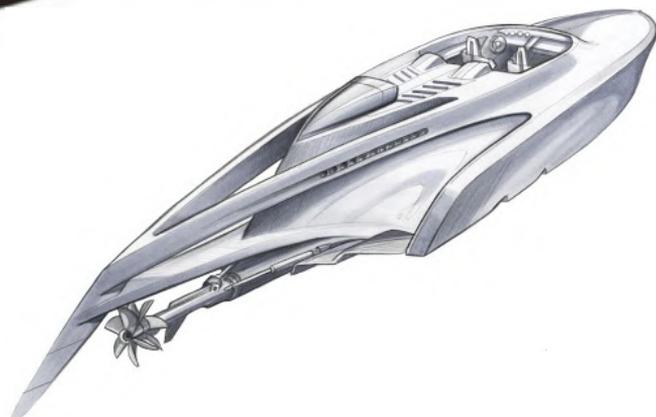


Figura 87 Aeroboast S6 y SV12 (prototipo) [3]

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

La razón por la que se ha elegido este modelo es porque presenta unas líneas largas y limpias. Esto da lugar a superficies grandes, las cuales resultan más sencillas de modelar, pero sin descuidar la necesidad de mantener la continuidad de manera minuciosa en todos sus puntos.

En un modelo de estas características, los reflejos resultan especialmente importantes ya que las pinturas utilizadas durante su construcción son muy brillantes y se encuentran constantemente en contacto con el sol y el agua.

No obstante, las superficies de Clase A no solo destacan en el ámbito estético si no que, este tipo de productos también deben poseer excelentes cualidades tanto aerodinámicas como hidrodinámicas.



Figura 88 Aeroboast S6 [3]

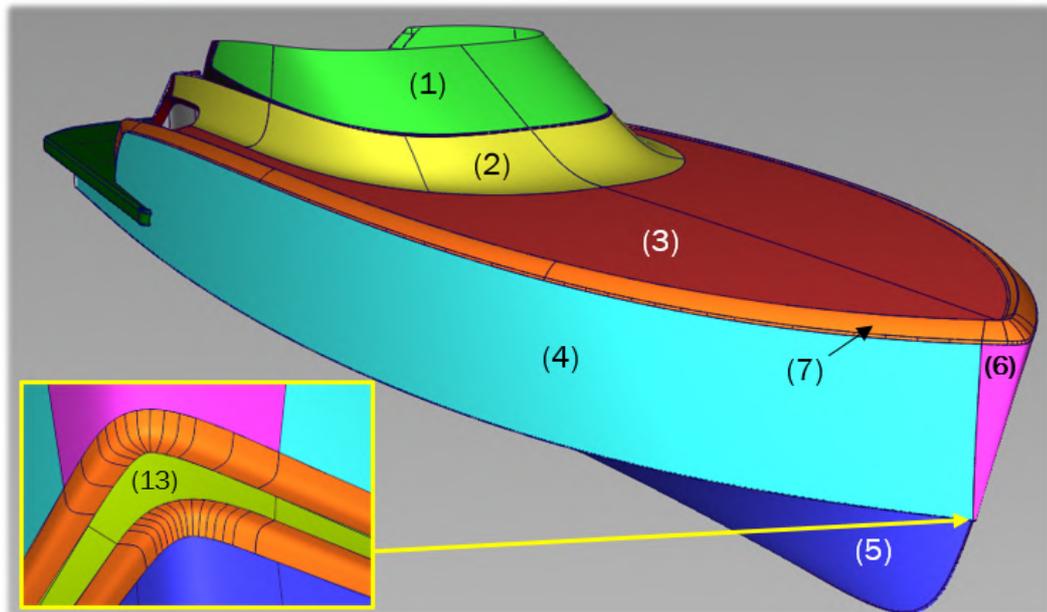
5.2. ELABORACIÓN DEL MODELO BÁSICO O “DE BLOQUES”

El modelo “de bloques” hace referencia a un primer modelo que contiene las superficies mínimas (principalmente primarias) que definen las dimensiones generales de la pieza final sin atender en exceso a las condiciones de continuidad entre ellas.

Posteriormente, en el apartado 5.3, partiremos de este modelo para realizar una mejora generalizada de todas las superficies para adecuarlas a las características de las superficies de Clase A.

5.2.1. Inventario de superficies.

Antes de comenzar a trabajar con las curvas y superficies que van a dar lugar a este primer modelo, vamos a crear un pequeño inventario de las superficies más importantes que conforman el modelo final. De esta manera tenemos una referencia de la posición y forma final de las superficies la cual se puede consultar durante la lectura del documento. Además, en los títulos de los apartados se va a incluir el código de color de la superficie que se está creando para facilitar así su consulta.



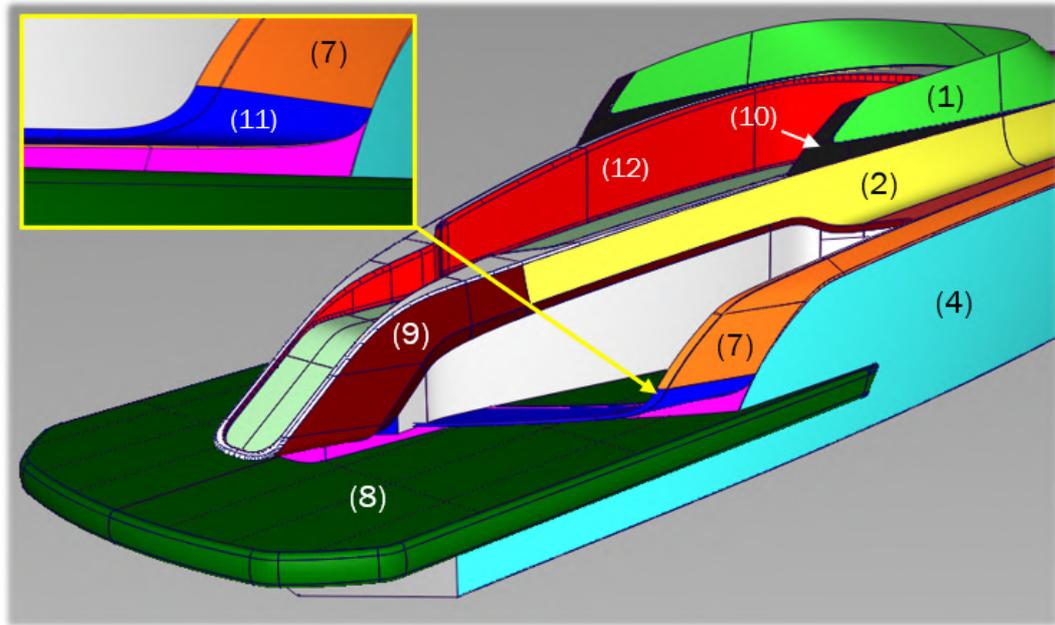


Figura 89 Inventario de superficies.

Número	Color	Nombre/Descripción
1		Superficie acristalada del parabrisas
2		Superficie de unión del parabrisas con la cubierta
3		Cubierta
4		Casco superior
5		Casco inferior
6		Redondeo superior del casco
7		Detalle de unión de la cubierta con el casco superior
8		Plataforma trasera
9		Cola - Detalle de cola
10		Soportes del parabrisas
11		Detalle inferior de las escaleras
12		Paneles interiores
13		Superficie de unión del casco superior e inferior

Tabla 1 Inventario de superficies.

5.2.2. Configuración de las tolerancias de diseño.

Como ya se había hablado en el epígrafe correspondiente, la configuración de las tolerancias deseadas para el diseño es algo que se debe realizar en primer lugar, ya que los cambios que realicemos más adelante solo se verán reflejados en las operaciones posteriores.

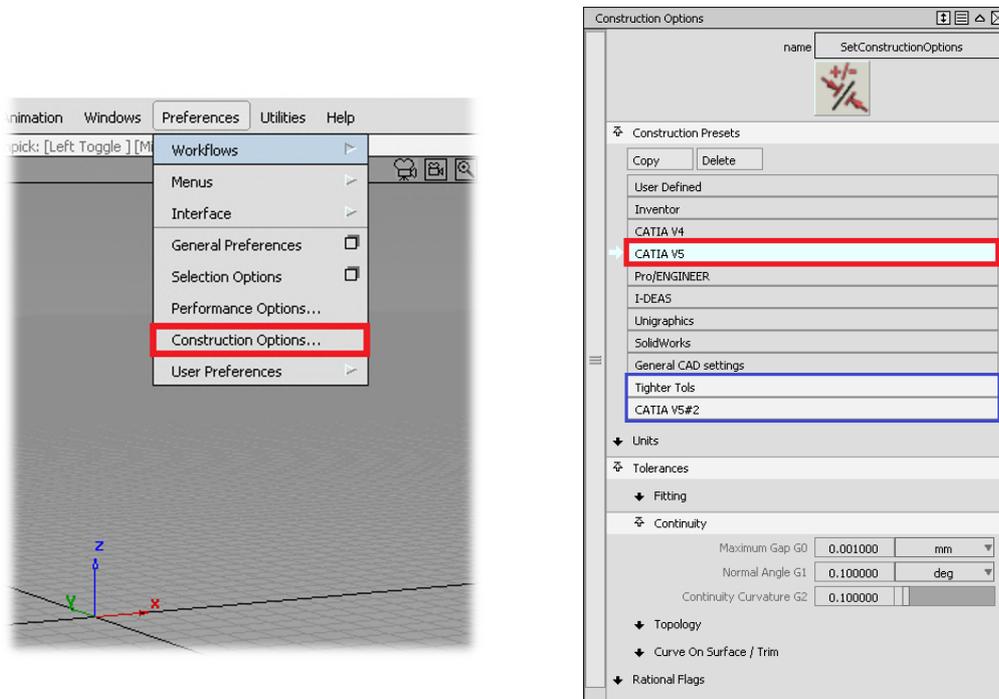


Figura 90 Configuración de tolerancias.

Para nuestro modelo vamos a utilizar las tolerancias “CATIA V5”. Estas son unas de las más utilizadas a nivel industrial ya que son “suficientes” casi para la mayoría de las aplicaciones. Si quisiéramos utilizar otras tolerancias diferentes a las que ahí aparecen por defecto (por ejemplo, las propias de una empresa), podríamos crear unas propias (*User defined*) o bien copiar alguna preexistente y modificarla (*CATIA V5#2*).

5.2.3. Introducción de planos o dibujos de referencia.

Lo más habitual y a la vez recomendable es, antes de comenzar a trabajar con el programa, seleccionar una serie de planos o vistas de referencia que nos marquen las formas básicas del modelo que se quiere realizar. Estas pueden ser desde bocetos muy iniciales con los que se pretenden explorar ideas en 3D, hasta *renders* que definen de manera muy precisa la forma final del producto.

En las figuras siguientes se puede ver algunos dibujos que representan la evolución desde el prototipo de Claydon Reeves hasta el modelo final de producción.

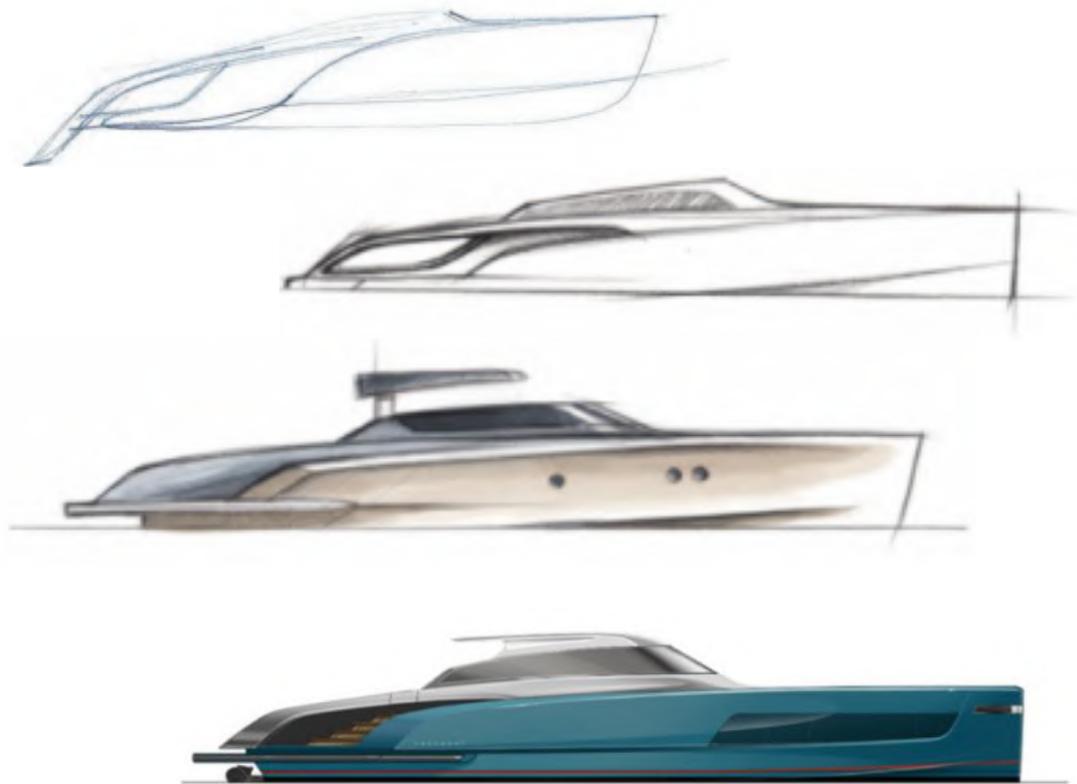


Figura 91 Progresión del modelo en vista lateral. [3]

Para la elaboración de nuestro modelo se van a utilizar solamente una planta superior y una mezcla de varios de los alzados anteriormente representados (perfiles del barco). Las formas del casco y demás partes del barco que se encuentren definidas en las vistas laterales (parte frontal y trasera del barco) se realizarán de manera intuitiva a partir de las vistas en 3D debido a la imposibilidad de conseguir dichos planos.

Las imágenes que se van a introducir como referencia durante la elaboración del modelo son las siguientes:

Alzados



Planta Superior



Figura 92 Referencias a utilizar. [3]

Una vez se tienen definidas las vistas que se utilizarán como referencia, procedemos a introducirlas en el programa.

Alzado (vista de perfil del barco).

Lo primero que se debe hacer es seleccionar la vista en la que se va a introducir el plano o imagen. En este caso, debido a la orientación de los ejes (definidos como en automoción), en una vista lateral izquierda ORTOGRÁFICA. La posición de la visual determina el plano en el que se introducirá la imagen.

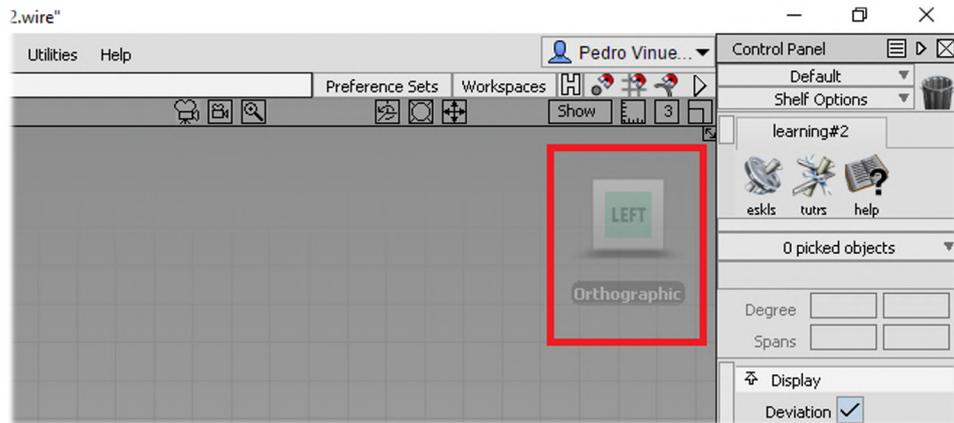


Figura 93 Selección de la vista.

Una vez seleccionada la vista, el siguiente paso es importar la imagen. Es importante introducir cada imagen en un nuevo Canvas o “lienzo en blanco”. De lo contrario, cada vez que introduzcamos uno, el anterior será reemplazado.

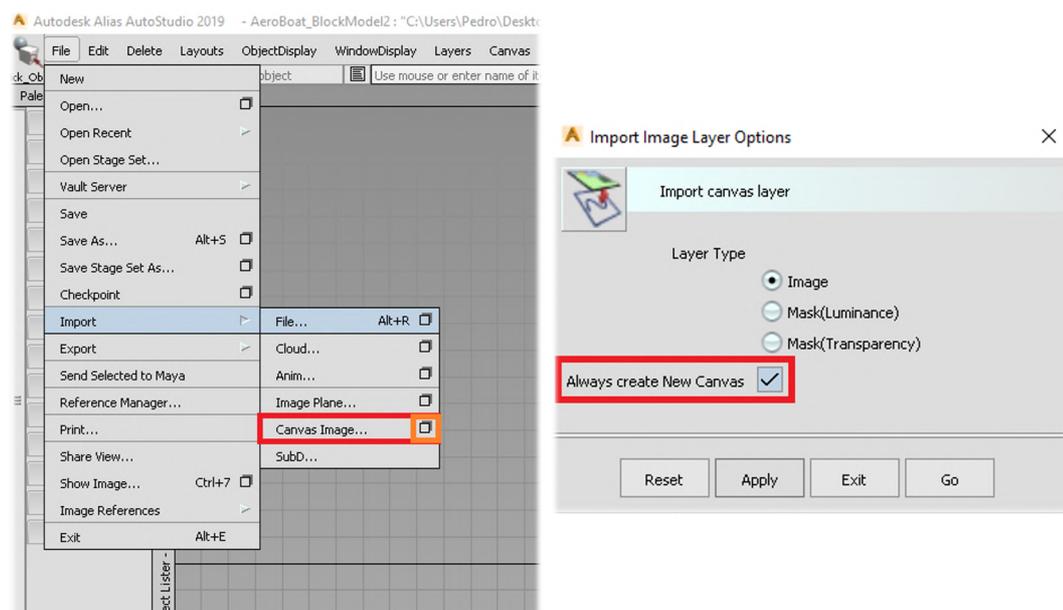


Figura 94 Opciones de importación.

En este punto, presionamos en Go y nos aparecerá la ventana clásica del explorador de archivos donde seleccionaremos la imagen deseada.

Tras esto, ya tenemos la imagen en la vista que queremos. A continuación, debemos escalarla y colocarla en la posición que necesitamos.

Para realizar un escalado preciso nos vamos a ayudar de un cubo de referencia al cual le introduciremos las medidas del yate para, posteriormente, ajustar la

imagen y obtener las medidas del barco. Cabe destacar que se ha tomado la línea de flotación del casco como cota Z=0. Este dato no tiene especial importancia, pero nos ayuda a visualizar mejor el modelo sin que nos entorpezca la visión de la rejilla.

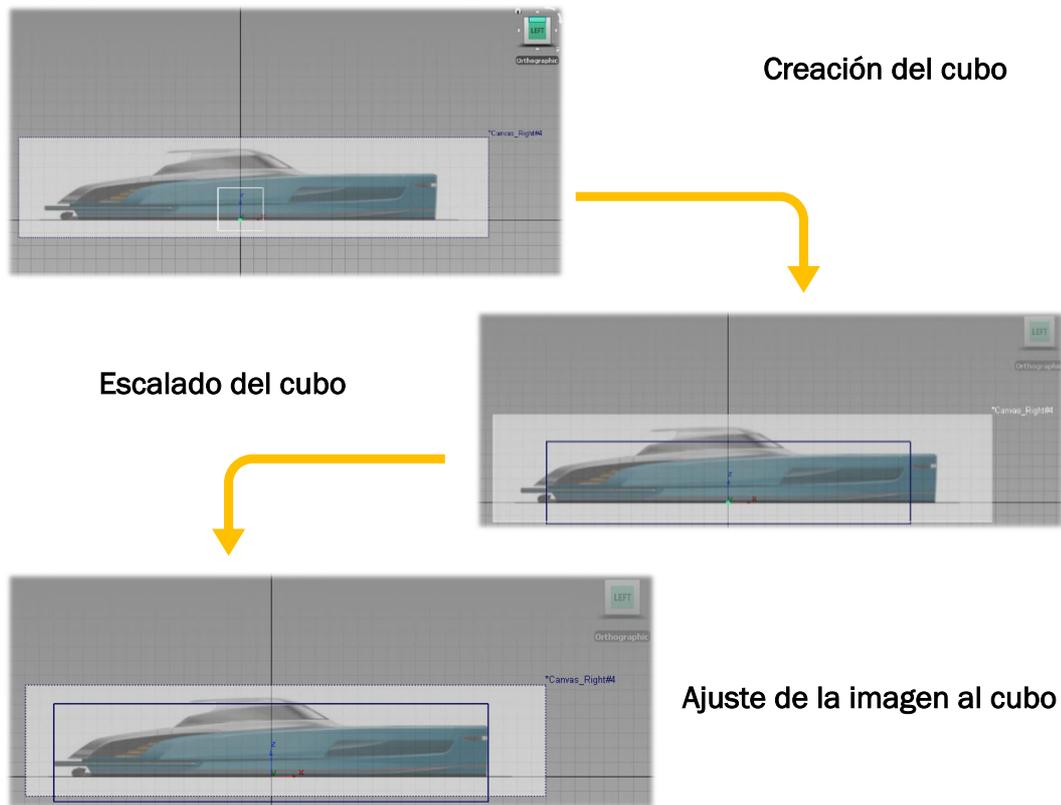


Figura 95 Proceso de escalado de referencias 1.

Planta superior.

Para introducir la planta superior, procedemos de la misma forma que para el alzado. Lo que se debe tener en cuenta en este caso es elegir una vista superior para que el Canvas se cree en la vista correcta. Al tener seleccionada la opción de insertar como nuevo Canvas, este se creará de manera independiente.



Figura 96 Vista superior.

Al haber ajustado en el paso anterior la longitud del cubo, basta con escalar la planta superior para obtener el ancho correcto del cubo de referencia.

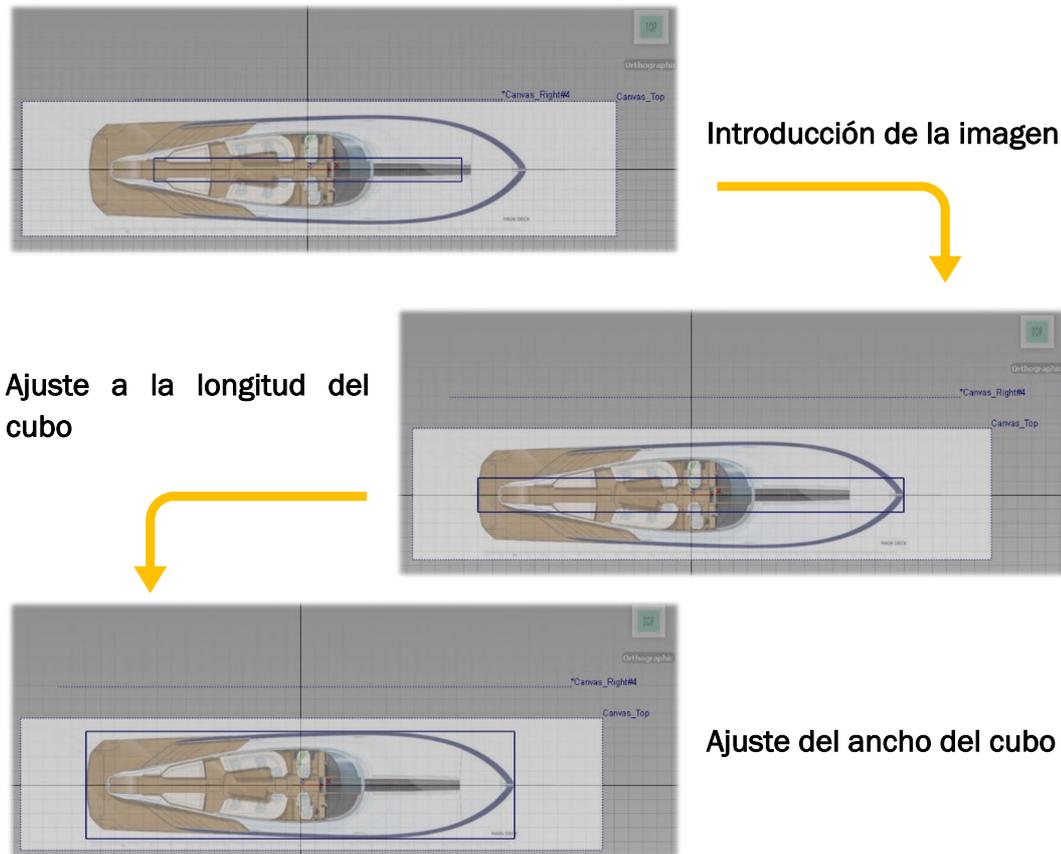


Figura 97 Proceso de escalado de referencias 2.

Para terminar, repetimos todo el procedimiento con el segundo alzado de manera que, finalmente, obtenemos algo así:

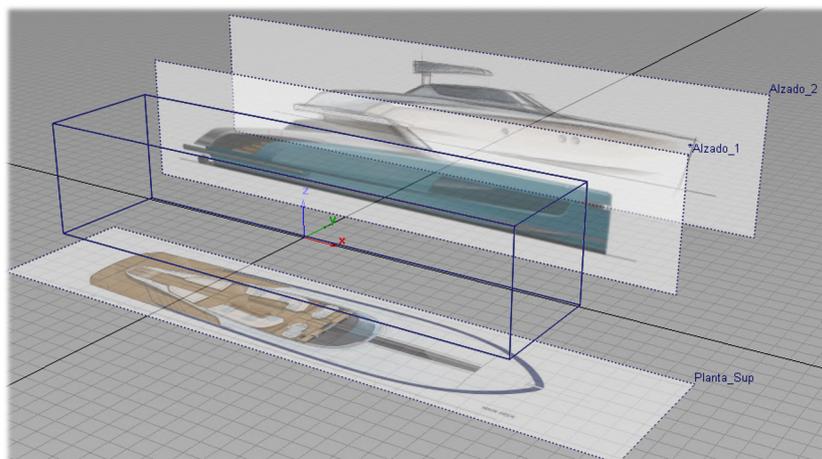


Figura 98 Vista 3D de los planos de referencia.

Al igual que en otros programas de CAD, es recomendable ir agrupando la geometría creada de manera ordenada de forma que su manejo resulte más cómodo y visual.

El equivalente de Alias al “árbol” de CATIA V5 es el “Object Lister”.

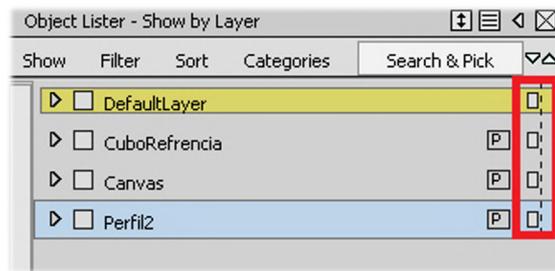


Figura 99 Object List.

Desde esta pestaña se pueden ocultar y manejar de manera cómoda las diferentes curvas y superficies creadas.

Una posibilidad especialmente útil (señalada en rojo) que nos ofrece esta herramienta es la de visualizar la simetría de la geometría agrupada en un determinado bloque. Esto nos va a permitir trabajar sólo con mitades de superficies.

Según vayamos creando las superficies iremos viendo cómo crear de manera segura la geometría completa a partir de tan solo la mitad simétrica.

Una vez tenemos las vistas escaladas, ya podemos ocultar el cubo de referencia pues ya no vamos a necesitarlo de aquí en adelante. La geometría que creamos tendrá las dimensiones acordes con las referencias.

5.2.4. Creación de las curvas centrales del barco.

Una vez están introducidas las imágenes, ya tenemos referencias con las que poder crear las curvas de las superficies.

En primer lugar, vamos a comenzar creando las curvas de la Roda de proa (parte frontal superior del casco) y de la quilla del casco. Para ellas no vamos a tomar como referencia el render final del barco sino uno de los dibujos anteriores. De esta manera, logramos dar un toque distintivo respecto del barco real y podemos trabajar con una superficie inclinada, la cual da un resultado más estilizado.

En una vista lateral ortográfica, creamos una línea inicialmente recta (grado uno). Posteriormente, vamos aumentando el grado matemático de la curva y la ajustamos mediante los puntos de control a la forma deseada. En este caso, al tratarse de una forma curva suave, con un grado dos es más que suficiente.

Realizamos la línea ligeramente sobredimensionada para no tener problemas de recortes en futuras operaciones.

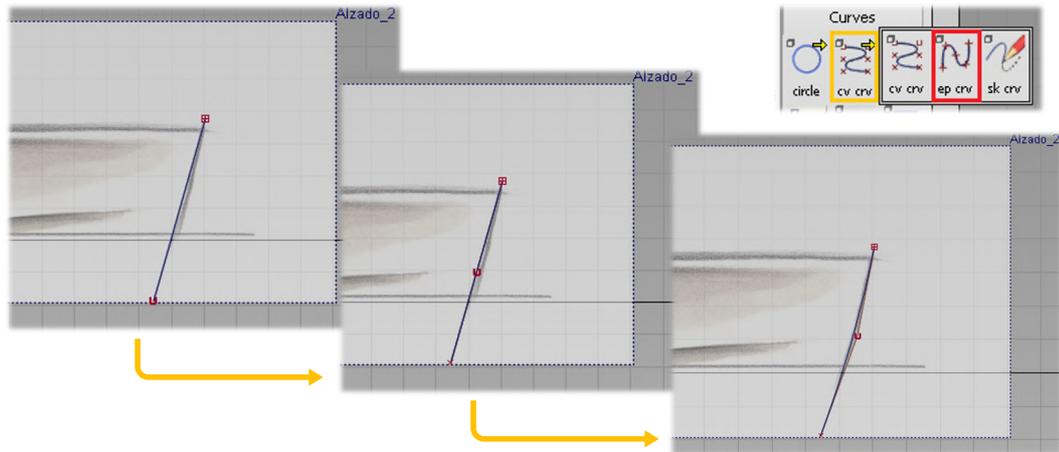


Figura 100 Creación de la curva de la Roda de popa.

Al tratarse de una curva muy simple en la que la curvatura es mínima, no es necesario realizar ningún tipo de revisión posterior.

Para la curva del fondo del casco vamos a tener que suponer un calado del yate al no aparecer este en ninguna de las vistas. Para esta parte del casco basta con realizar una línea horizontal que corte la anterior a la altura deseada y que esté ligeramente sobredimensionada por la parte trasera.

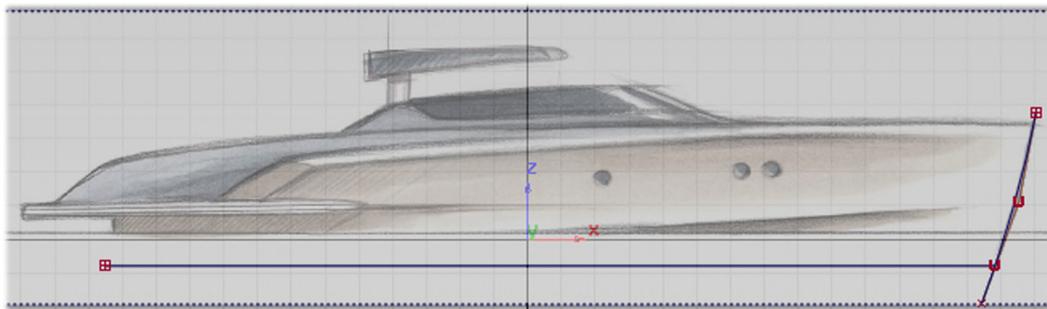


Figura 101 Creación de la curva de fondo de casco.

El siguiente paso es crear la curva que define el perfil de la cubierta superior del barco. Para ello, vamos a cambiar esta imagen de referencia por la del render final del barco ya que, en esta, se encuentran mejor definidas las diferentes superficies de cubierta.

De manera análoga a la curva de la Roda, comenzamos con una recta a la cual le aumentamos el grado y le modificamos los puntos de control. En este caso, es difícil conseguir la forma deseada con una curva de grado dos, por lo que debemos aumentarlo un grado más para poder ajustarlo correctamente.

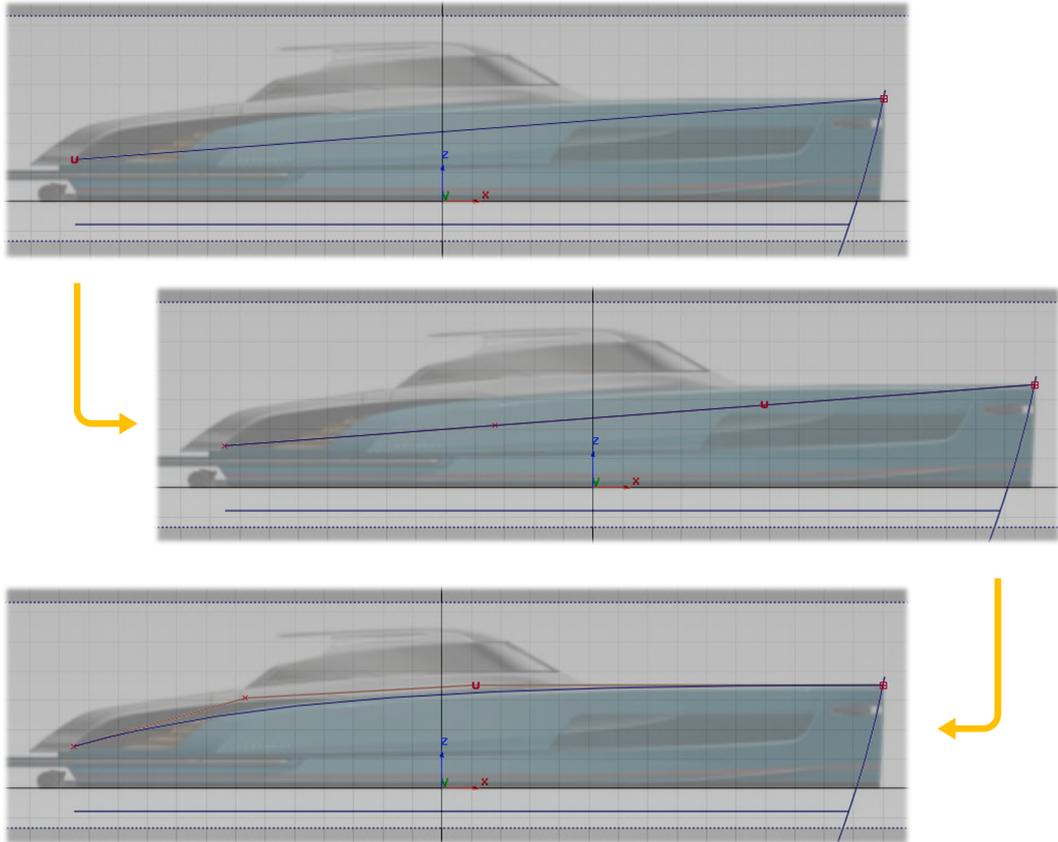


Figura 102 Creación de la curva de cubierta.

Al tratarse de una curva de mayor longitud y con curvatura variable (lo cual implica desplazar los CVs a lo largo de la curva), vamos a tener que comprobar que la curvatura es “sana”. Para ello, la primera opción es utilizar los diagramas de peine de curvatura:

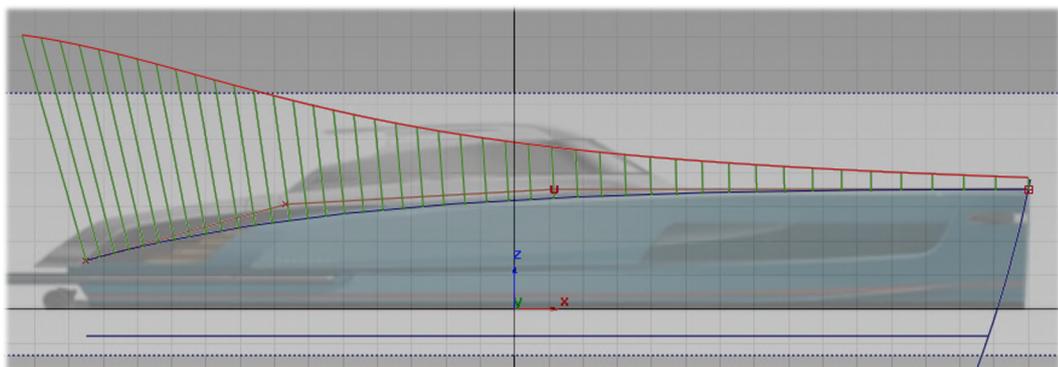
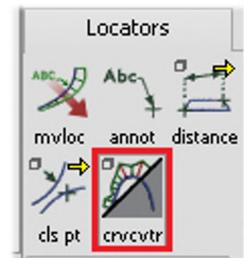


Figura 103 Comprobación mediante diagrama de peine.

Pero muchas veces la visualización de este tipo de diagramas no nos ofrece un diagnóstico claro sobre el carácter de la curvatura.

Un “atajo” que se usa habitualmente para saber de manera rápida si la curvatura es correcta o no es la utilización de la herramienta *Extend*. Si al extender nuestra curva, esta mantiene una curvatura estable, entonces el resultado es positivo. En caso contrario, debemos modificarla.

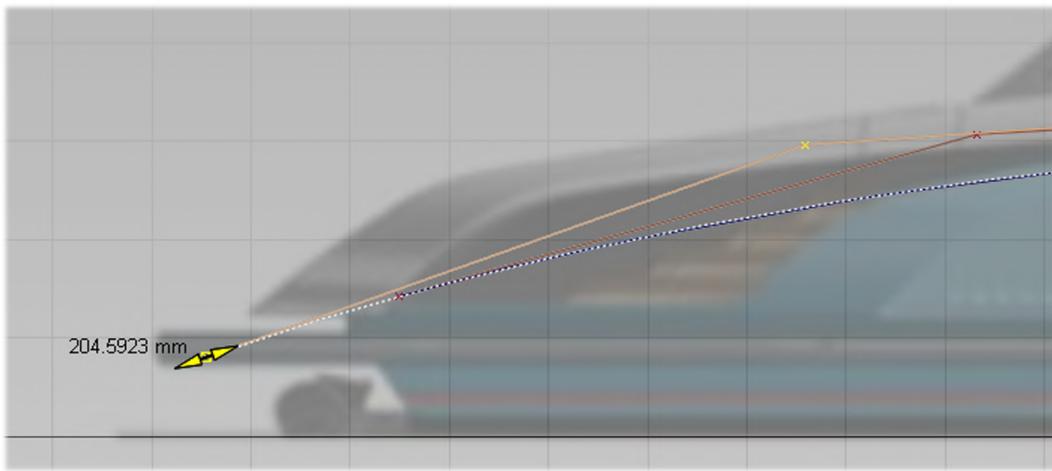
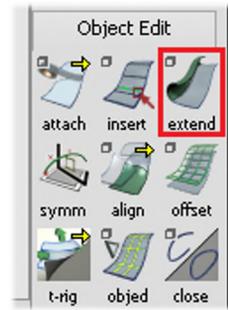


Figura 104 Análisis de curvatura correcto.

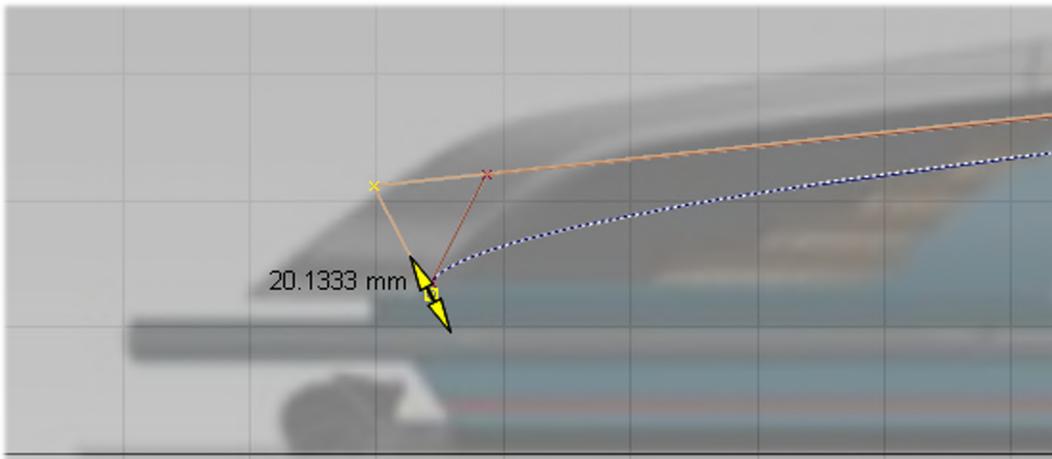


Figura 105 Ejemplo de curvatura incorrecta.

Por último, nos quedaría realizar la curva que dará forma al Pie de Roda. No obstante, antes de realizar esta, debemos definir las dos curvas que determinan la forma del casco en vista de planta.



Figura 106 Pie de Roda. [1]

Salvo algunas excepciones que iremos matizando según vayan apareciendo, la herramienta que estamos usando para la creación de curvas es la denominada con las siglas “ep crv”.

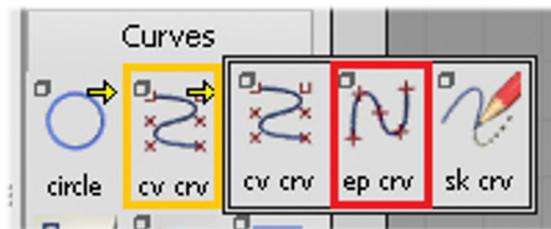


Figura 107 Tipos de curvas.

Como podemos observar, existen tres tipos de curvas principales:

- **CVs Curve:** en este tipo de curva, cada vez que pinchamos con el ratón, creamos un punto de control de la curva. No suele utilizarse mucho salvo para los modeladores expertos ya que, a simple vista, no es fácil conocer cómo se va a comportar la curva con dichos puntos creados. Según añadimos CVs, aumentamos el grado matemático de la curva.
- **Edit Point Curve:** es la más utilizada. En estas curvas, lo que seleccionamos es el punto origen y final de nuestra curva. El grado matemático de la curva viene predeterminado, aunque se puede cambiar posteriormente. La curva inicialmente recta, puede modificarse mediante el movimiento de sus puntos de control.
- **Sketch Curve:** en este caso, la curva se realiza enteramente a mano alzada. Este tipo de curvas están reservadas únicamente si se trabaja con Tabletas Gráficas, ya que con un ratón es prácticamente imposible realizarlas.

5.2.5. Creación de las curvas del casco en planta.

La superficie principal del casco está delimitada por dos curvas principales las cuales se representan en la figura:



Figura 108 Superficie principal del casco. [1]

La curva superior se puede obtener directamente de la vista en planta. Manteniendo un procedimiento similar al resto de curvas realizadas hasta ahora obtenemos la curva exterior del casco. Debemos recordar siempre seleccionar una vista ortográfica (en este caso superior) para que la curva quede en un plano horizontal.

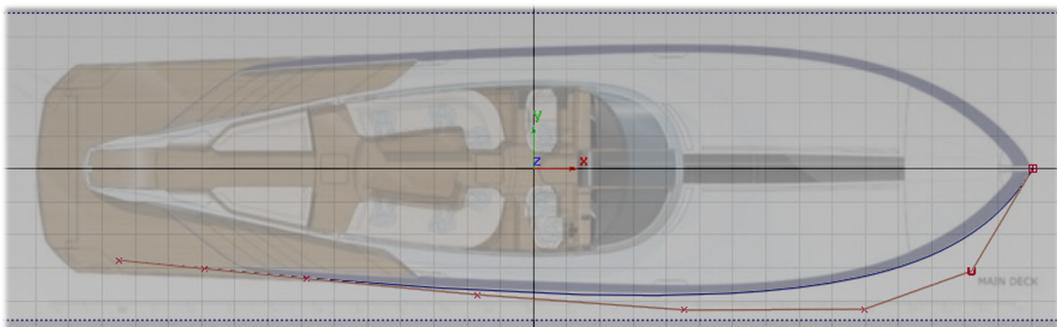


Figura 109 Curva exterior del casco.

Un detalle importante a la hora de realizar esta curva es hacer que uno de los extremos de la curva coincida con el extremo superior de la curva de la Roda de proa que habíamos realizado en primer lugar. De lo contrario, la curva se crearía en el plano $Z=0$ y tendríamos que moverla.

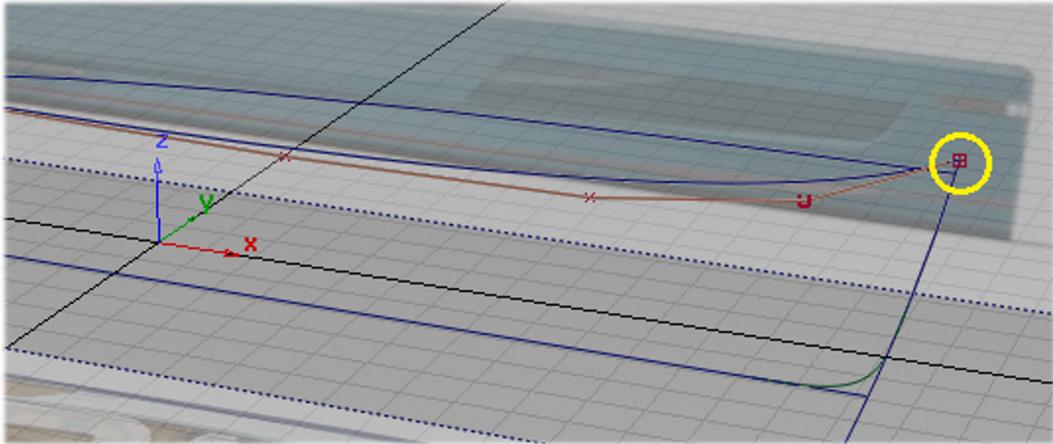


Figura 110 Coincidencia de extremos.

Como aún estamos en el modelo de bloques, creamos la curva con un grado matemático que nos permita recrear cómodamente la forma deseada de la curva. Más adelante en el apartado de mejora de las superficies se intentará obtener la misma superficie de manera más “ligera”.

Para el límite inferior de la superficie vamos a crear una curva que, en vista de planta, coincida en un extremo con el de la curva anterior y el otro con la de la roda de proa. En la parte de proa buscamos que el casco sea más afilado para conseguir una menor resistencia al corte del agua. De esta manera obtenemos una curva como la siguiente:

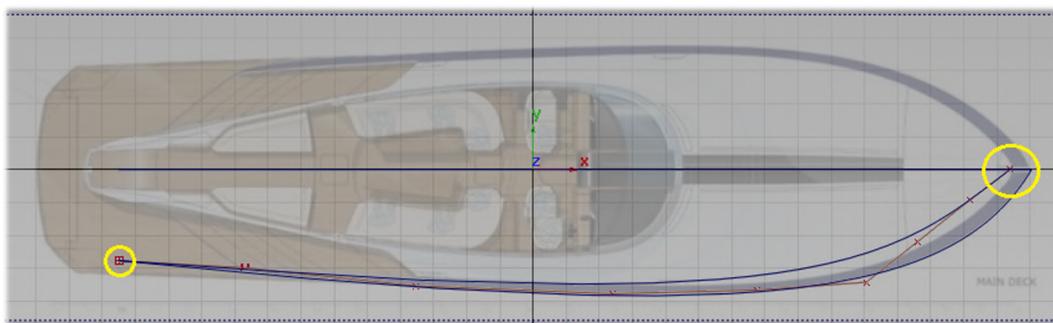


Figura 111 Curva inferior del casco.

En este punto, tenemos las dos curvas creadas a la misma altura al haber seleccionado como extremo u origen el punto final del anterior. El siguiente paso es mover la curva hasta su sitio. Para ello tomaremos referencias de nuevo con el perfil del barco. En necesario prestar atención a los extremos de la curva para no perder las coincidencias.

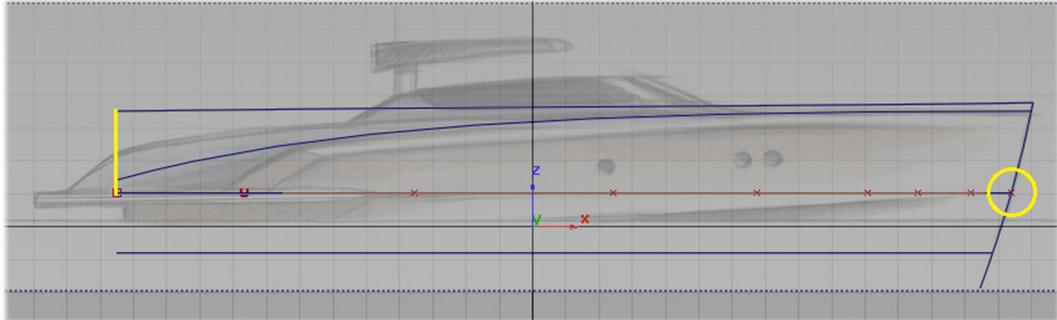


Figura 112 Desplazamiento vertical. Curva inferior del casco.

Por último, daremos forma a la curva en este plano para, de este modo, obtener la curva en 3D.

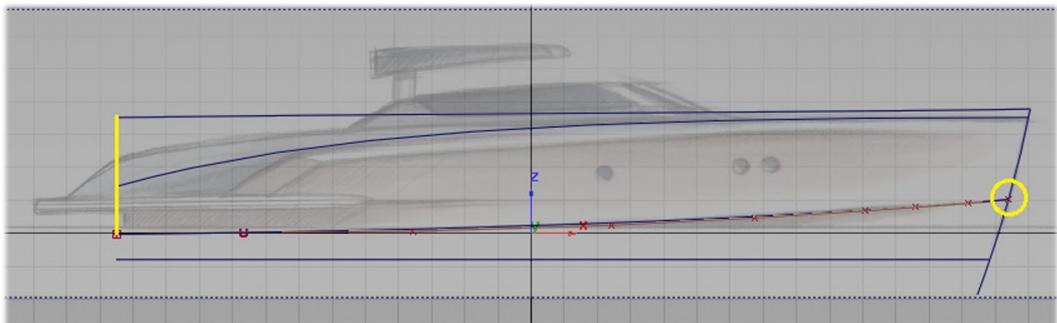


Figura 113 Versión acabada. Curva inferior del casco.

Una vez tenemos las curvas horizontales del casco, las analizamos con la herramienta *Extend* de la misma manera que hemos visto antes y continuamos con la creación de las curvas verticales.

Para este primer modelo de bloques nos basta con realizar dos rectas que unan los extremos de las curvas del casco con la curva central inferior.

Como podemos observar, todas las curvas se han creado sobredimensionadas para luego proceder a su recorte sin problemas.

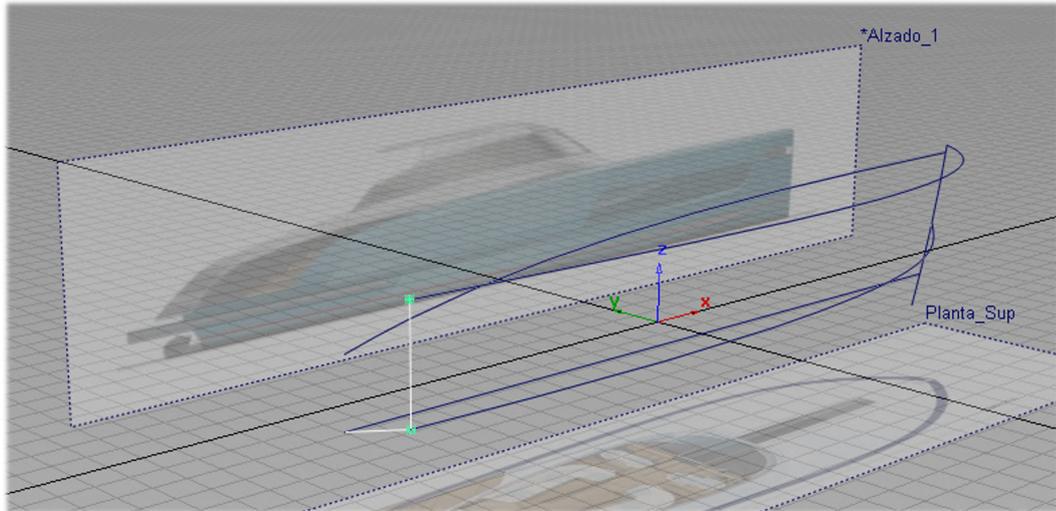


Figura 114 Curvas de popa del casco.

Como ya habíamos adelantado anteriormente, una vez creadas las curvas del casco, ya podemos definir la curva que va a dar forma al Pie de Roda.

- Quizá pueda parecer que estamos contradiciendo una de las reglas de oro que habíamos citado en la parte teórica del trabajo: realizar los redondeos en la fase final del modelo. No obstante, nos encontramos ante una excepción ya que, posiblemente, esto nos produzca una discontinuidad entre las dos mitades del casco.

Para la realización de esta curva, vamos a utilizar una nueva herramienta de creación que hasta ahora no habíamos usado: la herramienta *Blend Curve*.

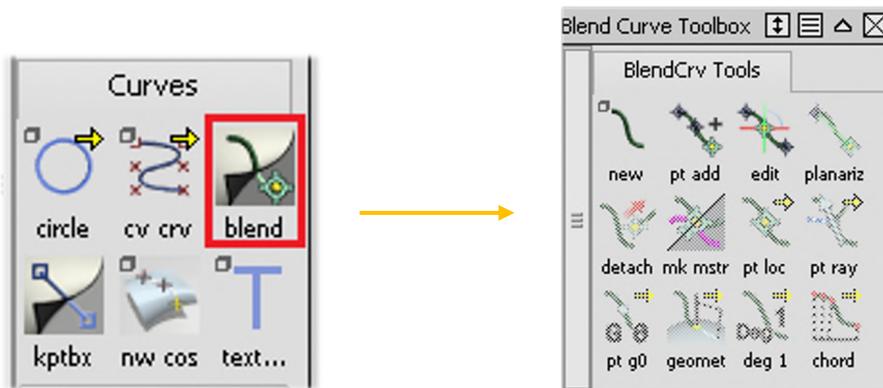


Figura 115 Herramienta Blend

Esta herramienta nos permite crear una curva directamente con continuidad en curvatura entre otras dadas. Este mismo proceso se puede llevar a cabo de manera más lenta mediante la creación de una curva convencional y su posterior alineamiento manual.

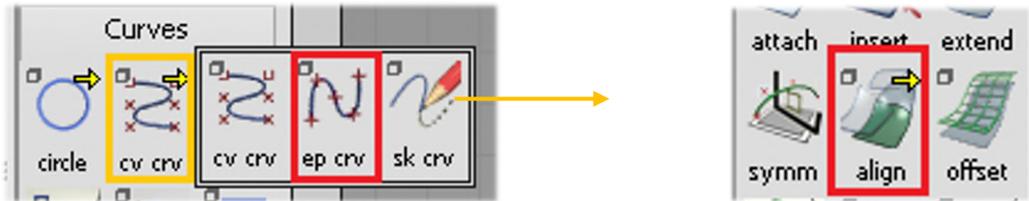


Figura 116 Alineación manual.

En el cuadro de diálogo de *Blend Curve*, seleccionamos *New*.

A continuación, siguiendo la curva de la Roda, elegimos el punto de intersección entre las dos curvas que nos viene resaltado con una cruz amarilla. Esta parte es importante ya que nos permitirá más adelante crear superficies de cuatro lados, algo que se recomienda encarecidamente para crear superficies “sanas”.

El extremo inferior, como no disponemos de referencias, lo colocamos de manera intuitiva para que la forma de la curva tenga el carácter que queremos.

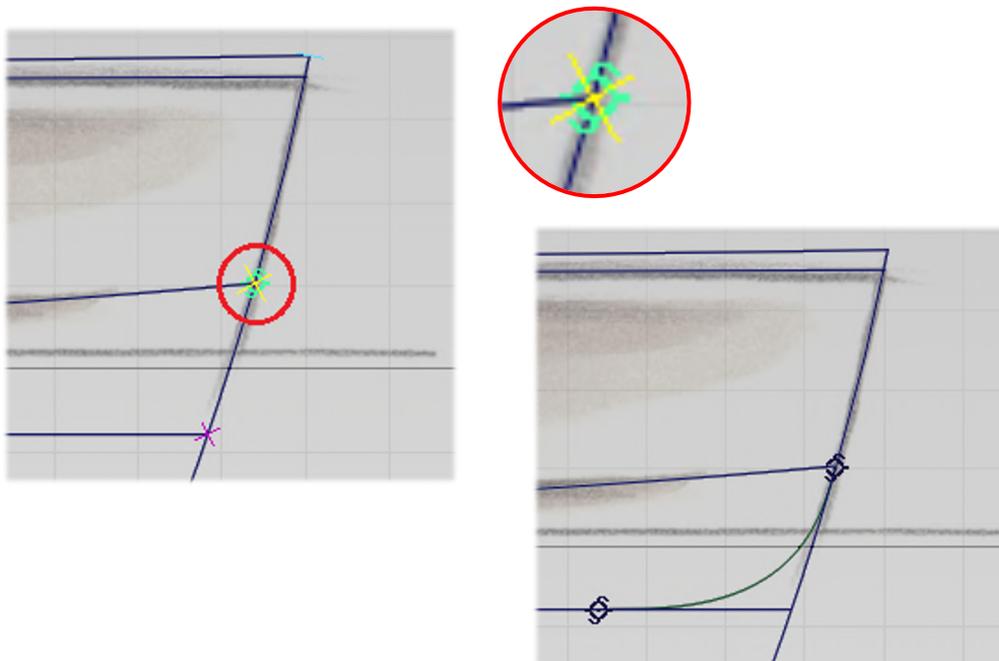


Figura 117 Creación de la curva Blend.

Si no estamos contentos con la forma obtenida, podemos modificar la forma de la curva dentro de los márgenes de continuidad mediante el botón *edit*:

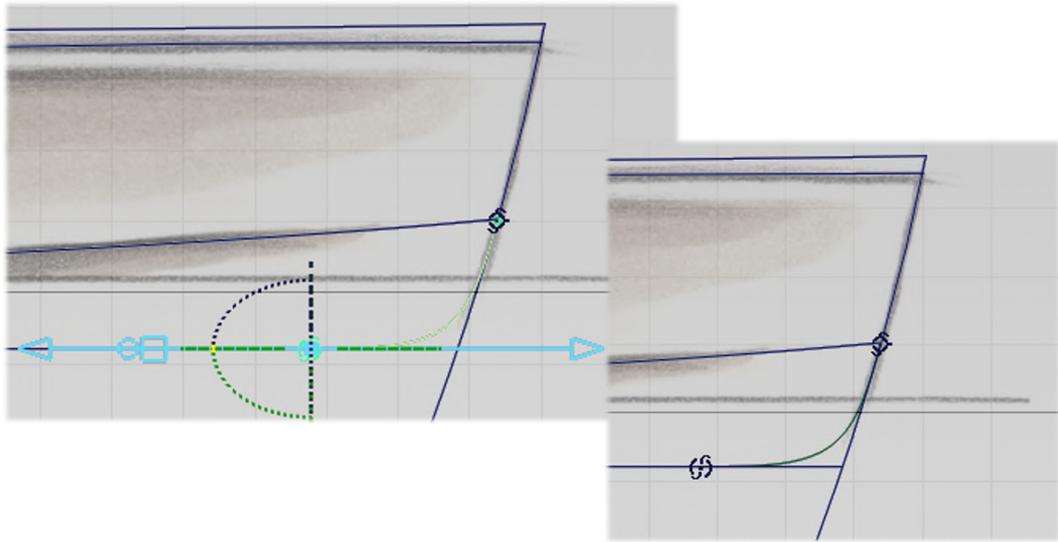


Figura 118 Forma final del Pie de Roda.

Finalmente, realizamos un análisis de curvatura para corroborar que la transición es suave.

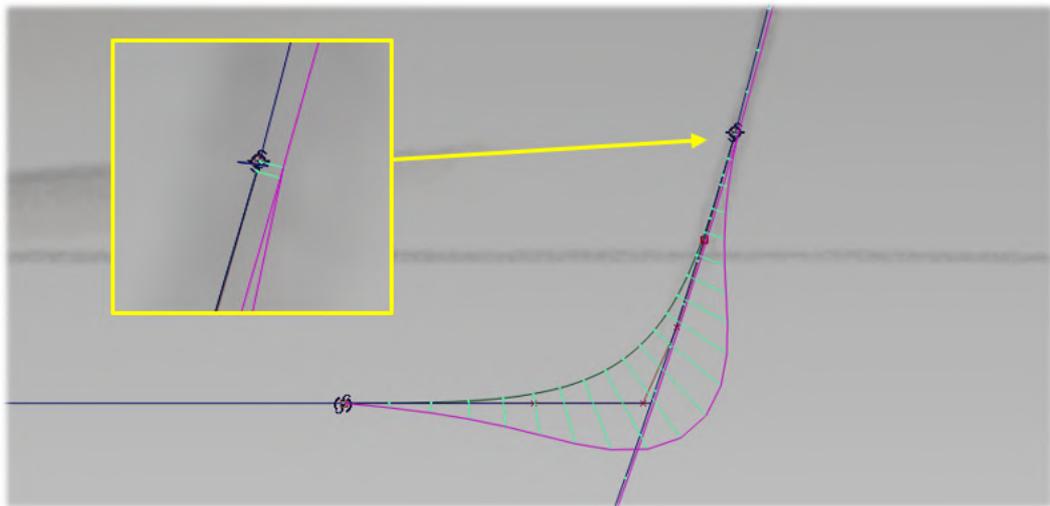


Figura 119 Análisis de curvatura.

5.2.6. Creación de las superficies del casco. Referencias ■ ■

Ahora que ya disponemos de datos suficientes como para crear las superficies, vamos a ver las diferencias que existen entre realizar un recorte con la curva del Pie de Roda o incluirla a la hora de generar las superficies.

Tanto para estas superficies como para las demás que vayan apareciendo se va a intentar utilizar en la medida de lo posible la herramienta *Square*.

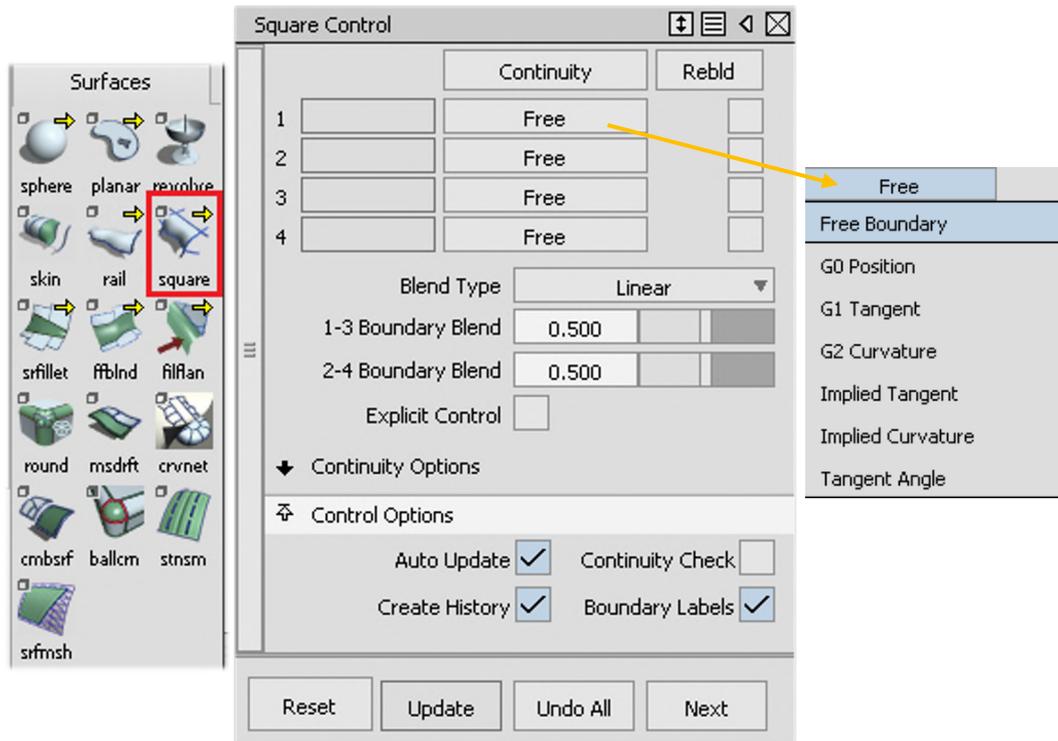


Figura 120 Herramienta Square.

La principal ventaja que ofrece esta herramienta es la de permitirnos seleccionar el tipo de continuidad que queremos para cada una de las aristas de la superficie. A parte de eso, si el resultado no es el que queremos, podemos modificar los parámetros matemáticos de la superficie pinchando en la opción *Explicit Control*.

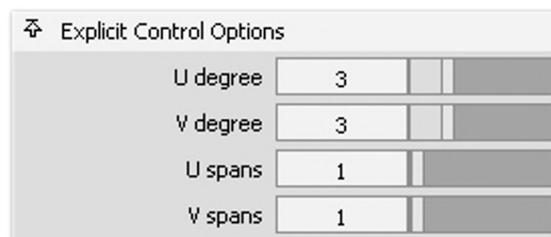


Figura 121 Pestaña Explicit Control.

Antes de poder realizar el recorte, necesitamos las superficies base. Vamos a comenzar por la mitad superior del casco.

En esta primera superficie no nos hace falta configurar ningún tipo de continuidad ya que las aristas son directamente los límites de la superficie.

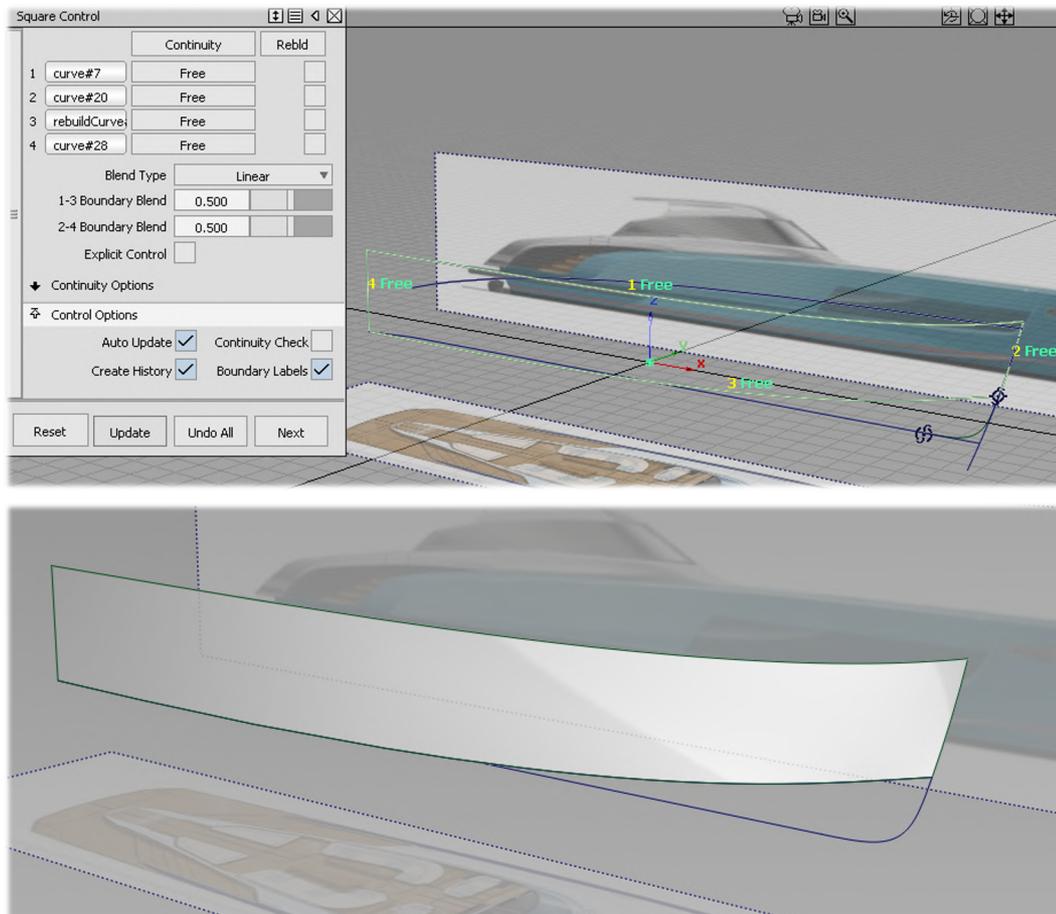


Figura 122 Superficie superior del casco.

A continuación, pulsamos en *Next* para crear la mitad inferior del casco. Como podemos observar en la figura 122, la arista número 3 de la superficie anterior va a ser común a ambas superficies. A pesar de no necesitar ningún tipo de continuidad en concreto (ya que la continuidad posicional se consigue utilizando la misma curva), resulta recomendable ir acostumbrándose a seleccionar la arista de la superficie en vez de la curva de base. De esta manera, las condiciones de continuidad que imponamos se establecerán con respecto a la anterior superficie y no a la curva en sí.

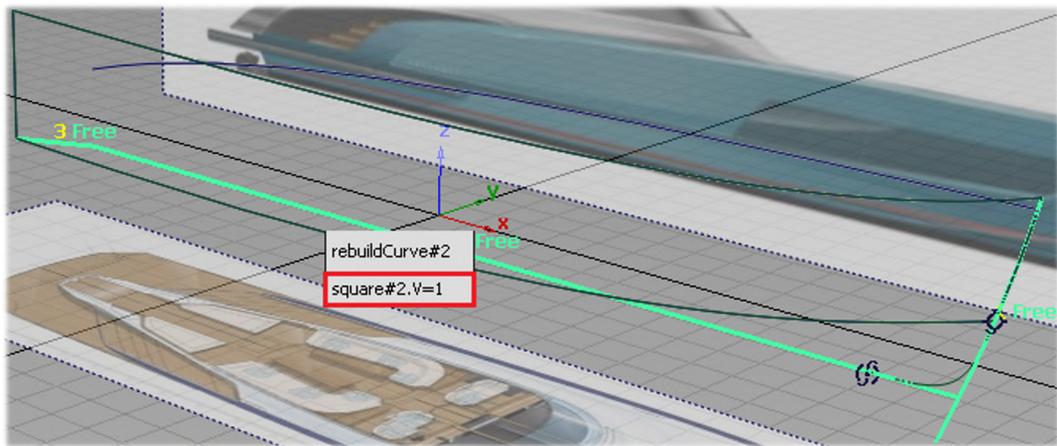


Figura 123 Selección de la superficie.

Pese a no ser estrictamente necesario, seleccionamos en la arista compartida (número 4) continuidad G0 o en posición.

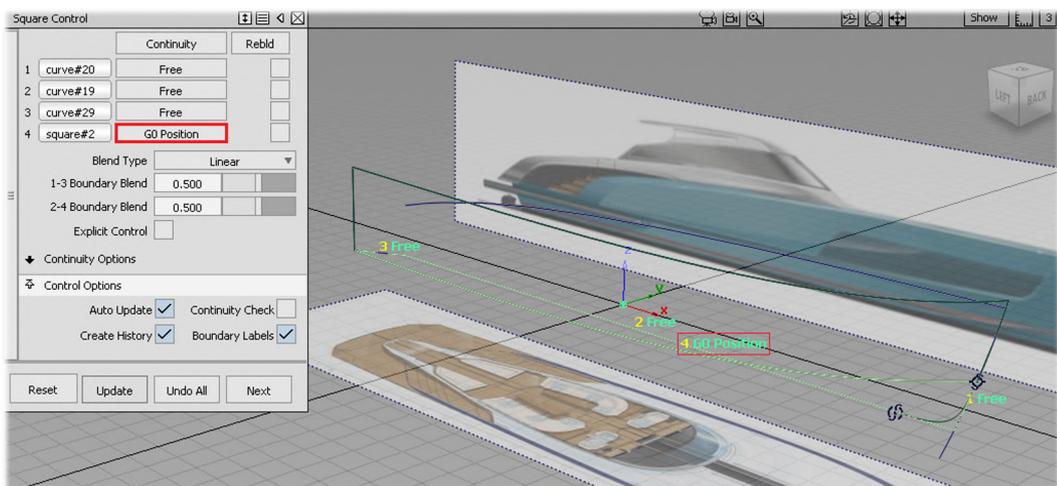


Figura 124 Continuidad de tipo G0 en la arista compartida.

Si ahora sombreamos las superficies creadas y mostramos sus simétricas obtenemos una figura como la siguiente:

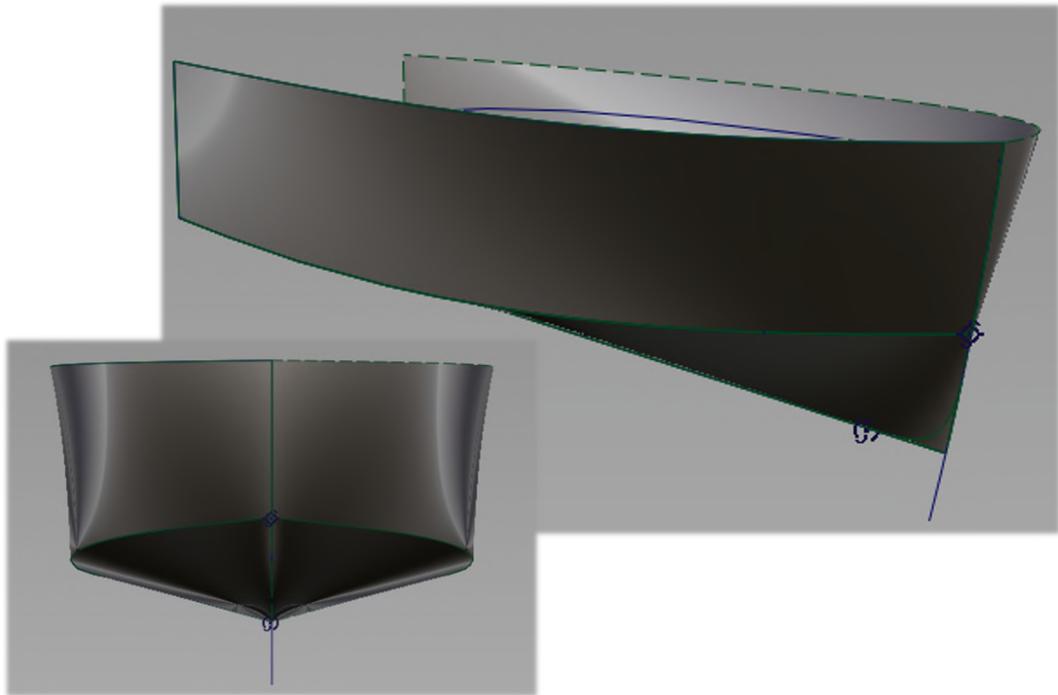


Figura 125 Superficies básicas para recorte.

Para poder recortar con la silueta deseada, primero debemos proyectar la curva a la superficie:

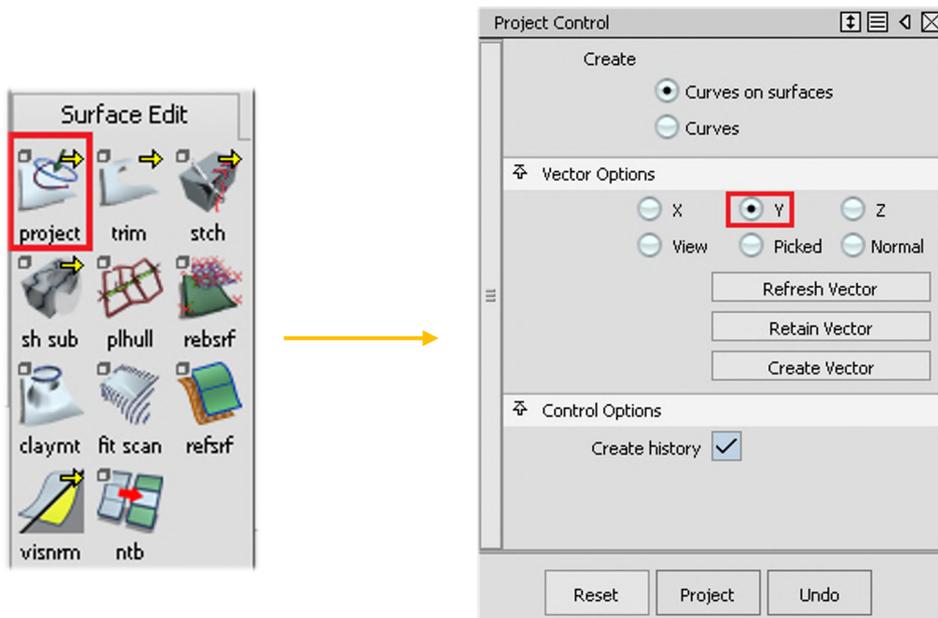


Figura 126 Herramienta Project.

Como podemos ver tanto en la figura 123 como en la 124, la proyección de la curva debe realizarse en el eje Y. Para ello podemos o bien seleccionar directamente el vector Y en el cuadro de diálogo o bien elegir una vista ortográfica lateral y seleccionar *View*.

Primero seleccionamos la superficie y pulsamos *Go* (las aristas de la superficie quedan realzadas en color magenta). Después seleccionamos las curvas a proyectar y pulsamos *Project*.

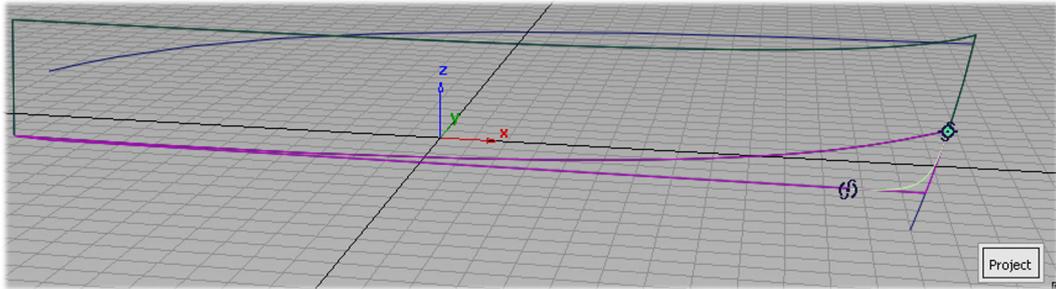


Figura 127 Proyección de la curva del Pie de Roda.

Lo que obtenemos es una curva del tipo *Curve on Surface*, pintada de color verde sobre la superficie inferior del casco.

Con la curva ya proyectada, podemos proceder al recortado de la superficie:

- Elegimos la superficie a recortar.
- Seleccionamos la zona que deseamos mantener o eliminar.

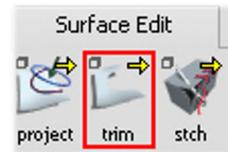


Figura 128 Herramienta Trim.

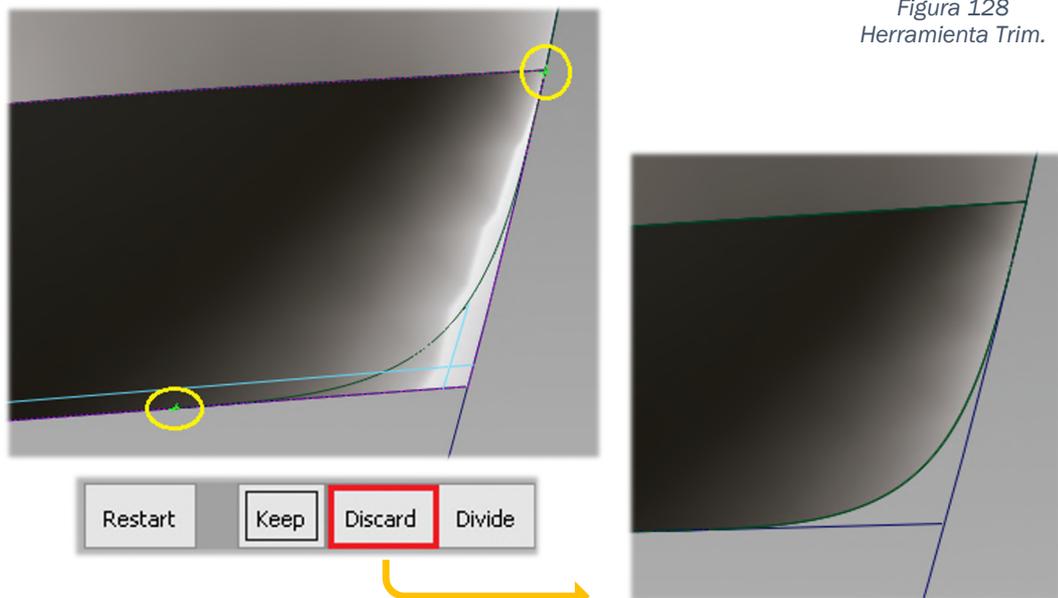


Figura 129 Recorte del Pie de Roda.

Las dos pequeñas cruces verdes que aparecen nos indican que la zona que queremos recortar es cerrada y que, por ende, el recorte se llevará a cabo satisfactoriamente. Esto quiere decir que, efectivamente, los extremos de nuestra curva *Blend* coinciden con las otras dos curvas.

Aparentemente puede parecer que el resultado es correcto, no obstante, si nos acercamos a la zona del recorte nos encontramos con una separación entre las dos superficies.

Es por esto por lo que, este procedimiento no es válido y, excepcionalmente, debemos incluir el redondeo a la hora de crear la superficie.

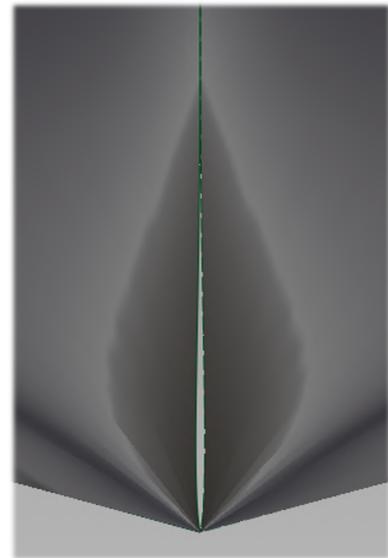


Figura 130 Superficie del casco defectuosa.

Para crear la superficie de nuevo, procedemos de la misma manera que antes con la herramienta *Square* solo que esta vez, una de las aristas es la curva *Blend*.

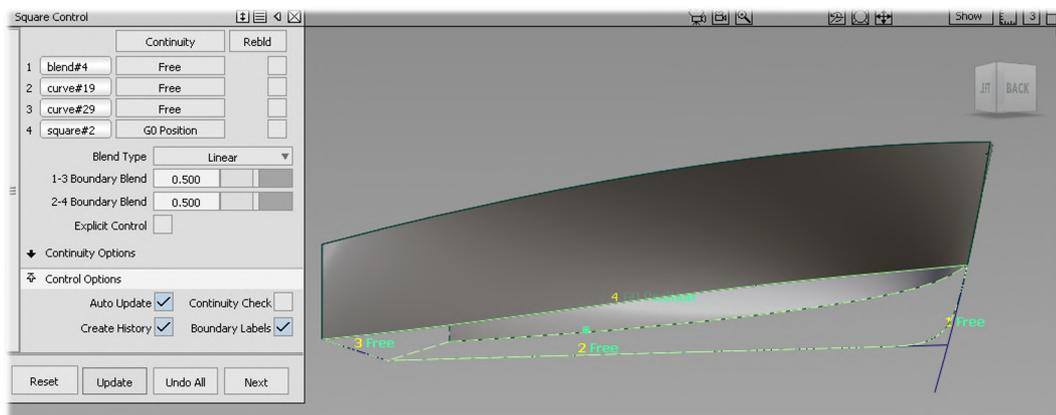


Figura 131 Superficie inferior del casco correctamente creada.

Al sombreadar la superficie obtenida podemos apreciar a simple vista que ya no existe agujero. Para más seguridad realizamos un análisis de continuidad G0 en las uniones de las superficies creadas para verificar que todo es correcto.

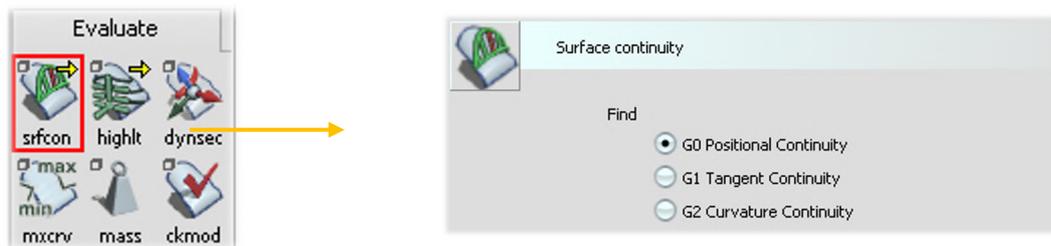


Figura 132 Análisis de continuidad G0.

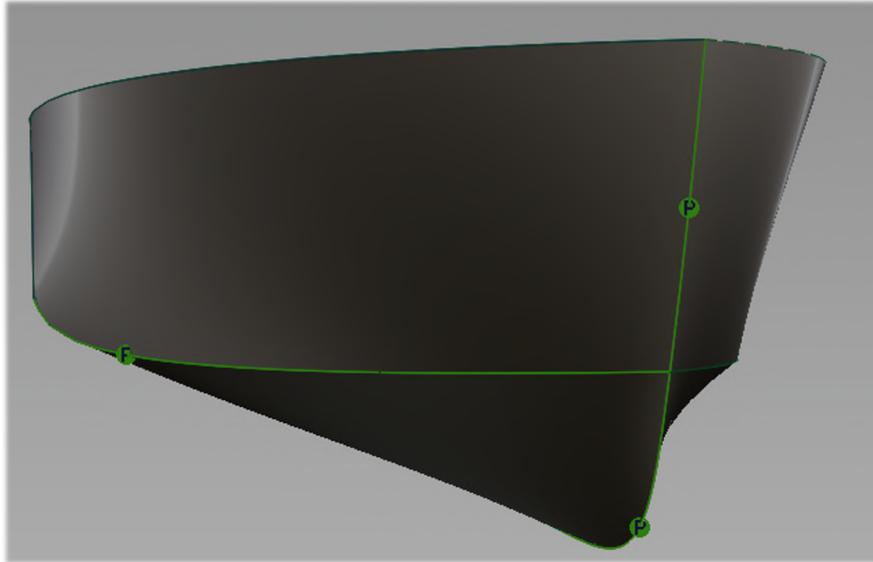


Figura 133 Superficies básicas del casco.

5.2.7. Creación de la superficie de cubierta. Referencia █

Para este modelo de bloques, vamos a realizar una superficie sencilla a partir de la curva central que realizamos durante la primera parte de la creación del modelo (Véanse las figuras 102 y 103).

Para ello vamos a utilizar una nueva herramienta de creación de superficies: la herramienta *Multi-Surface Draft*.

Esta herramienta nos permite crear superficies de manera sencilla en una determinada dirección o con un determinado ángulo de desmoldeo.

En este caso vamos a comenzar con una superficie plana que sobrepase en longitud a las del casco y, posteriormente, modificaremos ligeramente la curvatura mediante los puntos de control.

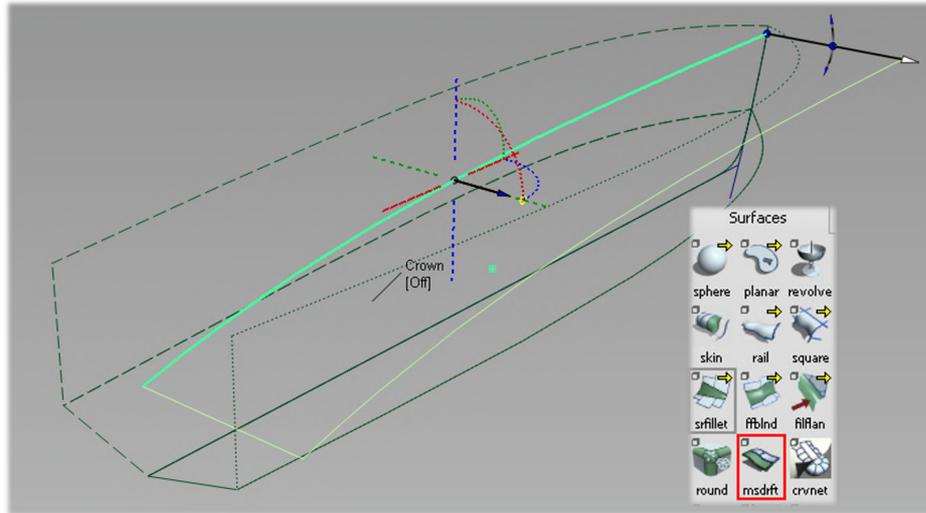


Figura 134 Creación de la superficie de cubierta con MS Draft.

Una vez tenemos la superficie, creamos la pequeña curvatura:

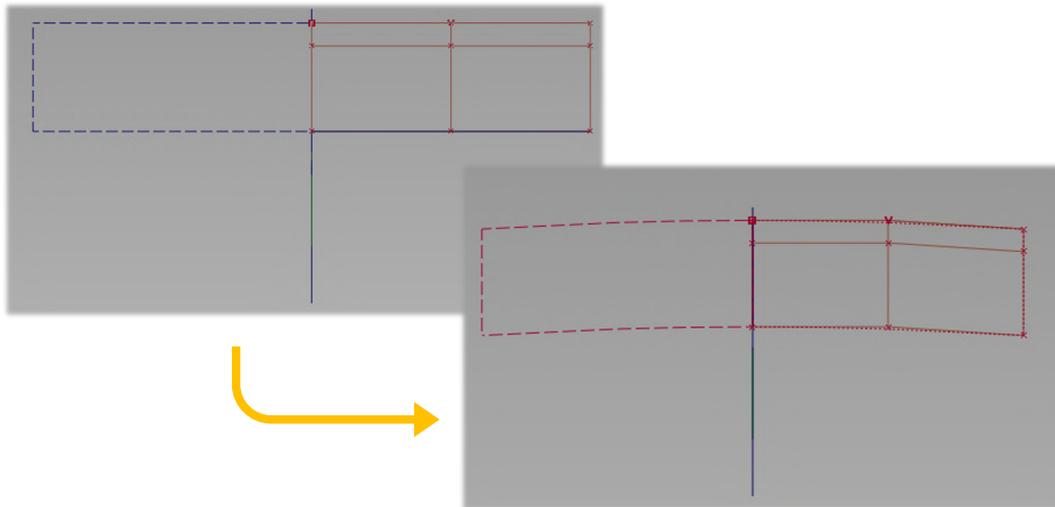


Figura 135 Curvado de la superficie de cubierta.

Finalmente, obtenemos un conjunto con el siguiente aspecto:

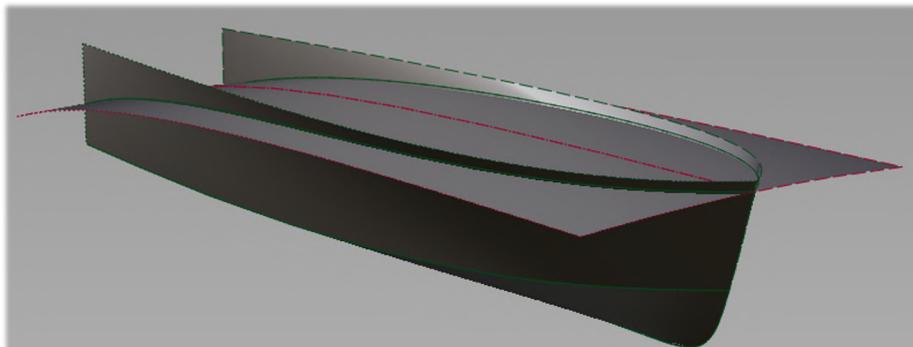


Figura 136 Conjunto de superficies Casco-Cubierta.

5.2.8. Creación de las curvas del parabrisas.

El siguiente paso en la creación de nuestro modelo de bloques es la realización de las superficies primarias que unen la cubierta con el parabrisas de cristal del barco.

El primer paso es obtener las curvas que delimitan dónde acaba la cubierta y dónde comienza el parabrisas. Estas curvas las podemos encontrar en el plano de vista en planta:

Quizá a simple vista cueste un poco localizar estas curvas. No obstante, jugando con el brillo y el contraste dentro del propio Word, podemos hacer que estas curvas aparezcan con mucha mayor claridad:

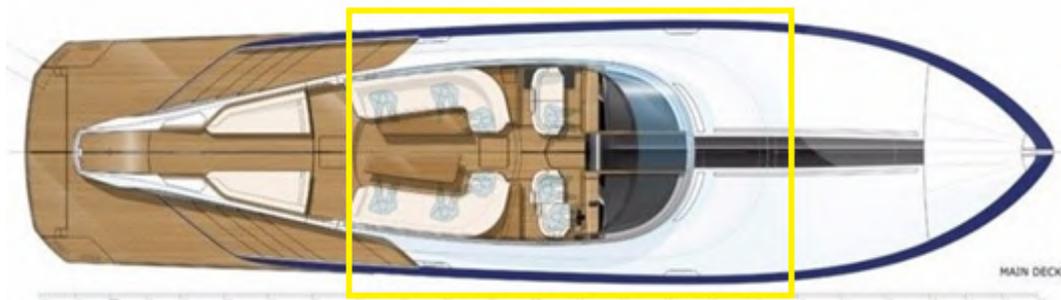


Figura 137 Vista en planta del barco.

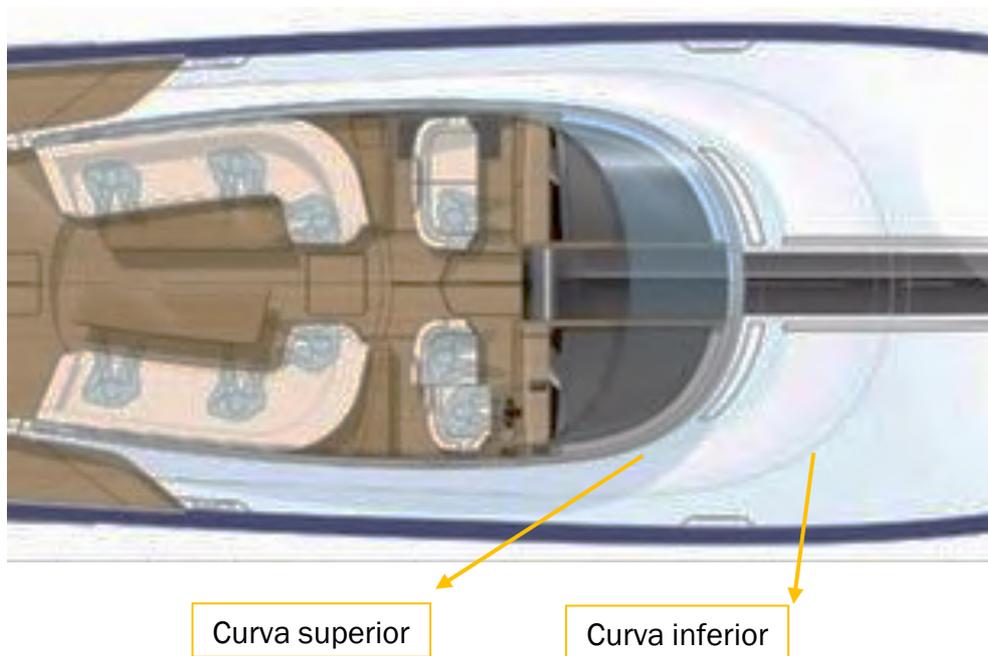


Figura 138 Localización de las curvas superior e inferior del parabrisas.

Para tener mayor control sobre la superficie que crearemos posteriormente, vamos a dividir estas curvas en dos partes:

- La zona que se encuentra más a proa y que corta el eje de simetría, realizada con un segmento de circunferencia.
- La zona que se extiende hacia la popa, realizada usando curvas simples.

Como ya habíamos adelantado en la parte teórica del trabajo (apartado 2.1.8 *Círculos y Revoluciones*), los tipos de circunferencia que nos permiten trabajar de manera satisfactoria con geometrías abiertas son los no periódicos (Véase Figura 15).

Con esto en la cabeza, abrimos el cuadro de diálogo de la herramienta *Circle* y seleccionamos un segmento de 90° de círculo no periódico:

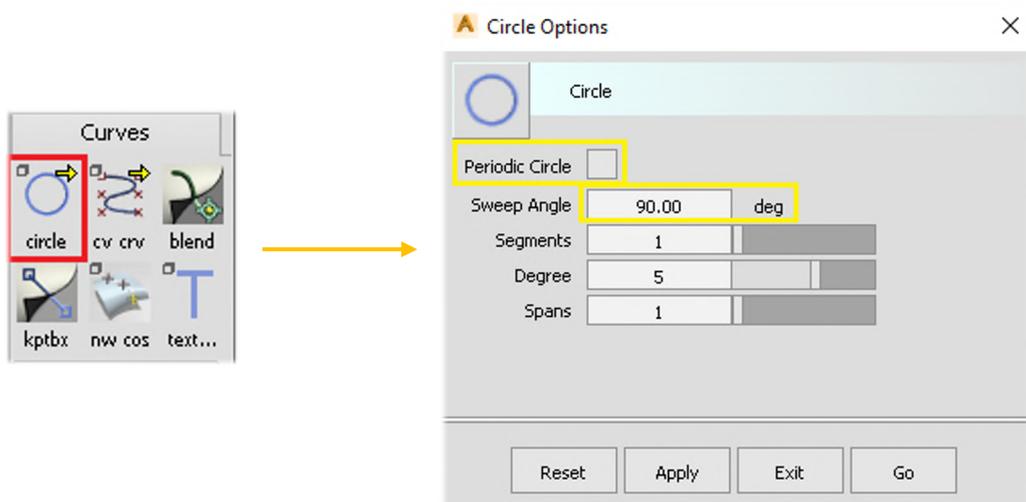


Figura 139 Herramienta Circle.

Escalamos esta sección y la colocamos en su posición:

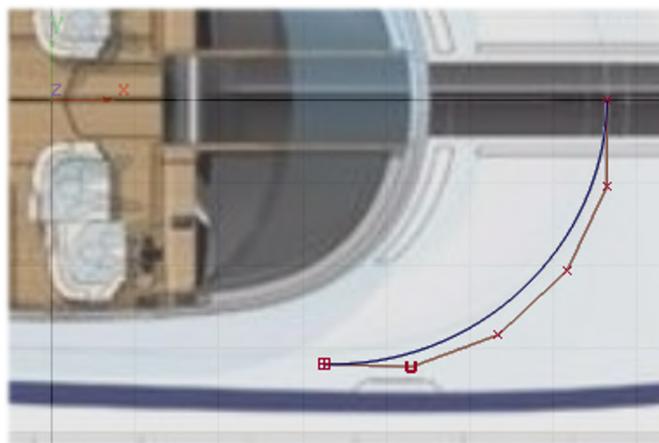


Figura 140 Sección circular. Superficie del parabrisas.

En el extremo de esta sección vamos a añadir una curva lo más sencilla posible que siga la referencia y tenga continuidad en tangencia (extremo y segundo CV alineados) con la anterior. El resultado es una curva de grado dos.

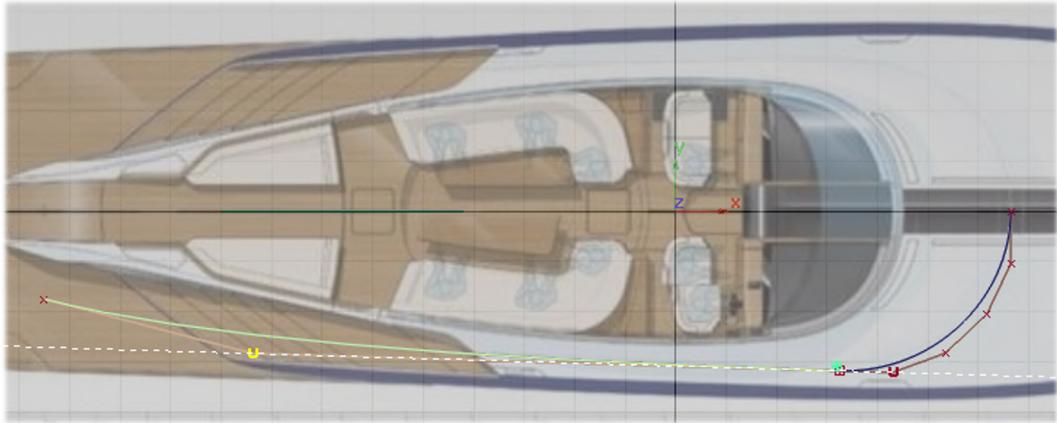


Figura 141 Arista inferior de la superficie del parabrisas.

Procedemos de manera exacta con la arista superior del parabrisas y el resultado obtenido es el siguiente:

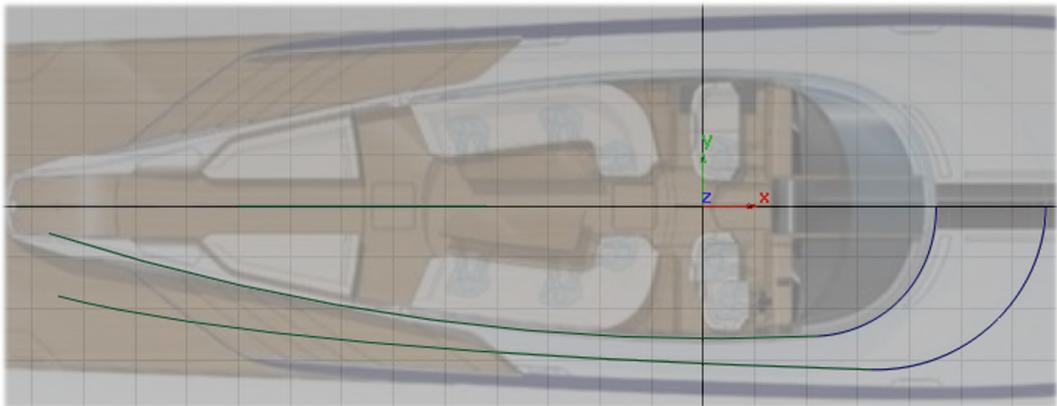


Figura 142 Aristas superior e inferior del parabrisas.

Estas cuatro curvas se encuentran en el plano XY al haber tomado como referencia el eje X en las secciones de circunferencia.

Lo siguiente que debemos hacer es proyectar la curva inferior a nuestra superficie de cubierta con la herramienta *Project*. En este caso, la dirección de proyección será el eje Z.

Las opciones que debemos marcar dentro del cuadro de diálogo de la herramienta *Project* son las siguientes:

- Dirección del vector coincidente con el eje Z.
- Proyectar como *Curves*.
- *Match Original* para que las curvas finales tengan la misma distribución de puntos de control que las originales.

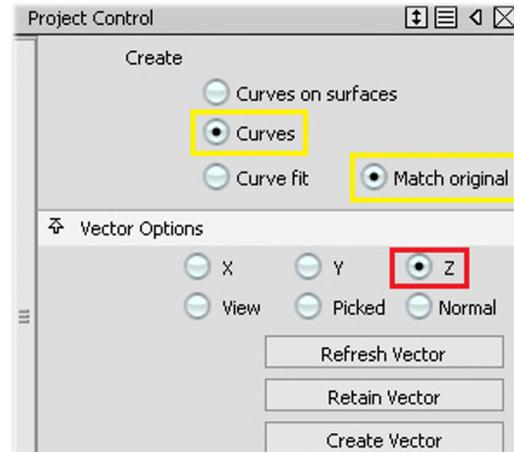


Figura 143 Cuadro de diálogo de la herramienta *Project*.

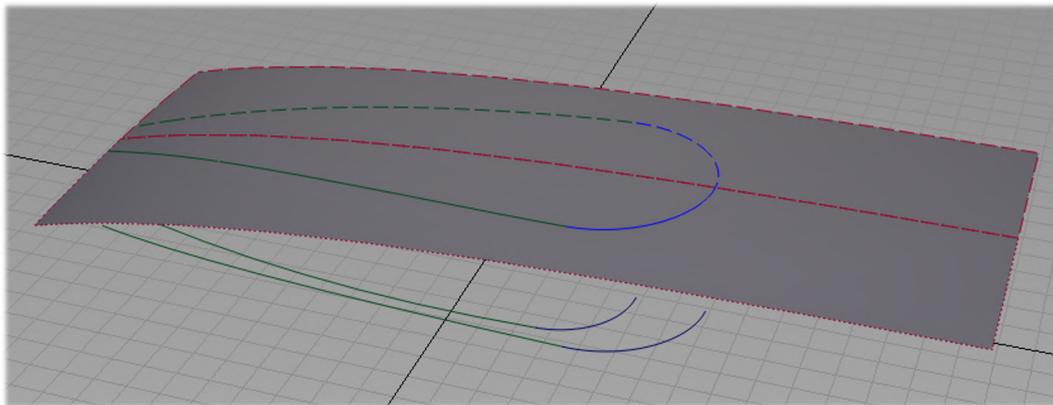


Figura 144 Curva inferior proyectada en la cubierta.

En el caso de la curva superior no es necesario proyectar sobre la cubierta si no que, podemos moverla directamente hasta su posición final. Después de colocarla en su sitio, procederemos a dar forma a la curva (inicialmente plana) desde una vista lateral ortográfica. De esta manera conseguiremos seguir las formas del casco en tres dimensiones (figura 145).

Es necesario recordar que únicamente estamos trabajando con un modelo rápido que nos permita hacernos a la idea de las dimensiones generales de las superficies. Una vez completado este modelo, procederemos a la mejora generalizada de las curvas y superficies del barco. Es por esto por lo que en estas curvas no estamos prestando atención nada más que a los dos primeros niveles de continuidad: G0, continuidad posicional y G1, continuidad en tangencia.

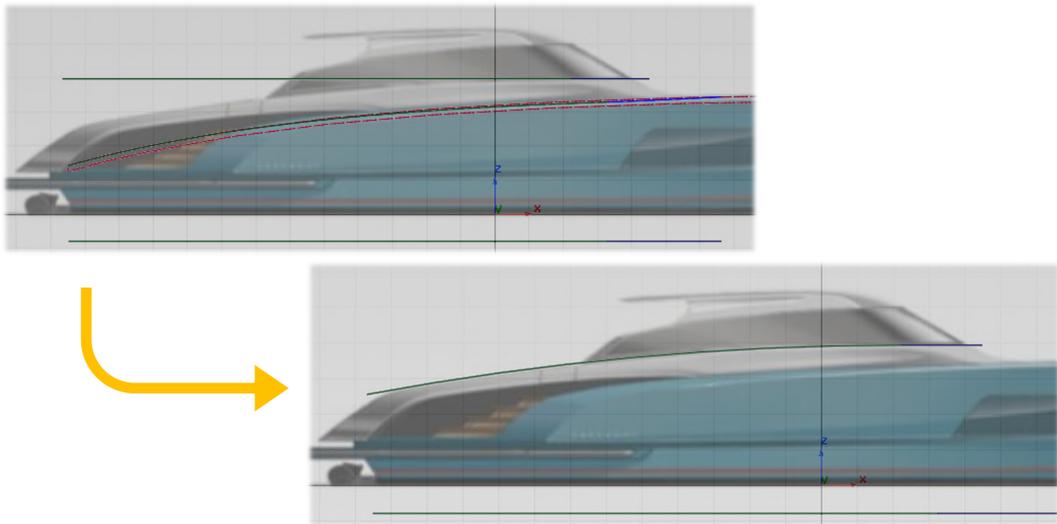


Figura 145 Ajuste de la curva superior del parabrisas.

Una vez tenemos estas dos curvas creadas, vamos a mantenerlas en “espera” hasta la creación de la cola trasera de la cubierta ya que, en este punto, se requieren unas determinadas condiciones de continuidad.

5.2.9. Creación de la cola de cubierta.

Nos enfrentamos a un pequeño inconveniente a la hora de crear las superficies de esta parte trasera.

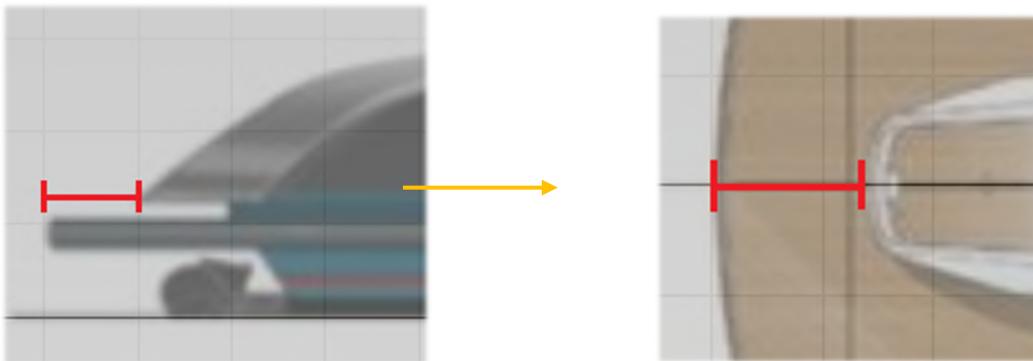


Figura 146 Diferencia de longitudes.

Como se puede apreciar en las imágenes, entre el plano de la vista en planta y el alzado existe una discrepancia en la distancia hasta el final de la plataforma. Esto puede deberse a la inclusión a última hora de unas escaleras retráctiles

como las que se ven a continuación que requieren un mayor espacio en esa parte del barco.



Figura 147 Escaleras retráctiles. [3]

En este primer modelo de bloques vamos a utilizar una mezcla de referencias. Las curvas básicas las obtendremos de la planta y la altura de las superficies del alzado.

Vamos a comenzar creando unas curvas básicas de grado dos que sigan la silueta de la forma de manera sencilla:

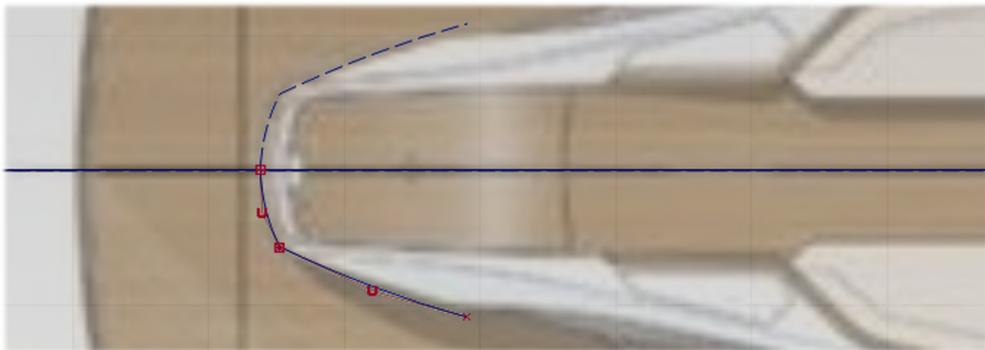


Figura 148 Curvas básicas. Cola de cubierta.

A continuación, utilizando la herramienta *Multi-Surface Draft* que ya vimos antes, vamos a crear las superficies primarias.

El siguiente paso es proyectar la curva superior del parabrisas que hemos creado en el apartado anterior y recortar ambas superficies.

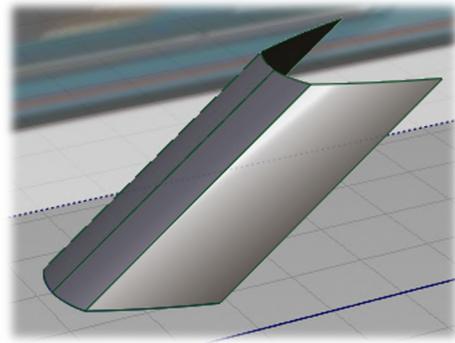


Figura 149 Superficies básicas. Cola de cubierta.

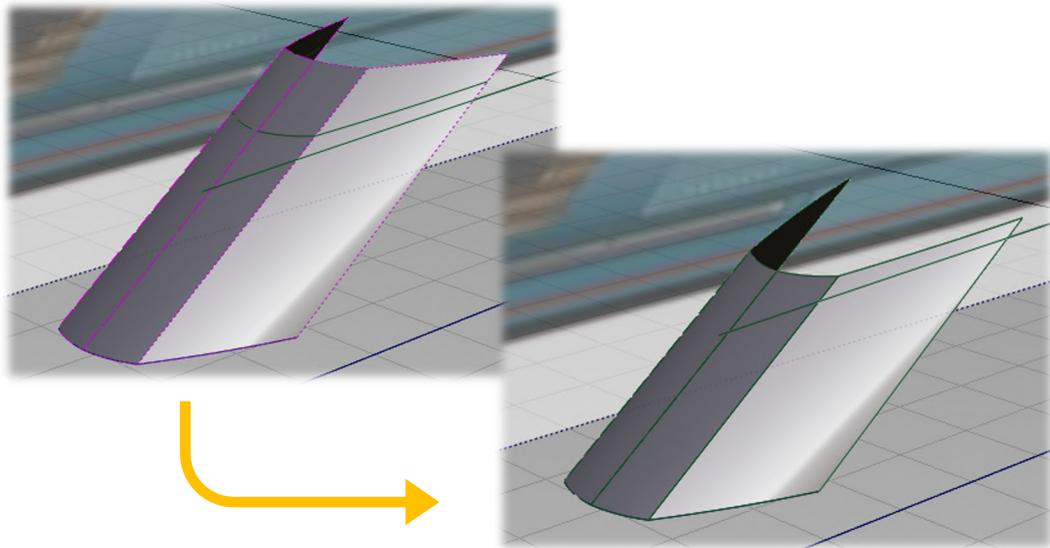


Figura 150 Recorte de las superficies básicas.

Lo siguiente que vamos a hacer es conectar las curvas del parabrisas con estas superficies traseras.

Comenzamos con una curva que una las partes superiores. En este caso es necesario un grado matemático tres como mínimo, ya que vamos a alinear en tangencia ambos extremos. Esto implica que exista un punto de control capaz de alinearse para cada extremo.

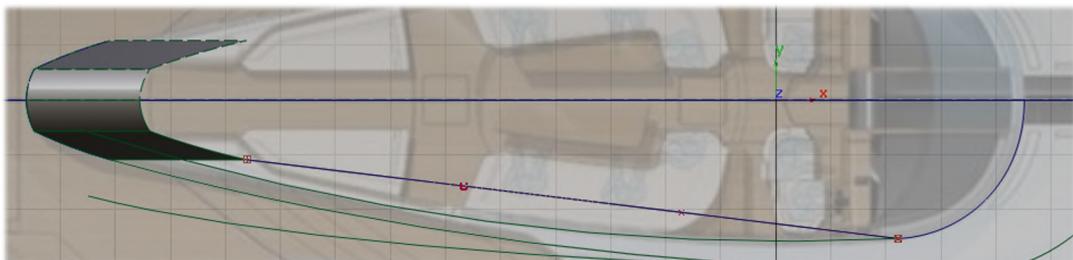


Figura 151 Curva de unión superior.

Seguidamente, en el cuadro de diálogo de la herramienta *Align* seleccionamos continuidad en tangencia (G1) y se la aplicamos a ambos extremos de la curva.

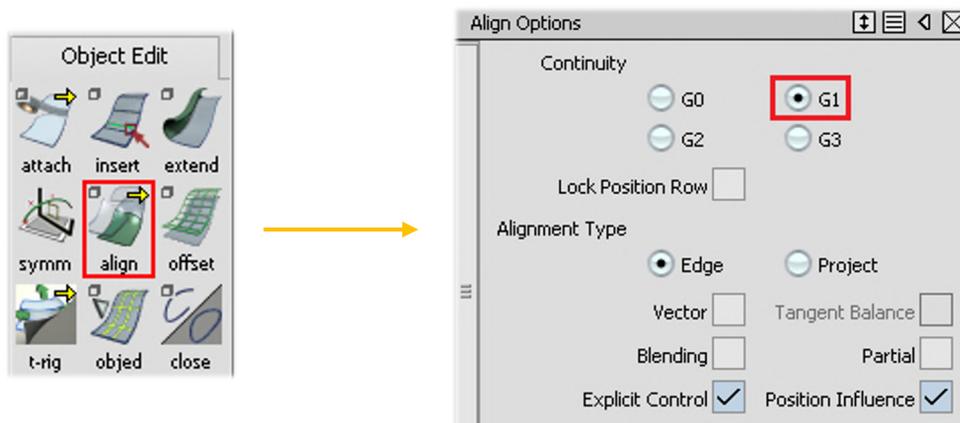


Figura 153 Herramienta Align.

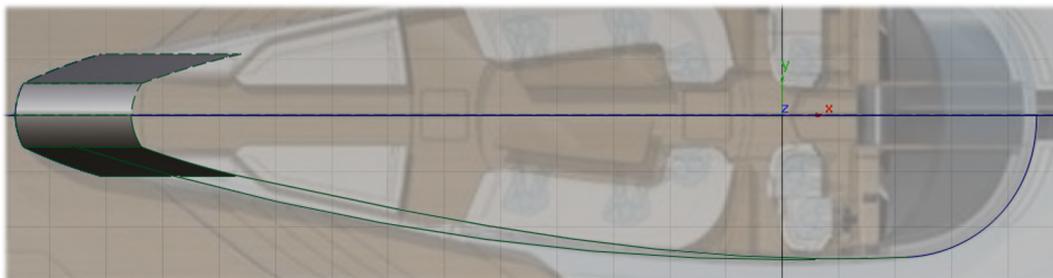


Figura 152 Curva superior alineada en tangencia.

Como podemos observar, existen diferencias entre la curva creada inicialmente y la que acabamos de alinear. Esto es debido a las discrepancias que existen en la parte trasera entre los planos de referencia. No obstante, la curva obtenida tiene un buen aspecto y trabajaremos con ella.

Para la curva inferior procedemos de igual manera obteniendo el siguiente resultado:

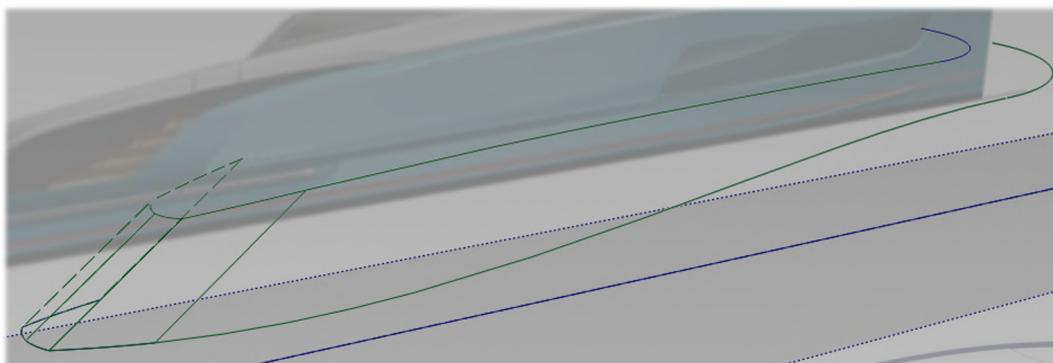


Figura 154 Curvas de unión entre el parabrisas y la cola de cubierta.

5.2.10. Creación de las superficies de unión de parabrisas y cola de cubierta. Referencia

La superficie de esta zona va a estar dividida en dos partes, al igual que las curvas que hemos creado antes.

Como se ha comentado antes, la herramienta que nos permite tener un mayor control de las superficies a la hora de crearlas es *Square*. Para poder utilizar esta herramienta necesitamos cuatro aristas para cada superficie y, por el momento, solo disponemos de dos en la parte delantera y tres en la trasera.

Como nos encontramos en el modelo de bloques, vamos a crear las superficies rectas, sin ningún redondeo y solamente con continuidad G0.

Comenzamos con la zona de las curvas de un cuarto de circunferencia.

Con la herramienta de creación de curvas *Edit-Point Curve* unimos simplemente los extremos de estas dos curvas.

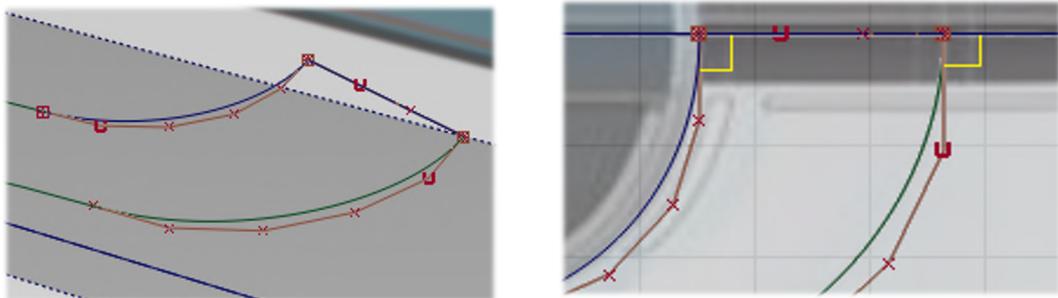


Figura 155 Sección central de la superficie de unión del parabrisas.

Podríamos haber elegido una curva de grado uno sin ningún problema. No obstante, un grado mayor nos va a dar mayor flexibilidad y una malla de CVs con la que podremos trabajar más fácilmente.

Pese a que a la hora de crear la superficie con *Square* tengamos la opción de elegir continuidad en tangencia (G1) en la sección central, es estrictamente necesario que las curvas que dan lugar a la superficie también lo sean respecto de sus simétricas.

Como vemos, el segundo CV de cada curva se encuentra a 90° respecto de eje de simetría por lo que también estará alineado con la otra mitad simétrica.

A continuación, debemos crear la cuarta arista de la superficie. La manera más rápida de hacerlo es usando la herramienta *Skin*. Esta herramienta creará una superficie sencilla de unión entre las dos curvas iniciales.

Mantenemos las opciones por defecto ya que, en este caso, cumplen nuestras necesidades (*Connect Ends*).

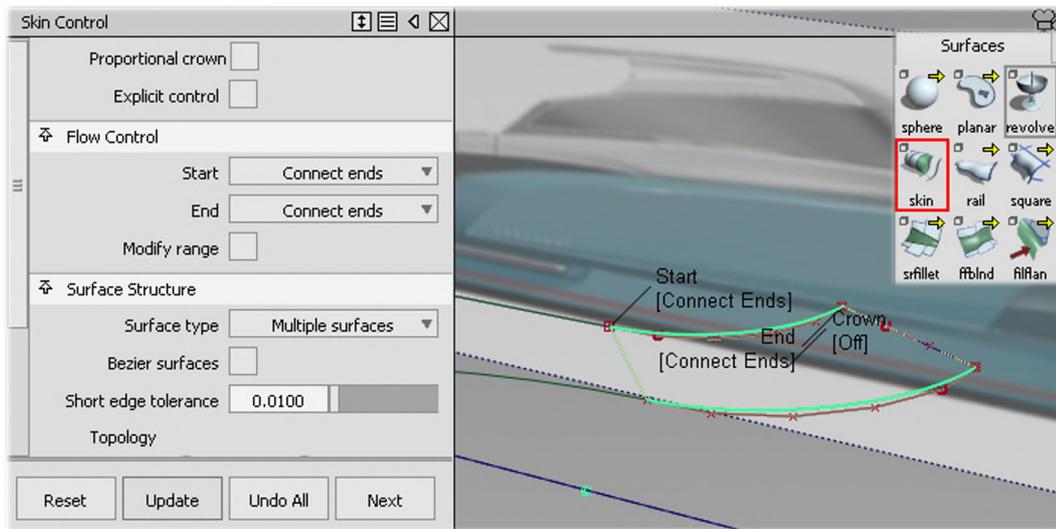


Figura 156 Creación de superficies con la herramienta Skin.

El siguiente paso es ,usando la herramienta *Duplicate*, obtener la arista que se nos ha creado con la superficie para que permanezca al borrar esta. Inicialmente esta arista es de grado uno, por lo que se lo aumentaremos para que coincida con la otra.

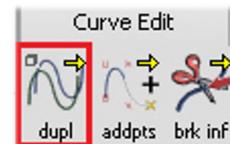


Figura 157 Herramienta Duplicate.

Ahora que tenemos las cuatro aristas, podemos usar *Square* para tener un mayor control de la superficie.

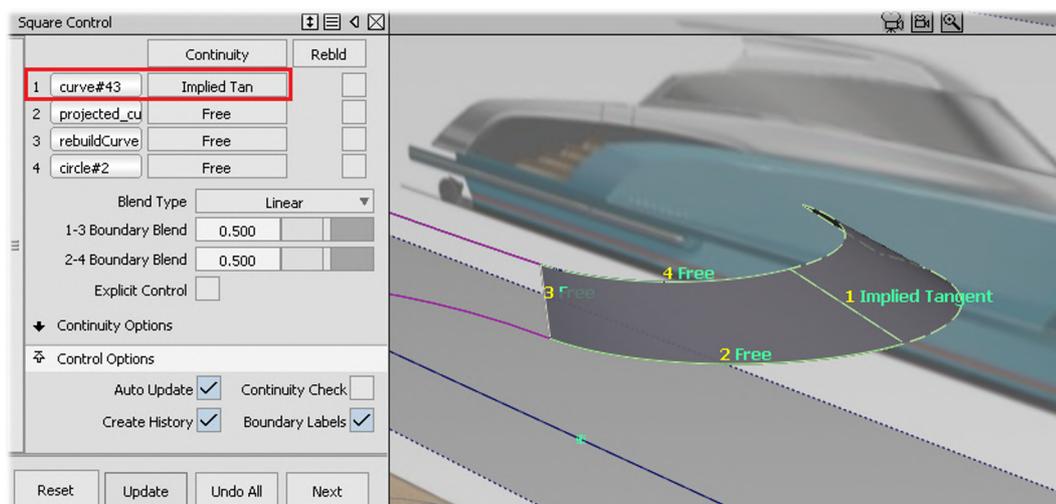


Figura 158 Superficie plana de unión del parabrisas.

Para la segunda superficie, ya habíamos comentado que se debe seleccionar la superficie en vez de la arista (marcado en amarillo en la siguiente figura). Así aseguramos que la continuidad se da entre superficies.

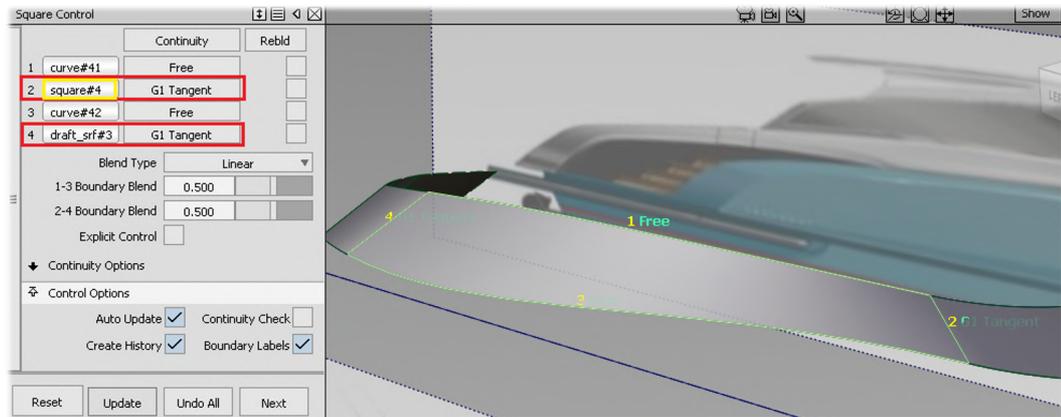


Figura 159 Creación de la segunda superficie de unión parabrisas-cola de cubierta.

Por último y antes de proceder con el recorte de las superficies comprobamos que estas son continuas en tangencia:

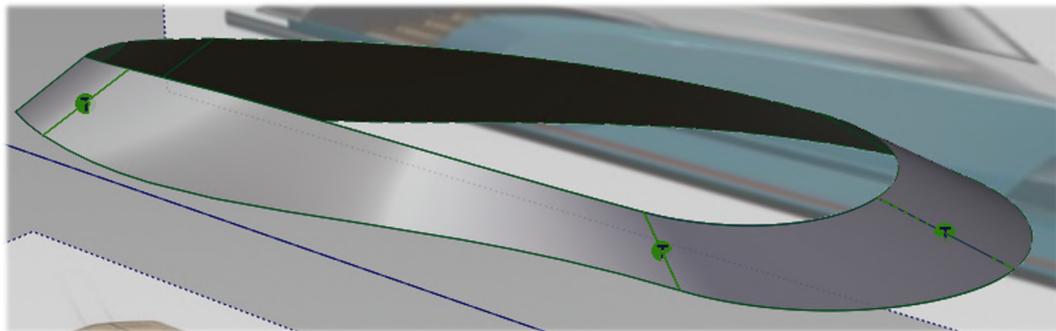


Figura 160 Análisis de continuidad en tangencia entre superficies.

5.2.11. Recorte de superficies. Finalización del modelo de bloques.

El estado actual tras la creación de todas las superficies es el siguiente:

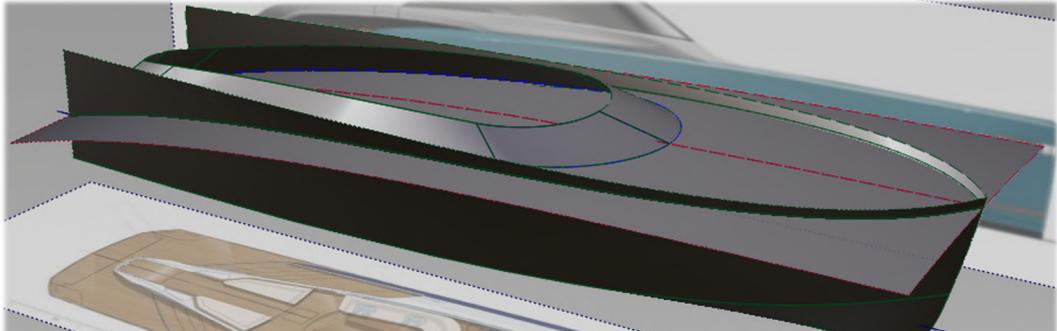


Figura 161 Modelo de bloques con las superficies sin recortar.

Para realizar los recortes de las superficies con la herramienta *Trim* (que ya hemos visto antes), primero debemos intersecar las superficies.

Si mantenemos pulsado sobre la herramienta *Project* nos encontraremos con el icono de *Intersect*.

Para intersecar dos superficies basta con seleccionar una de ellas, pulsar *Go*, y continuación seleccionar la otra.



Intersecando y recortando todas las superficies entre sí, el modelo ya adquiere un aspecto más propio de un yate:

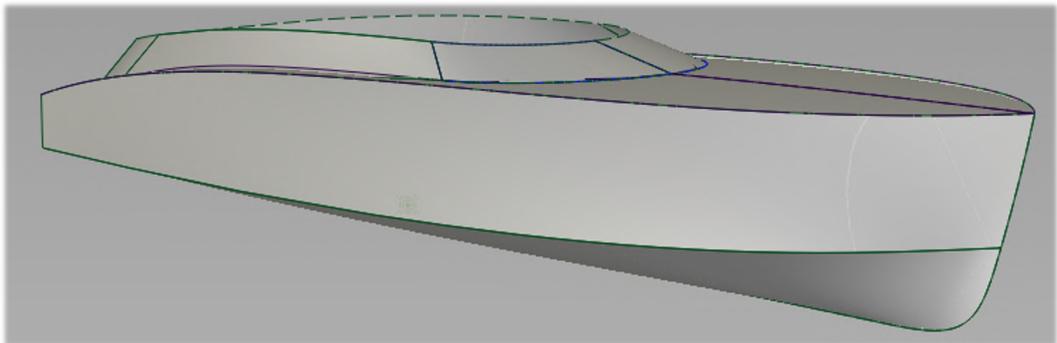


Figura 162 Modelo de bloques recortado.

Por último y para añadir un poco más de detalle a nuestro modelo de bloques, modificaremos un cubo para recrear la plataforma trasera y realizaremos algunos recortes más para visualizar mejor las formas del barco.

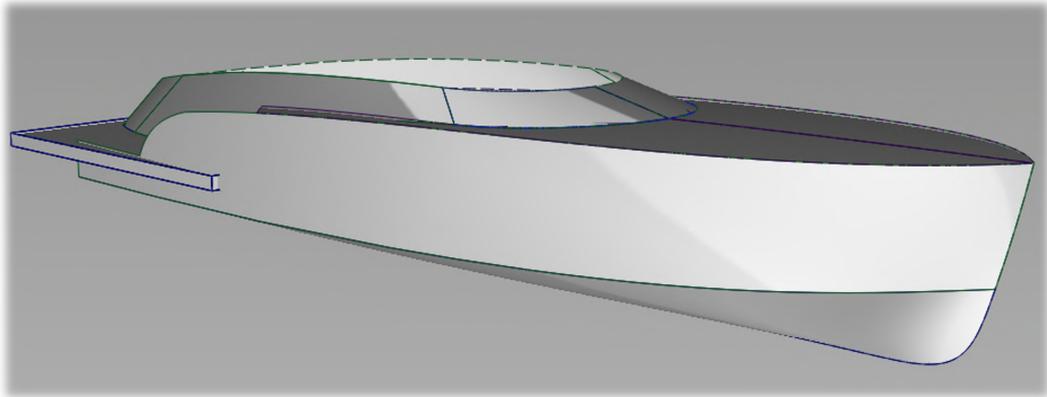


Figura 163 Modelo de bloques finalizado.

Es en este punto del diseño donde se debe evaluar al completo el modelo. También en esta fase se decide si las dimensiones de las diferentes partes del objeto o modelo son las que se desean.

En Autodesk Alias, existe una herramienta (*Lattice Rig*) que nos permite explorar de manera muy rápida y sin “romper” el modelo diferentes versiones de este. Estas versiones se evalúan en este momento y no se pasa a la siguiente fase sin la certeza de que es el modelo correcto.

Una vez se aprueba un modelo de bloques determinado, comienza la fase de mejora del modelo hasta convertirlo en un prototipo detallado. En este paso las superficies se convierten en superficies de Clase A, pero sin llegar al nivel de detalle de un modelo de producción.

Es habitual que, una vez insertados los detalles necesarios al modelo, vuelva a realizarse una segunda exploración de formas para determinar las dimensiones finales de estas.

5.3. MEJORA DE LAS SUPERFICIES Y ADICIÓN DE DETALLES.

Hasta ahora hemos ido creando las superficies consideradas primarias y algunas secundarias sin tener en cuenta nada más que los dos primeros niveles de continuidad de los existentes: continuidad posicional (G0) y continuidad en tangencia (G1).

Es a partir de ahora donde las superficies deben cumplir una serie de requerimientos para poder asegurar los niveles más altos de continuidad que caracterizan las superficies de Clase A. Por ello, iremos revisando y mejorando en la medida de lo posibles las diferentes superficies creadas.

En algunos casos tendremos que modificar en gran medida o incluso eliminar las superficies creadas pues muchas veces estas son un mero apoyo para las finales, como es el caso de las superficies rectas de unión de la cubierta con el parabrisas.

5.3.1. Mejora y redondeo de las superficies del casco. Referencias

Vamos a comenzar con las dos superficies grandes que forman la mitad simétrica del casco. A simple vista (figura 163), estas tienen buen aspecto y no tienen arrugas. Si bien esto es cierto al tratarse de superficies *Mono-Span*, la estructura interna de puntos de control que las forma presenta algunas deficiencias que se deben arreglar.

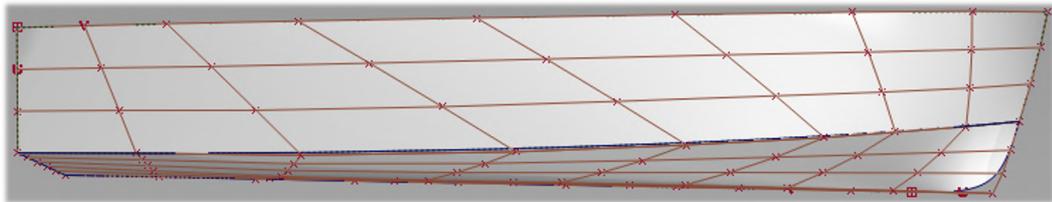


Figura 164 Deficiente estructura interna de las superficies del casco.

Como puede verse en la figura, la estructura interna es irregular y desordenada. Estas deficiencias se van a ver traducidas en posibles problemas de continuidad debidos a mallas retorcidas y en malas reflexiones de luz.

A diferencia del modelado con superficies convencionales, la mayoría de las veces que creamos una superficie usando las diferentes herramientas de creación no obtenemos un resultado que cumpla al 100% las características que necesitamos. Es por esto por lo que después de crearlas suele ser necesario modificar la estructura interna moviendo los puntos de control.

Para ello, Autodesk Alias dispone de una herramienta que nos permite hacer casi todos los movimientos disponibles para un CV de manera muy rápida e intuitiva. Es la conocida como *Transform CV Palette*.



De manera resumida, estas son las funciones principales de las que dispone esta paleta:

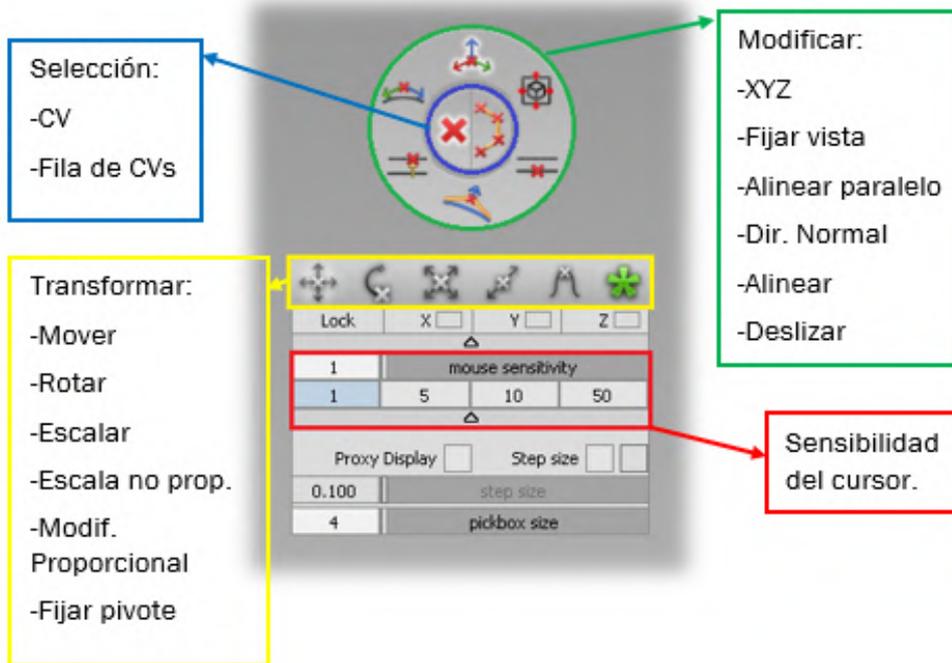


Figura 165 Paleta Transform CV.

Ayudándonos de esta paleta vamos a trabajar en la malla del casco para intentar mejorarla y ordenarla. Principalmente nos centraremos en deslizar las diferentes filas de puntos de control tanto de la mitad superior como de la inferior con el fin de darles un aspecto cuadrículado más fácil de controlar. El resultado de esta operación es el siguiente:

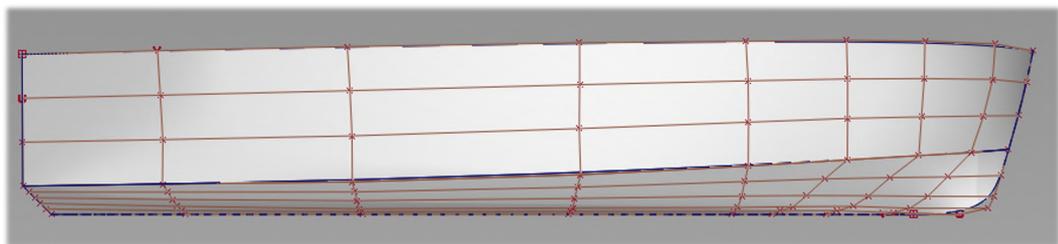


Figura 166 Estructura interna ordenada de las superficies del casco.

Una vez mejorada la estructura interna, es momento de comenzar a redondear estas dos superficies. Comenzaremos con la superficie inferior al tratarse de la más sencilla.

Para el redondeo de esta parte vamos a usar la herramienta *Surface Fillet*. Esta herramienta nos permite hacer redondeos de muchas formas y con control de continuidad en todas ellas. También nos permite hacer redondeos de radio y geometría variable.

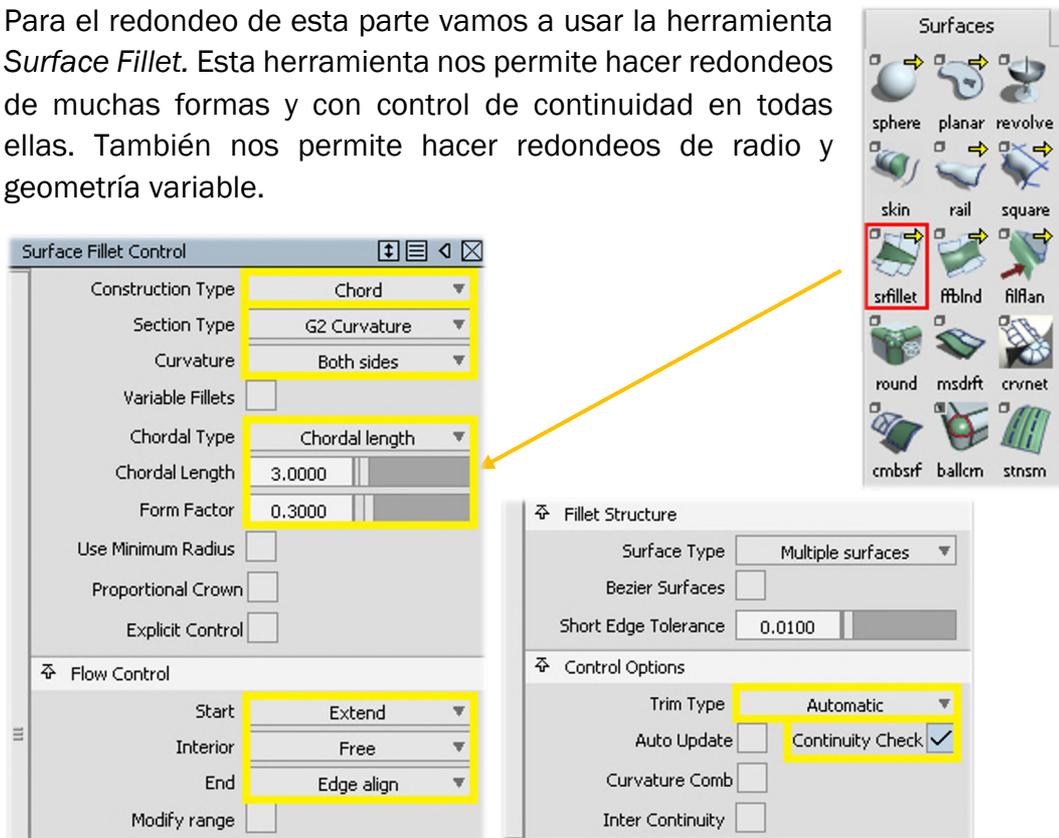


Figura 167 Herramienta Surface Fillet.

Lo primero que debemos hacer es seleccionar las superficies entre las que se va a hacer el redondeo, asegurándonos que las normales de estas apuntan en la misma dirección.

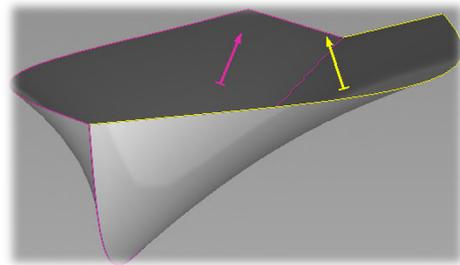


Figura 168 Selección de superficies.

A continuación, debemos elegir qué parámetros se ajustan a nuestras necesidades. En nuestro caso:

- Tipo de construcción “cordal” para que el redondeo sea uniforme a lo largo de la arista.
- Continuidad en curvatura en ambos lados de la construcción.

- Longitud de la cuerda y factor de forma apuntado (véase la siguiente figura).
- *Extend* en el inicio y *Edge Align* en el vértice de popa para asegurar la continuidad del redondeo hasta el final de las superficies.
- Recorte automático y chequeo de continuidad al visualizar el resultado.

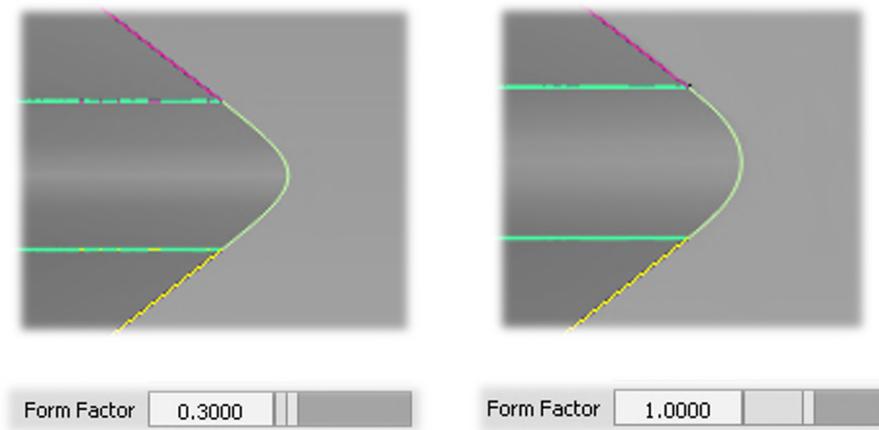


Figura 169 Influencia del factor de forma.

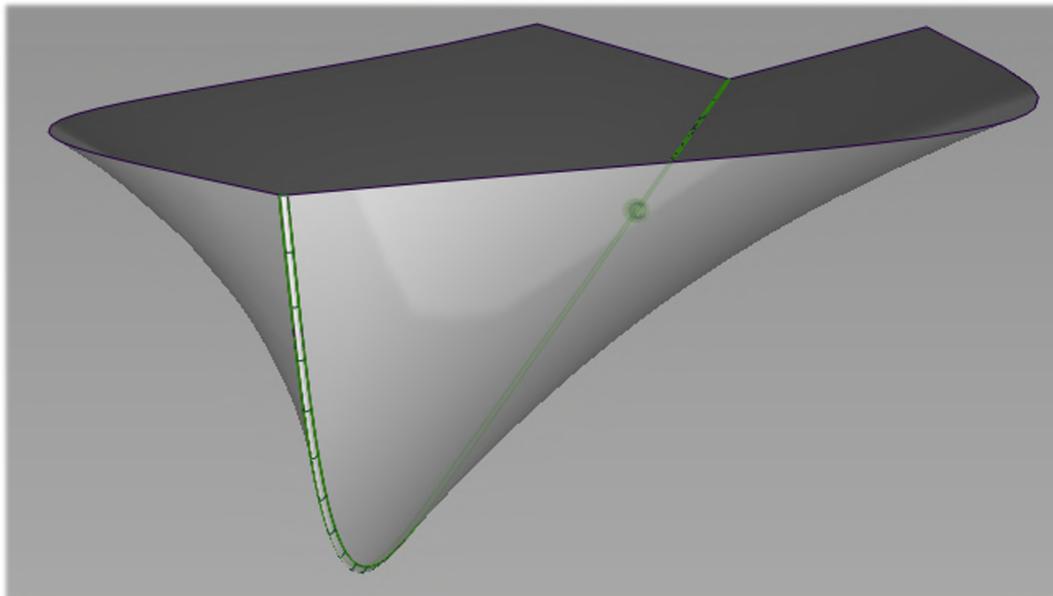


Figura 170 Resultado de la operación de redondeo con los marcadores de continuidad en curvatura.

Antes de comenzar con el redondeo variable de la parte superior, debemos observar un detalle.



Figura 171 Superficie de conexión. [3]

Pese a que resulta un tanto complicado de ver en un primer vistazo, entre las dos superficies del casco existe una pequeña superficie que sirve de conexión entre las dos partes. De otro modo, resultaría casi imposible dar continuidad entre ambas superficies.

Para dar espacio a esta superficie, lo primero que debemos hacer es trasladar la superficie superior ligeramente hacia fuera. Para ello utilizaremos la herramienta *Offset*. Su uso es muy sencillo, tan solo necesitamos orientar la normal de la superficie y seleccionar el valor de la distancia.



El siguiente paso es hacer el redondeo. De nuevo usaremos la herramienta *Surface Fillet*.

- Volvemos a utilizar la opción de longitud cordal, pero variable. Esto sumado a la misma longitud inferior que en el redondeo anterior nos va a permitir reproducir la misma forma en la superficie superior.
- En la zona más alta elegimos una longitud cordal de 100mm.
- Continuidad en curvatura en ambas superficies.

De manera automática, la herramienta nos propone una superficie formada por cuatro *Span*. Este resultado podría ser perfectamente válido ya que cumple las condiciones de continuidad. No obstante, en la parte teórica de este trabajo se ha comentado que las superficies *Mono-Span* son, por naturaleza, suaves. Es por eso por lo que vamos a intentar crearla de esta manera.

Dentro de las opciones que nos ofrece la herramienta en el cuadro de diálogo está la de *Explicit Control*.

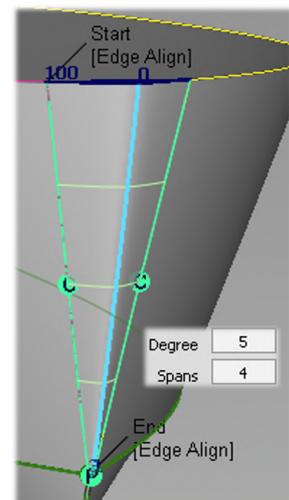


Figura 172 Superficie creada automáticamente.

En ella vamos a seleccionar un solo *Span* y vamos a ir modificando el grado matemático de la superficie hasta encontrar el mínimo para el que se cumplan las condiciones de continuidad. En muchas ocasiones no es posible crear la superficie *Single-Span* si es muy compleja, pero sí podremos reducir el número de estos.

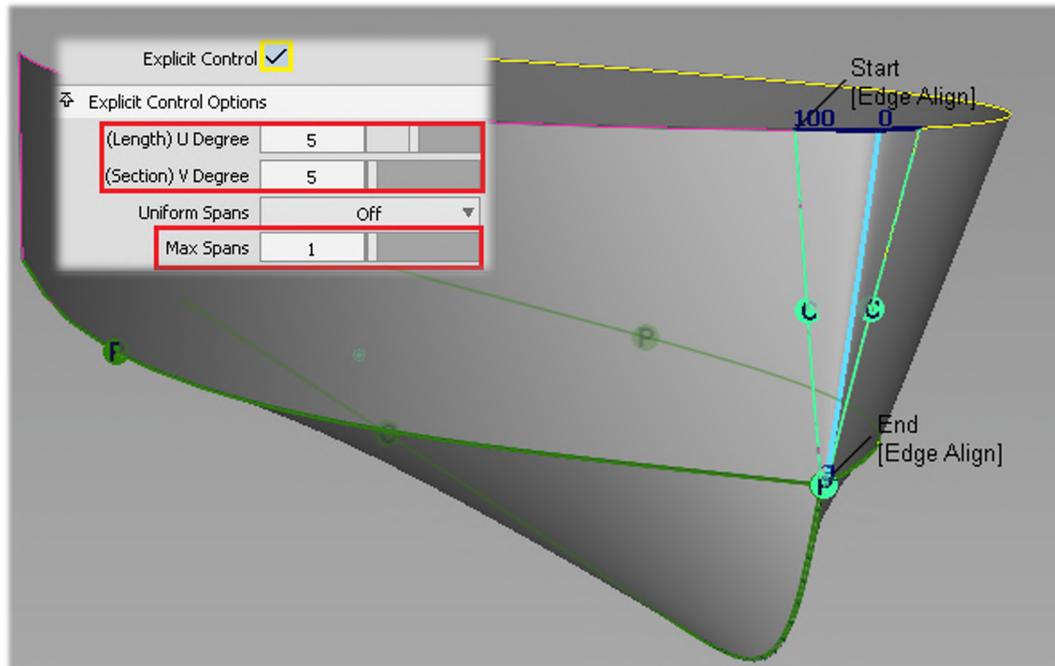


Figura 173 Resultado del redondeo superior con los marcadores de continuidad en curvatura.

Una vez tenemos los redondeos tanto de la parte superior como de la inferior, crearemos una superficie que una las dos partes del casco.

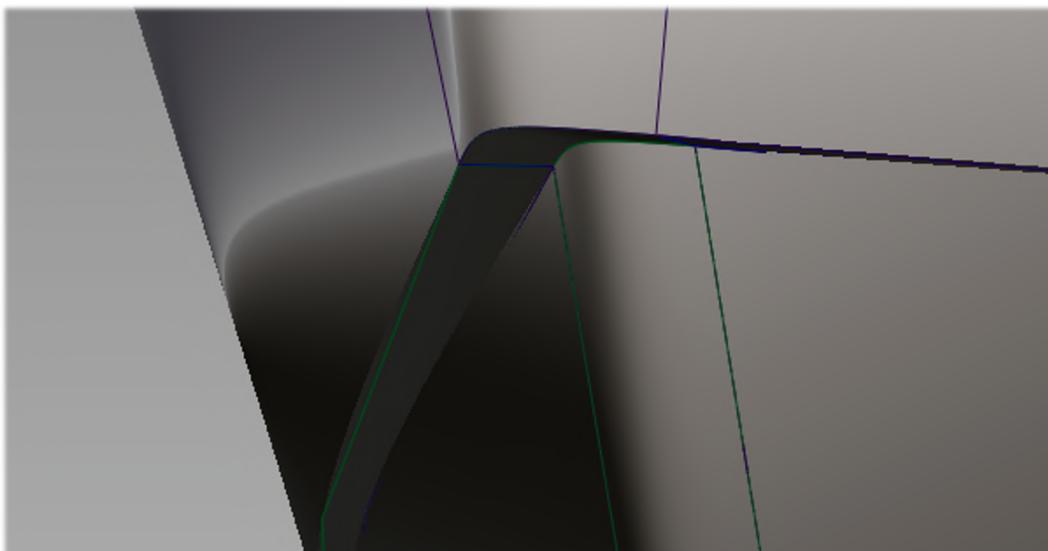


Figura 174 Superficie de unión de las dos mitades del casco.

5.3.2. Creación de los detalles de la zona de unión casco superior – cubierta. Referencia

Una vez tenemos el casco finalizado, es momento de realizar la unión de este por su parte superior con la cubierta. Si bien en el modelo de bloques habíamos intersecado ambas superficies y recortado, en este modelo final crearemos algunos detalles adicionales en esta zona.

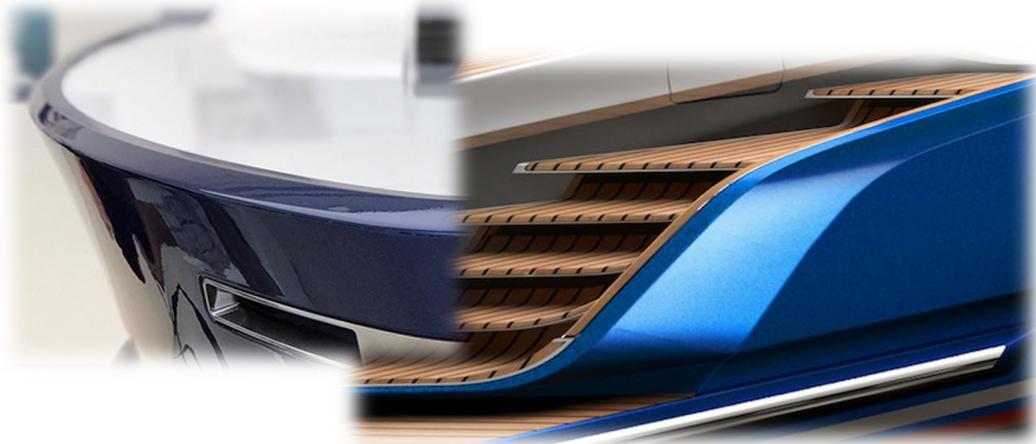


Figura 175 Detalles de unión de la cubierta.

La zona superior del casco está rematada por dos superficies alargadas que se extienden desde la proa del barco hasta la mitad trasera. Es en esta zona trasera donde se crea el rizo que da cabida a las escaleras.

Lo primero que debemos hacer es crear las aristas en sus posiciones finales. Para ello y como ya hicimos con el apartado anterior, vamos a crear una copia desplazada hacia dentro de nuestra superficie del casco con *Offset*.

También hay que crear el segundo juego de curvas para esta superficie desplazada. Con el fin de mantener el mismo carácter en ambas curvas, vamos a copiar y desplazar también ambas curvas. Por último, proyectamos.

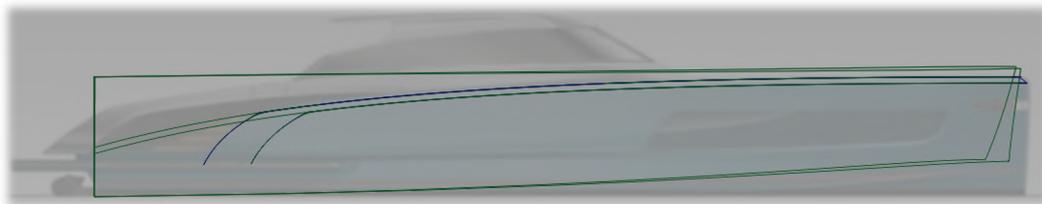
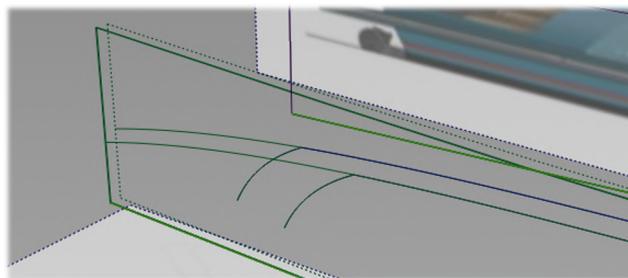


Figura 176 Curvas de detalle en las superficies del casco.

Como ya se ha comentado en algún punto durante este trabajo, las curvas proyectadas sobre superficies, así como las procedentes de recorte tienen una estructura interna muy pesada y poco útil.

En este no es recomendable proyectar las curvas con la opción *Match Original*, pues no arroja un resultado satisfactorio al quedar los puntos de control en forma de ZigZag.

Para poder tener unas curvas capaces de crear superficies sanas vamos a tener que recurrir a la herramienta *FitCurve*. Esta herramienta nos permite sanear las curvas para mantenerlas o bien dentro de las tolerancias o bien con la curvatura adecuada.



Antes de proseguir, recortamos la parte sobrante de las curvas y con la herramienta de creación *Blend*, damos la forma redondeada a las esquinas.

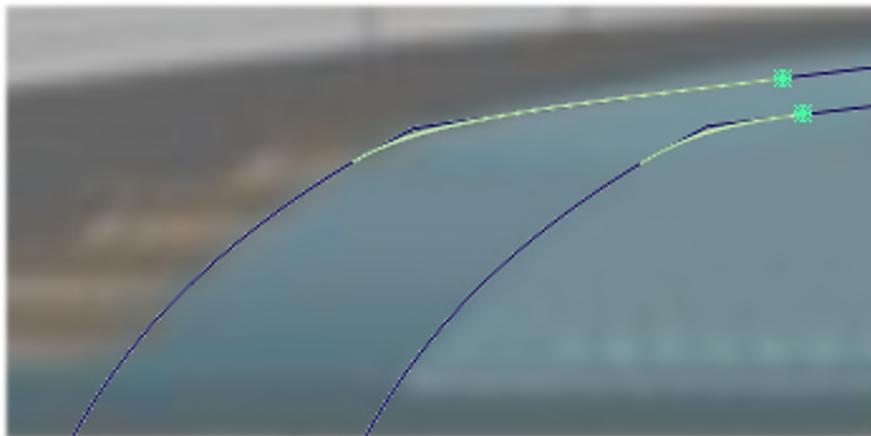


Figura 177 Redondeo de las curvas del detalle.

Es recomendable mantener, en la medida de lo posible, los extremos de los tramos de curva lo más paralelos posible. De esta manera tendremos una buena estructura interna en las superficies que creemos a partir de ellas.

En este punto debemos recordar que en nuestras tolerancias seleccionadas al principio de nuestro modelo tenemos una tolerancia $G0 = 0.00100\text{mm}$ (véase apartado 5.2.1). Esto quiere decir que cualquier tolerancia por encima de ese valor se verá reflejada como una discontinuidad posicional en esa zona.

Es por eso por lo que, a la hora de usar la herramienta *FitCurve*, debemos tener en cuenta este valor para que la curva siga apoyada en la superficie.

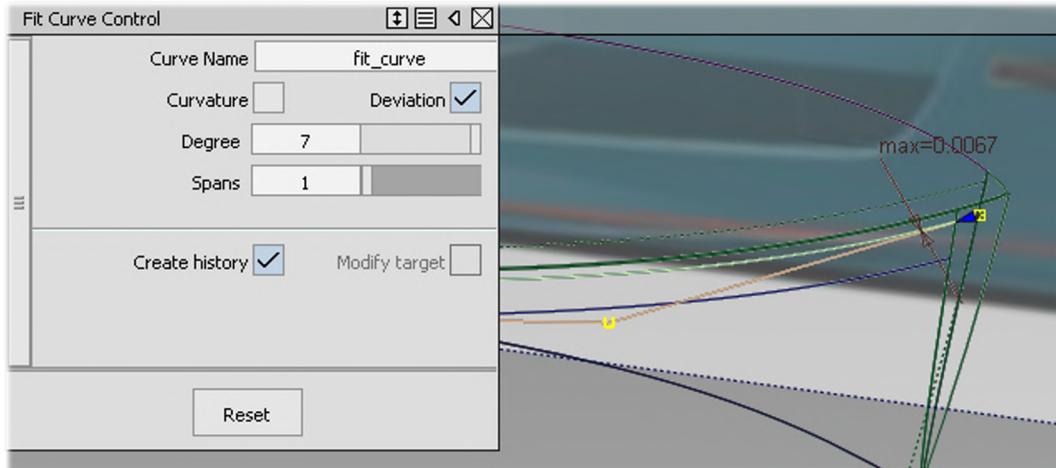


Figura 179 FitCurve para la curva Mono-Span.

Podemos observar que, aunque aumentemos el grado matemático al máximo, seguimos sin conseguir mantenernos dentro de los límites de las tolerancias. Esto implica que la curva se debe dividir en varias secciones.

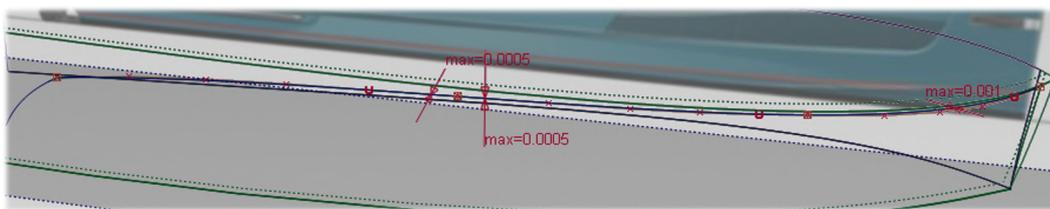


Figura 178 FitCurve para tres Span de grado cinco.

Finalmente, hemos necesitado tres Span de grado cinco para poder mantenernos dentro de las tolerancias. Los hemos realizado a mano mediante la flecha deslizante azul visible en la parte derecha de la figura 178. Esto nos va a permitir mantener los extremos de tramo en paralelo.

Si procedemos de la misma manera para el resto de las curvas:

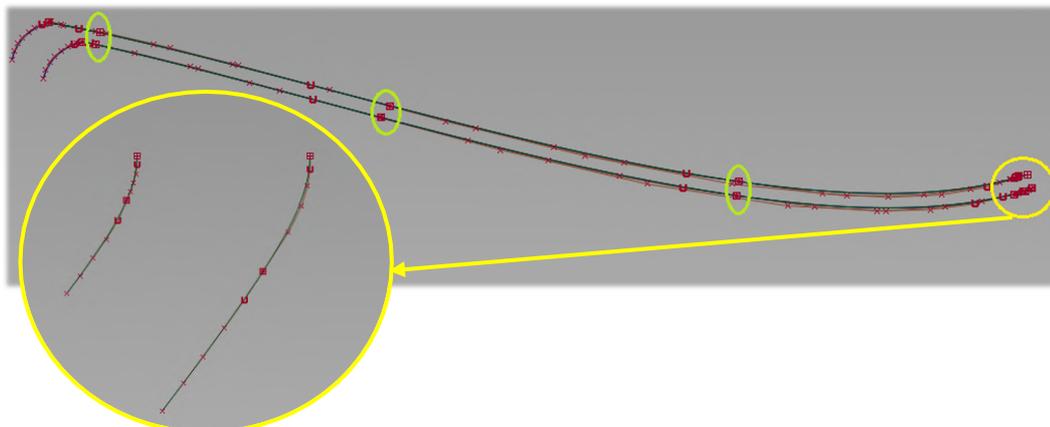


Figura 180 FitCurve en todos los tramos de curva.

De igual manera procedemos con una tercera serie de curvas que, en este caso, es paralela a la intermedia (Figura 181, izquierda).

Una vez tenemos las tres series de curvas procedemos a dibujar los perfiles del detalle.

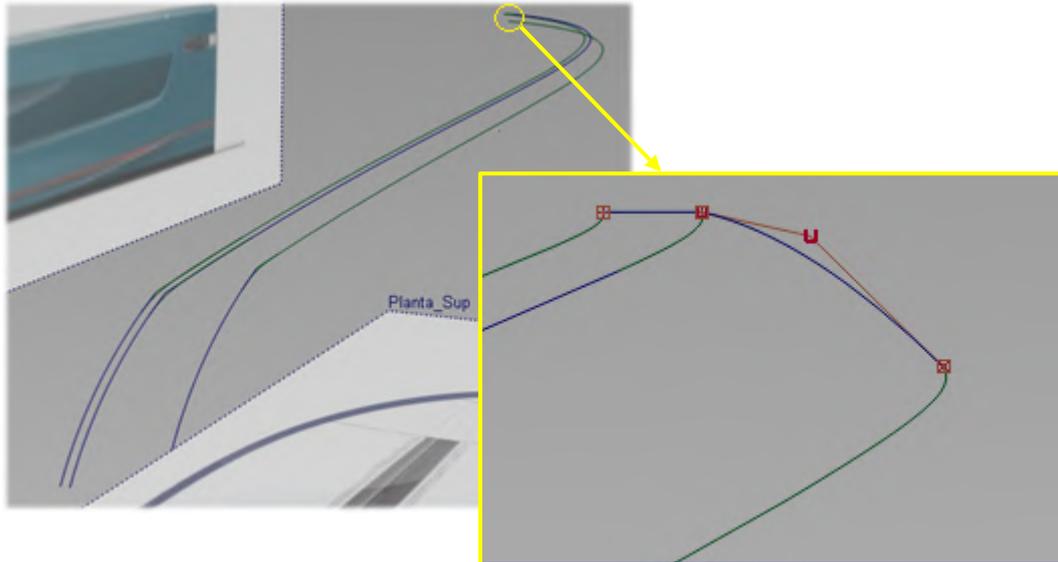


Figura 181 Serie de curvas y perfil de detalle.

Si observamos la izquierda de la Figura 175 podremos darnos cuenta de que la parte interna del detalle no es plana en toda su extensión si no que es inclinada en la proa y se va aplanando conforme avanza hacia la popa.

Para conseguir esa forma progresiva debemos recurrir a la paleta *Transform CV*, en concreto a la herramienta de modificación proporcional (véase la figura 165). En ella seleccionamos el extremo de la curva y vamos aumentando el número de puntos de control involucrados y desplazamos en vertical.

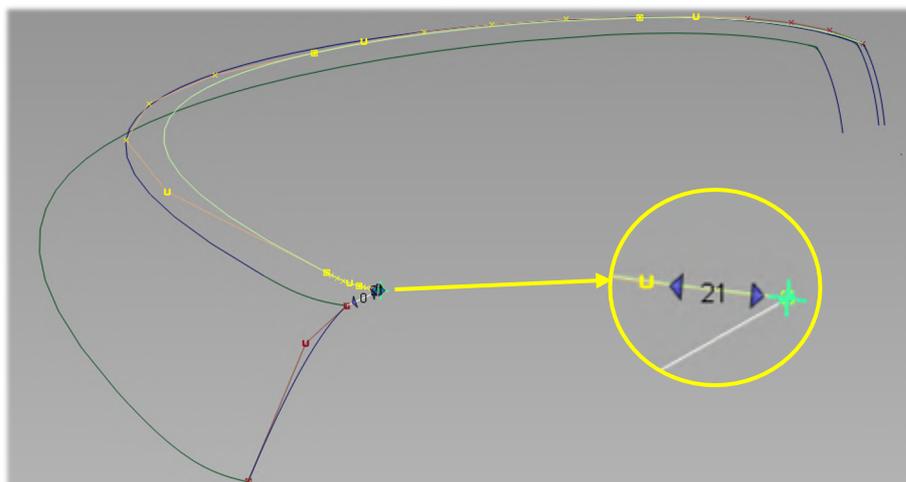


Figura 182 Modificación proporcional de los puntos de control.

Teniendo los perfiles y las curvas que van a servir de guías, podemos utilizar la herramienta *Rail* para crear una serie de superficies temporales. Estas superficies tan solo nos van a servir para obtener los perfiles al final de cada curva.

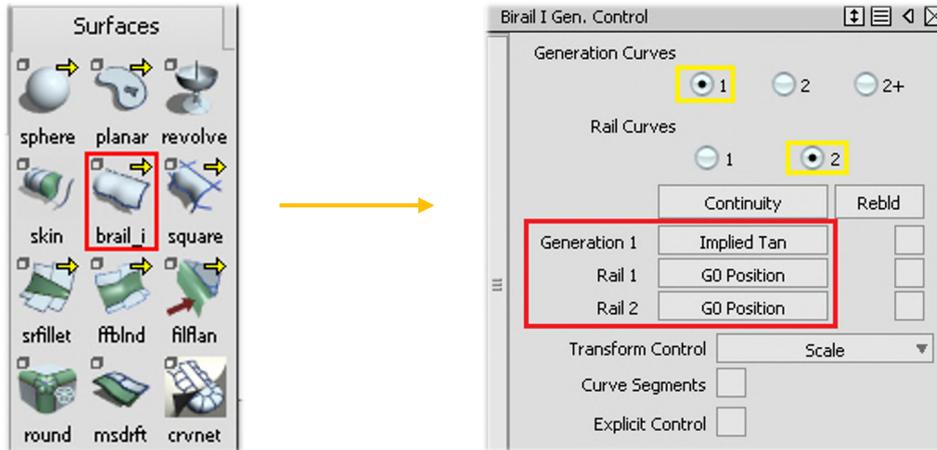


Figura 183 Herramienta Rail.

En este caso, el perfil dibujado será la curva de generación y la serie de curvas los raíles.

Una vez tenemos todas las superficies creadas, usaremos la herramienta *Duplicate Curve* para mantener los perfiles al final de cada una de ellas.

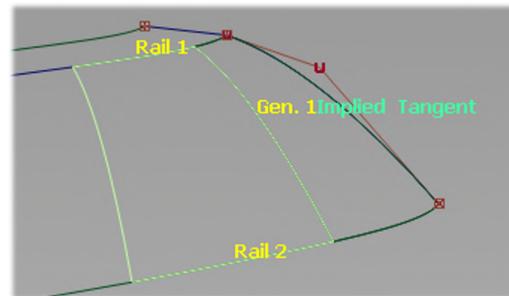


Figura 184 Creación de las superficies temporales.

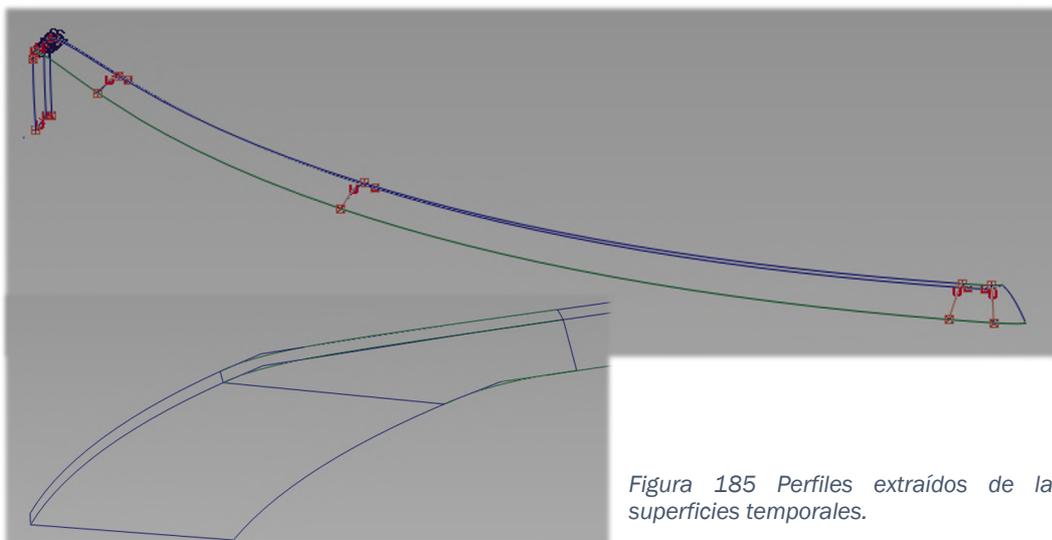


Figura 185 Perfiles extraídos de las superficies temporales.

Una vez tenemos los perfiles duplicados podemos eliminar las superficies temporales. También hemos creado unas rectas en la parte del rizo de popa con el fin de dividir superficies en otras más pequeñas con las que resulte más sencillo trabajar.

Como ya veníamos haciendo en apartados anteriores, usaremos la herramienta *Square* para mantener el control sobre las superficies finales que vayamos a crear. De ahí la importancia de crear estas superficies temporales. De otro modo hubiera sido complicado crear perfiles semejantes en cada punto.

Es probable que en algún punto no se pueda alcanzar la continuidad en curvatura tan solo con las opciones del programa. En estas ocasiones hay que recurrir de nuevo a la paleta *Transform CV* y trabajar con los puntos de control hasta solucionar el problema.

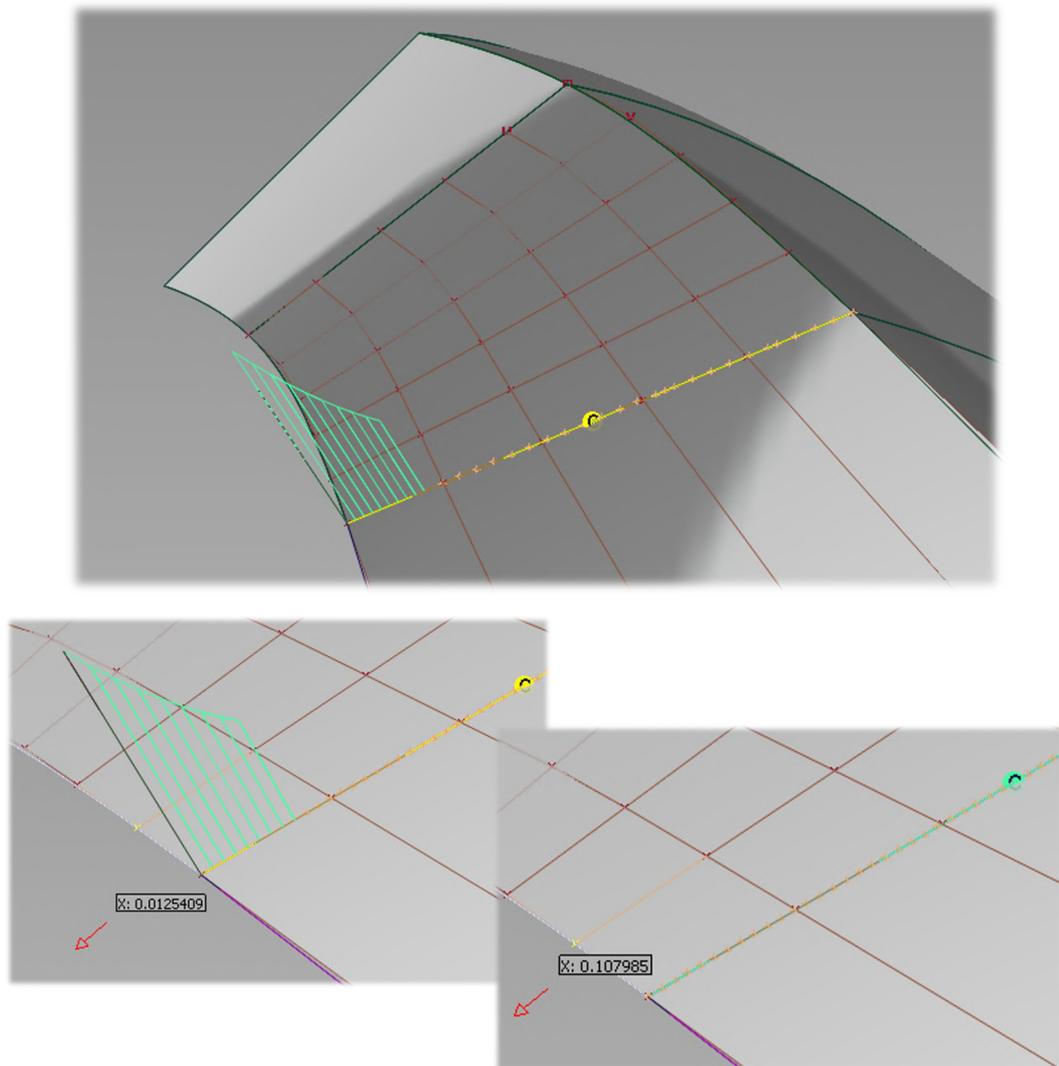


Figura 186 Problema de continuidad solucionado mediante manipulación de puntos de control.

El problema se soluciona moviendo ligeramente (recomendable bajar mucho la sensibilidad del ratón en la paleta) el punto de control en dirección X.

Como en este punto no estamos apoyados en la superficie exterior no vamos a tener problemas con las tolerancias.

De igual manera, iremos repitiendo estos pasos hasta completar todas las superficies del detalle y obtener un resultado como el siguiente:

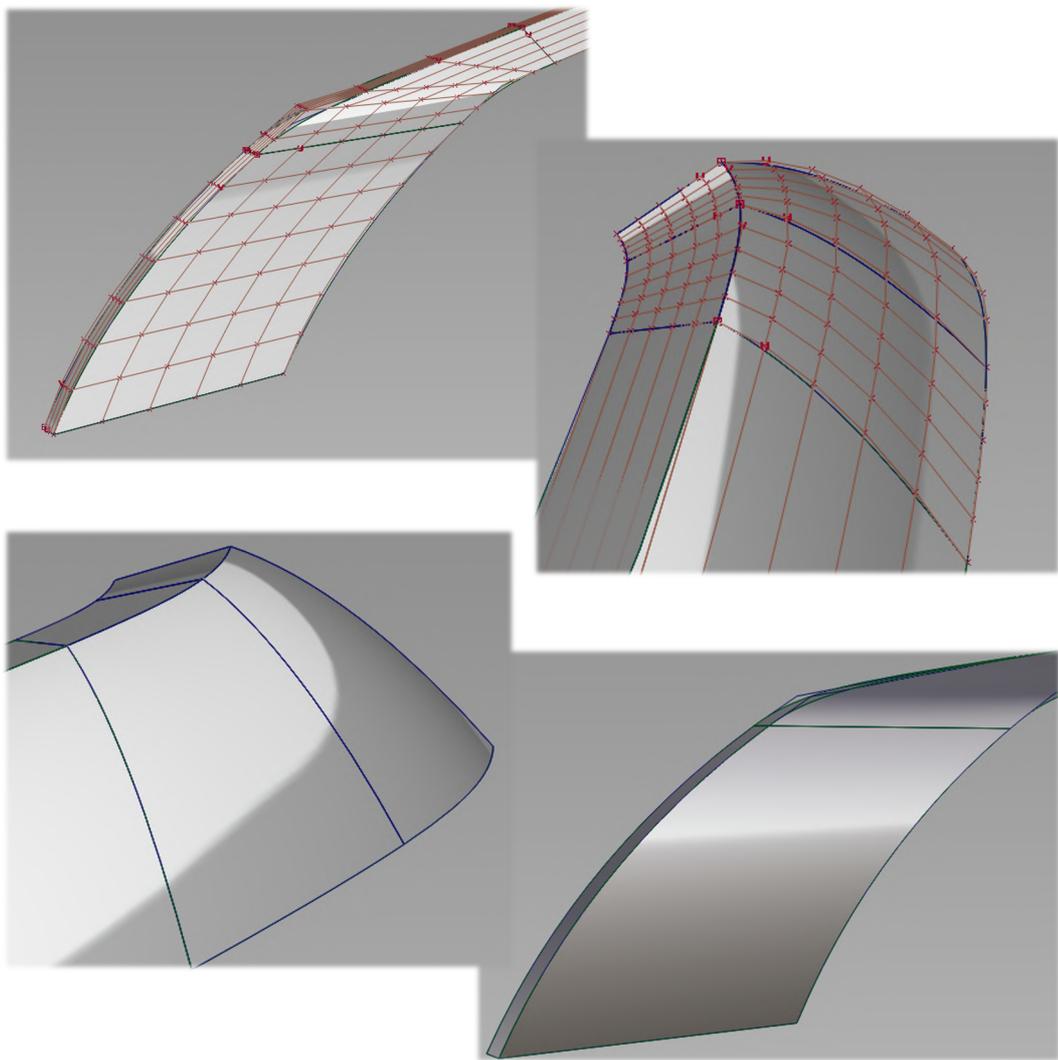


Figura 187 Relación entre una estructura interna ordenada y unas reflexiones de la luz óptimas.

5.3.3. Mejora de la plataforma temporal de popa. Referencia

Antes de recortar la superficie exterior del casco con el detalle creado, debemos mejorar la plataforma básica que teníamos de manera provisional. Es necesario realizar este paso previo al recorte ya que el casco, por su parte inferior, se ve delimitado por la plataforma.

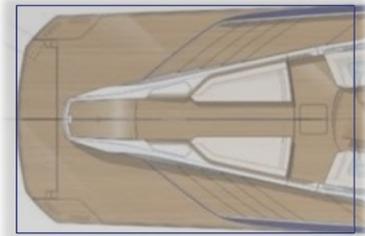


Figura 188 Plataforma básica temporal.

Partíamos de un cubo al cual le habíamos dado las dimensiones de los extremos de la plataforma final. Ahora usaremos este cubo como referencia para delimitar las dimensiones finales.

Lo primero que haremos será dibujar la silueta con rectas y curvas simples. A continuación, dibujamos los perfiles en la vista de alzado y creamos superficies temporales como ya haríamos en el detalle del casco para obtener los perfiles en los extremos de las curvas.

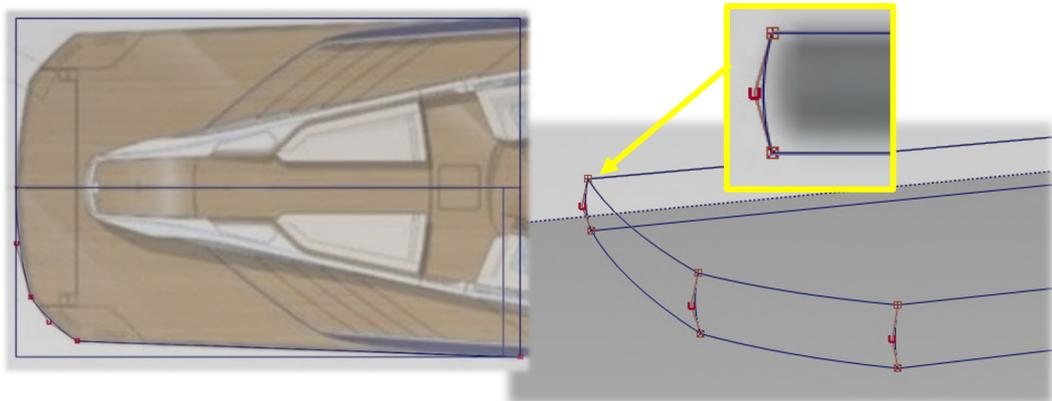


Figura 189 Duplicado de perfiles para las superficies de la plataforma de popa.

Repitiendo el mismo proceso de antes, una vez tenemos los perfiles procedemos a crear las superficies de manera controlada con *Square* atendiendo a la continuidad en la sección central para mantener la curvatura una vez hagamos la simetría.

Para crear la base de los redondeos usaremos de nuevo la herramienta *Surface Fillet*, seleccionando la continuidad en curvatura y solucionando los problemas puntuales de continuidad manualmente con la paleta de transformación de puntos de control.

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

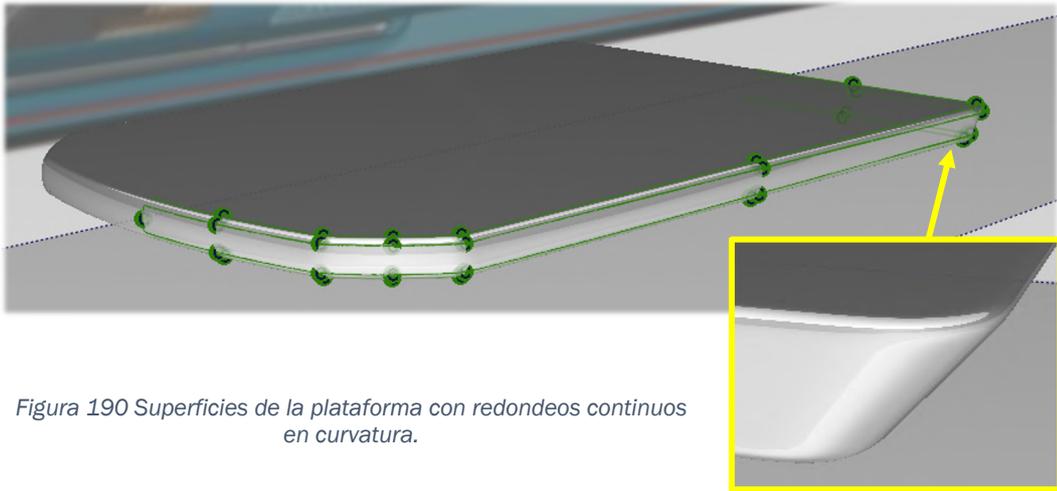


Figura 190 Superficies de la plataforma con redondeos continuos en curvatura.

Con la plataforma finalizada, ya podemos intersecar esta y las superficies del detalle superior con el casco para, posteriormente, recortar.

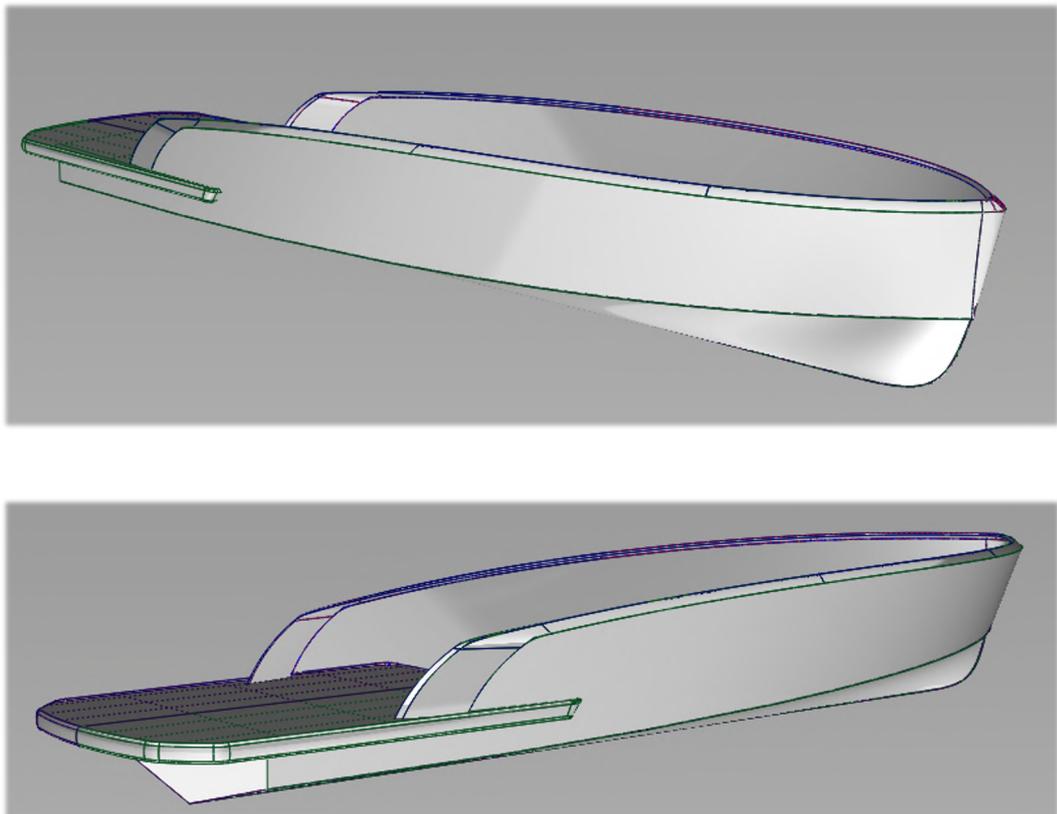


Figura 191 Casco recortado con detalle superior y plataforma.

5.3.4. Reajuste de la cubierta. Referencia █

Durante la creación del modelo de bloques, la superficie de la cubierta estaba formada a partir de una curva extraída del perfil del barco. Esta superficie no era más que una prolongación en la dirección normal de la curva posteriormente curvada mediante los puntos de control (véanse figuras 134 y 135).

En este modelo final la cubierta no va a ser mucho más compleja. No obstante, debemos tener en cuenta que ahora debe coincidir en su parte externa con la arista interior del detalle.

Con el fin de tener una referencia de la forma de esta arista en dos dimensiones, proyectamos sobre un plano temporal vertical, coincidente con el eje de simetría.

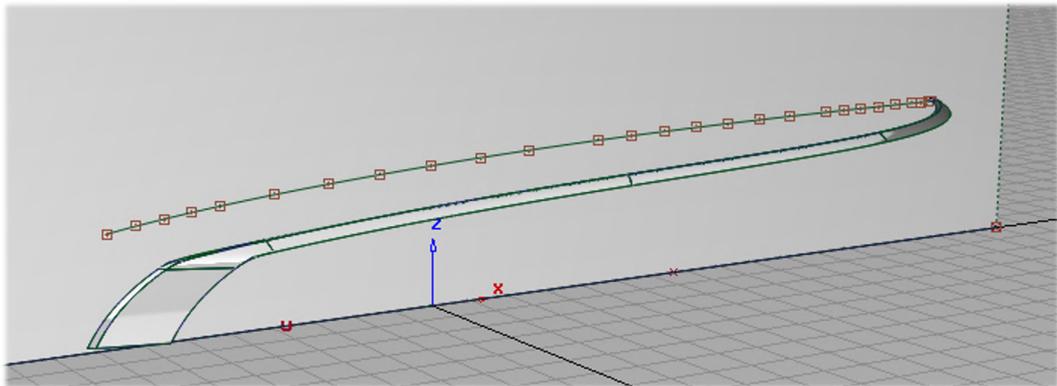


Figura 192 Arista interior del detalle proyectada.

A continuación, duplicamos esta curva proyectada y la tomamos como base de la superficie definitiva de la cubierta.

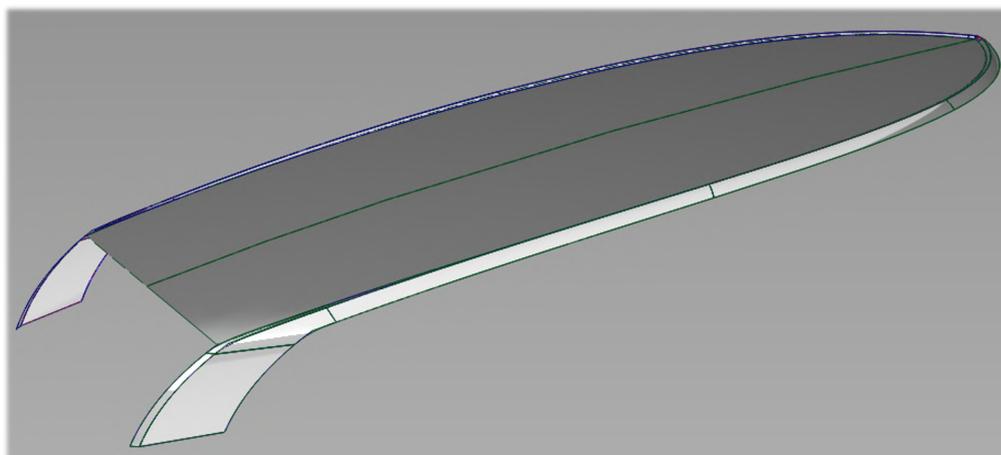


Figura 193 Cubierta final recortada.

Para crearla, utilizaremos la herramienta *MS Draft* de la misma forma que hicimos con la del modelo de bloques. Una vez tenemos la superficie sobredimensionada, recortamos.

En este punto no nos debemos preocupar en exceso por la continuidad entre la cubierta y el detalle pues la conseguiremos a la hora de hacer el redondeo entre ambas superficies.

5.3.5. Creación de las superficies finales de la cola y la unión cubierta-parabrisas. Referencias ■ ■

Lo primero que debemos hacer es eliminar las superficies del modelo de bloques y quedarnos con el “esqueleto” formado por curvas. Para las superficies de las que no tuviéramos todas las aristas usaremos *Duplicate* y, si fuera necesario, también *Fit Curve*. De este modo obtenemos algo así:

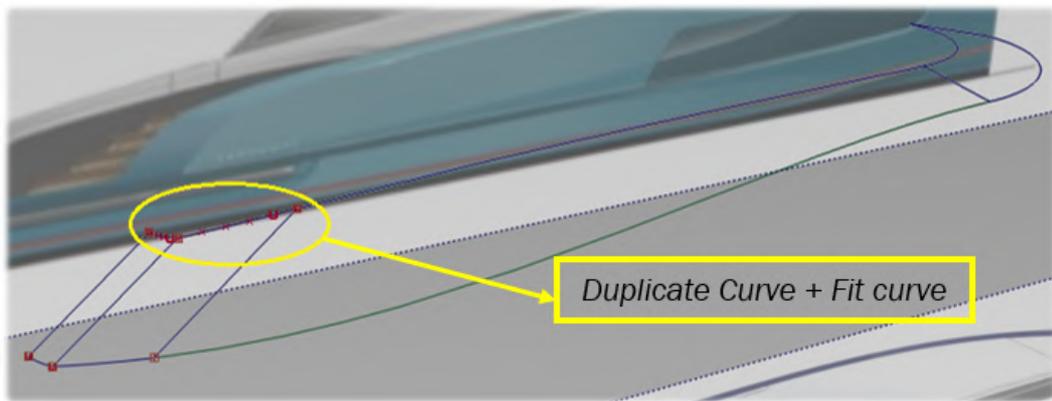


Figura 194 Esqueleto de las superficies de unión - cola.

Esta zona de la cola también tiene una forma curva bastante similar a la del casco. Usaremos de nuevo la herramienta de creación *Blend* para crear la curva de redondeo superior. En este momento no vamos a fijarnos en la zona interior ya que esta parte la crearemos una vez finalizada la superficie de unión con la mitad delantera del barco.

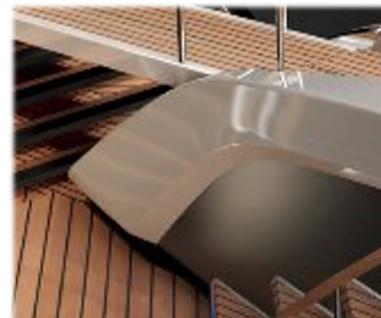
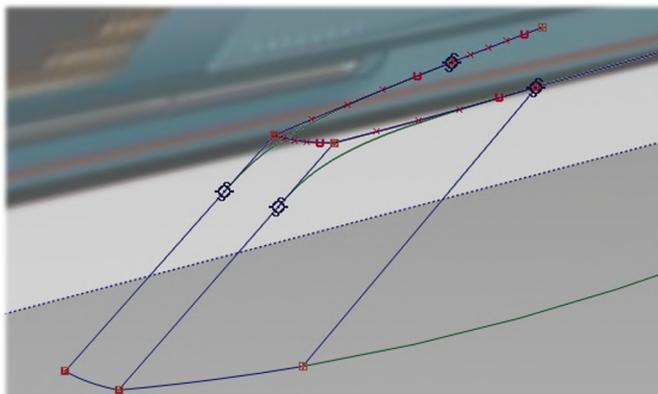


Figura 195 Redondeo de cola. [3]

Figura 196 Curvas Blend del redondeo de cola.

Lo siguiente que debemos hacer es dejar en “standby” la zona de la cola para centrarnos en la superficie de unión del parabrisas. Esta superficie era plana en el modelo de bloques, pero en el modelo final presenta continuidad en curvatura tanto con la cubierta como con el soporte del parabrisas.

Para poder asegurar que las superficies de la unión puedan ser continuas en curvatura entre sí debemos mejorar la estructura interna de las curvas de soporte. Debemos sustituir las curvas de cuarto de círculo (véase figura 140) por otras de tipo *Blend*. Esto se debe a que las primeras son difíciles de alinear pese a presentar una estructura interna muy ordenada.

Comenzamos con la arista inferior (véase figura 138).

Para esta parte debemos proyectar sobre la nueva cubierta la curva inferior que teníamos. Al realizar la proyección debemos seleccionar el tipo de proyección *Fit Curve*. De esta manera podremos mantenernos dentro de las tolerancias mínimas requeridas.

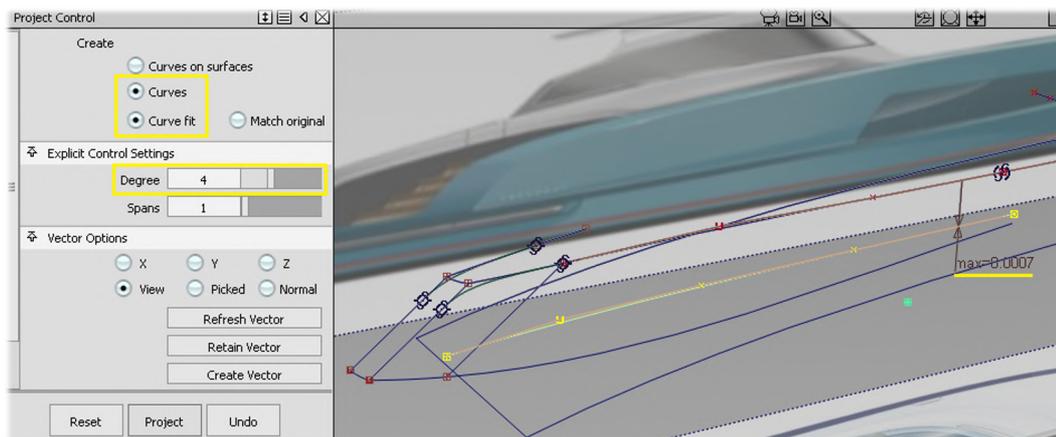


Figura 197 Proyección de la curva sobre la superficie de cubierta

El orden de operaciones en este caso es el siguiente: primero creamos las curvas con las que se debe mantener la continuidad y luego la curva que las une (en este caso una curva *Blend*).

Como se puede ver realizado en amarillo en la figura siguiente, hemos utilizado una curva auxiliar para mantener la continuidad respecto del eje de simetría.

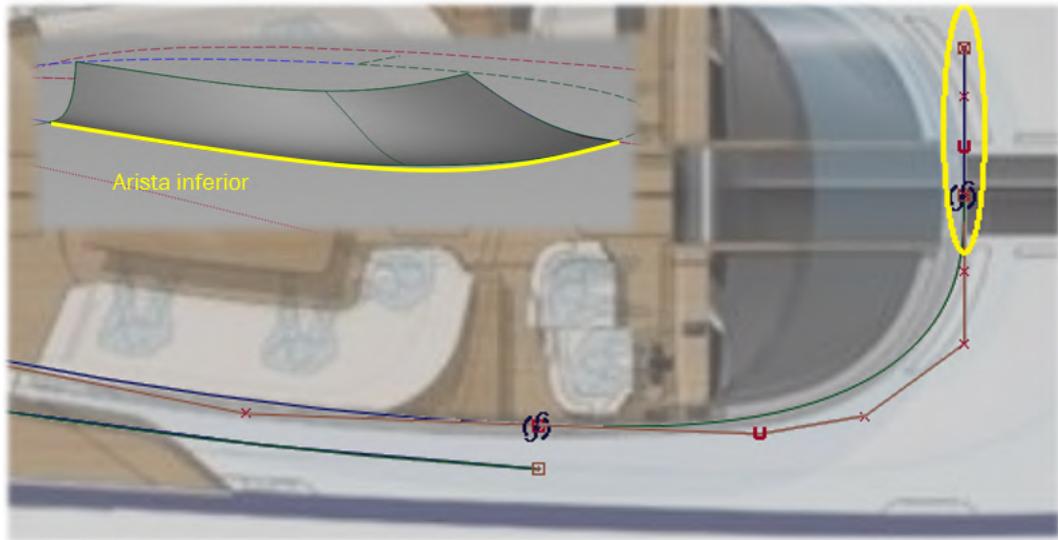


Figura 198 Mejora de la arista inferior de la superficie de unión.

A continuación, procedemos de la misma manera que en la arista inferior para crear la curva *Blend* de la superior. De nuevo usaremos una curva auxiliar para mantener la continuidad en el eje de simetría.

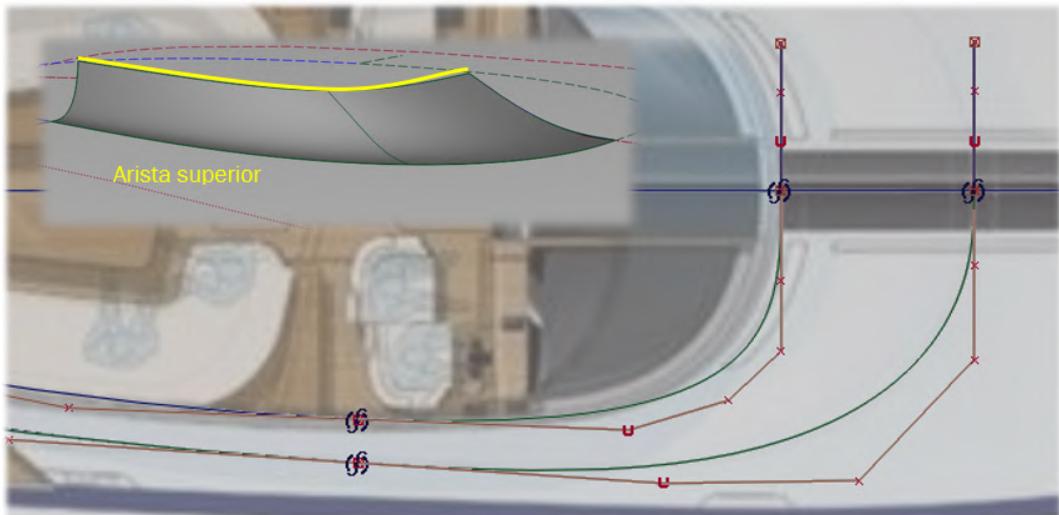


Figura 199 Mejora de la arista inferior de la superficie de unión.

Como hemos hecho hasta ahora y siguiendo las reglas de oro, intentamos mantener en la medida de lo posible unas distribuciones de puntos de control similares. De esta manera podemos prácticamente imaginar cómo va a ser la estructura interna de la superficie que creemos.

De la misma manera que acabamos de ver con los casos anteriores, vamos a crear el límite superior del parabrisas, aunque no vayamos a realizar esta superficie por el momento.

Al igual que nos pasaba con la cola, tenemos discrepancias entre los dos planos de referencia del barco. Para mantener la forma lo más parecida a la realidad posible, usaremos de nuevo una mezcla de referencias.

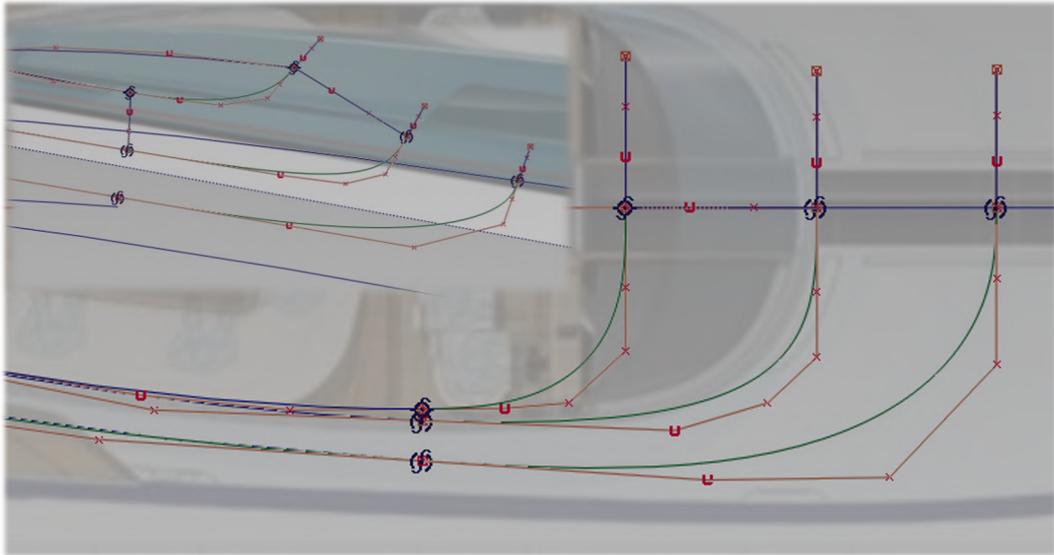


Figura 200 Límite superior del parabrisas y aristas inferior y superior de la superficie de unión.

En este caso, vamos a ser nosotros los que creemos los perfiles en ambos extremos de las curvas. Para ello, realizaremos dos rectas de grado cinco (mínimo indispensable para mantener continuidad en curvatura por ambos extremos) y una tercera que proyectaremos para ayudarnos en la alineación.

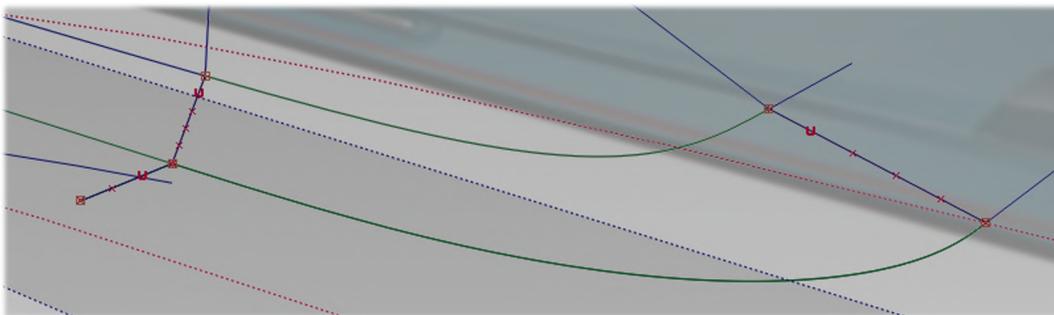


Figura 201 Curvas básicas de perfiles y recta auxiliar de alineación.

Usaremos de nuevo la herramienta *Align* (véase figura 153) pero en este caso con continuidad en curvatura. Aunque el parabrisas no vaya a coincidir exactamente con la arista superior de unión, utilizaremos los perfiles de este para dar continuidad a nuestra superficie y homogeneidad de formas.

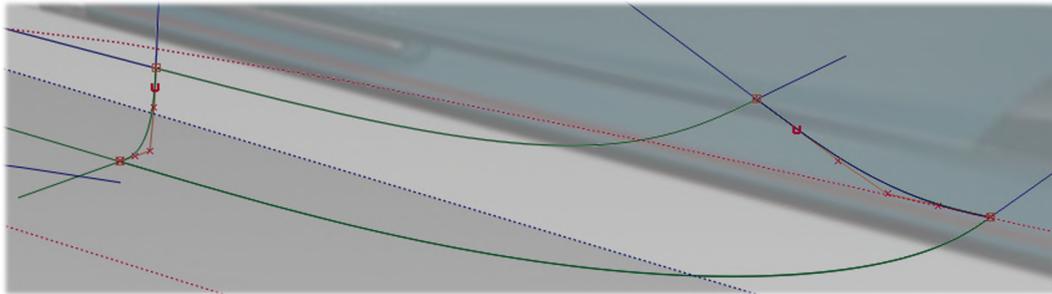


Figura 202 Curvas finales de perfiles.

Ahora que disponemos de las cuatro aristas, ejecutamos *Square* acordándonos de mantener la continuidad en la mitad simétrica.

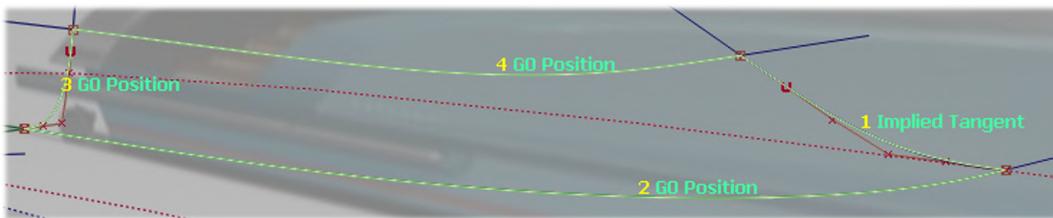


Figura 203 Superficie básica de la unión cubierta-parabrisas.

No podemos seleccionar continuidad en curvatura en la curva número dos ya que no es una arista de la cubierta y produciría un resultado erróneo. Como ya sabemos de las reglas de oro, es conveniente trabajar lo mínimo posible con superficies procedentes de un recorte.

Es por esto por lo que en este punto debemos recurrir a la opción *Project* de la herramienta *Align* para conseguir la continuidad en curvatura entre estas dos superficies cuando no disponemos de una arista conjunta.

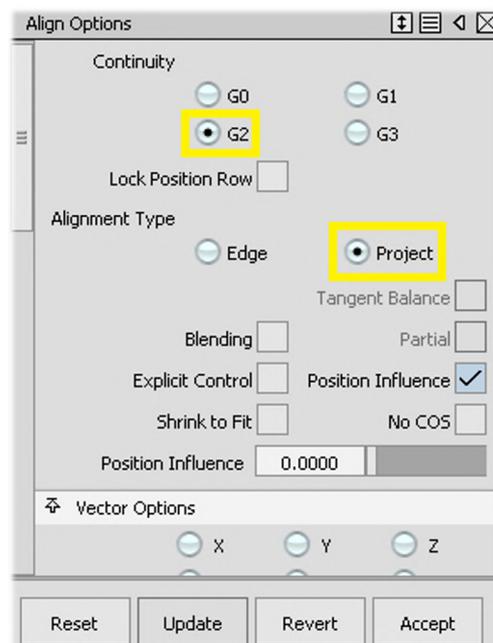


Figura 204 Opción *Project* dentro del menú contextual de la herramienta *Align*.

Como podemos observar, tras la alineación la superficie está formada por dos *Span*. En este caso resulta imposible crear esta superficie continua con la cubierta de una sola pieza. No obstante, la estructura interna obtenida es muy limpia y ordenada.

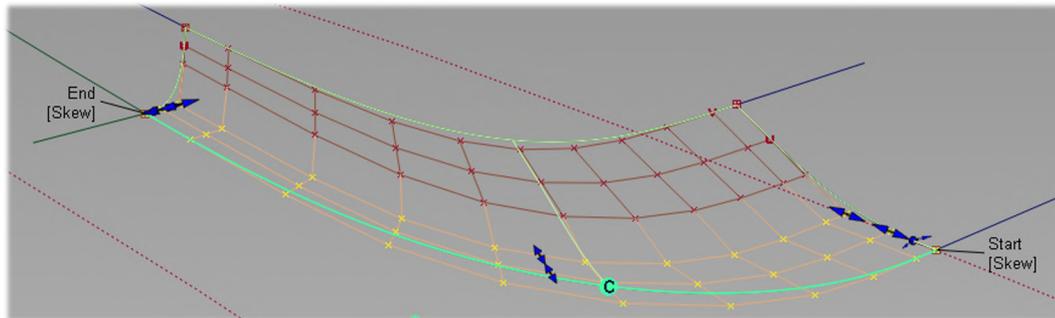


Figura 205 Superficie de unión alineada en curvatura.

Una vez tenemos la mitad delantera, vamos a duplicar y trasladar el perfil correspondiente a la zona de *End* en la figura anterior hasta los extremos de las curvas superior e inferior de la unión. De nuevo usando *Square*, crearemos la superficie seleccionando la continuidad en curvatura respecto a la cubierta y también respecto a la mitad delantera que acabamos de crear.

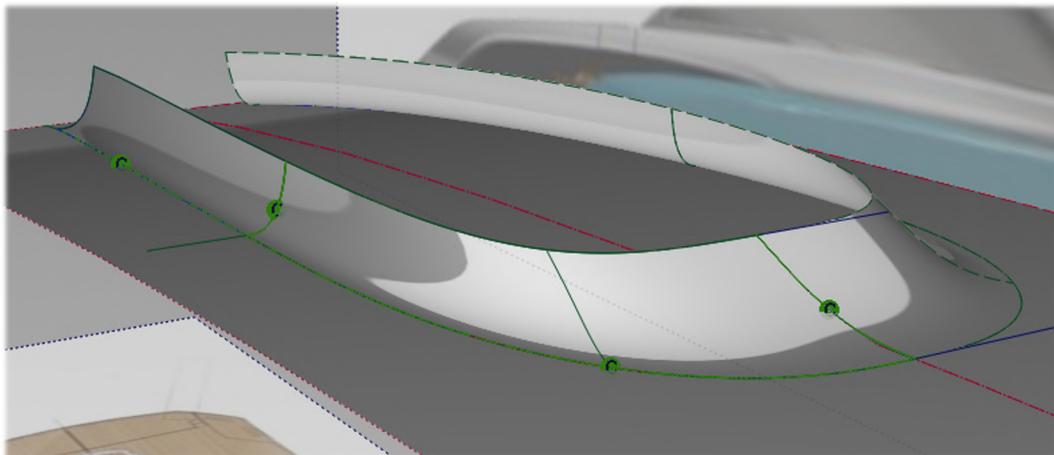


Figura 206 Superficie de unión completa.

El siguiente paso para fundir estas superficies con las de la cola es crear las curvas que usaremos para recortar las superficies.

De nuevo tendremos que hacerlo de manera intuitiva debido a la falta de concordancia entre planos.

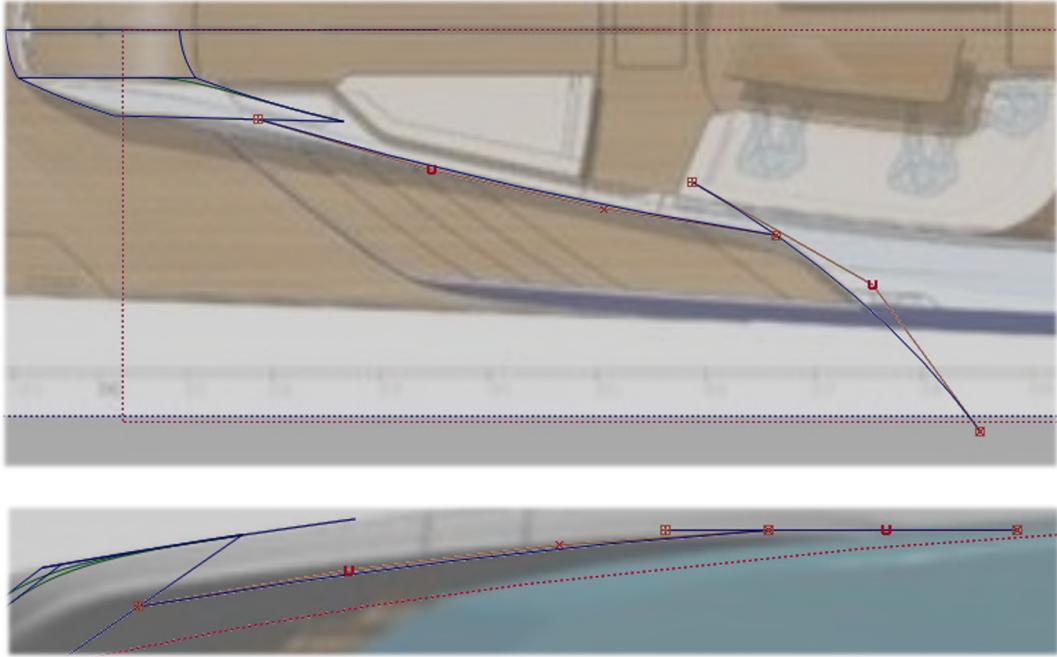
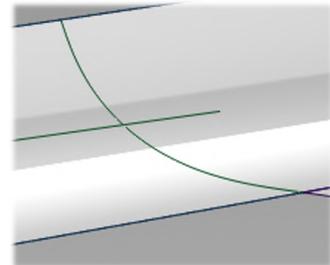


Figura 207 Curvas de recorte en vista de planta (sup) y alzado (inf).

A continuación, proyectamos en vertical ambas curvas sobre la superficie de unión y sobre la cubierta.

En la cubierta no tenemos ningún problema con la forma obtenida en el recorte, pero sí en la superficie de unión. Si nos fijamos en las curvas proyectadas veremos que estas forman un ángulo vivo el cual quedaría bastante feo a la hora de recortar y sería bastante difícil de solucionar a posteriori.



Es por esto por lo que debemos realizar el redondeo previo paso al recorte. Para ello debemos duplicar estas curvas proyectadas y crear una curva tipo *Blend* para el redondeo. Finalmente, volvemos a proyectar y recortamos.

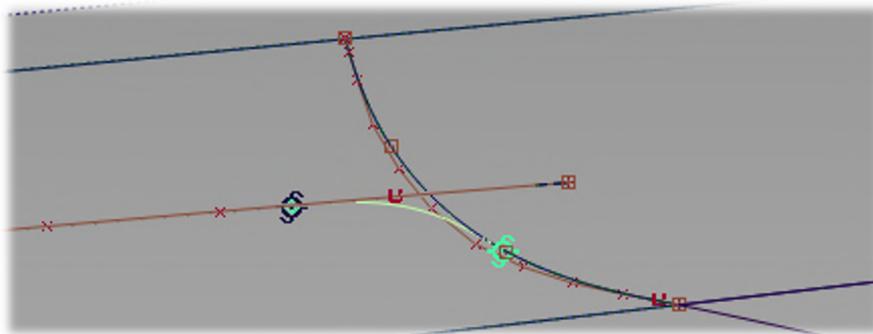


Figura 208 Redondeo en las curvas proyectadas.

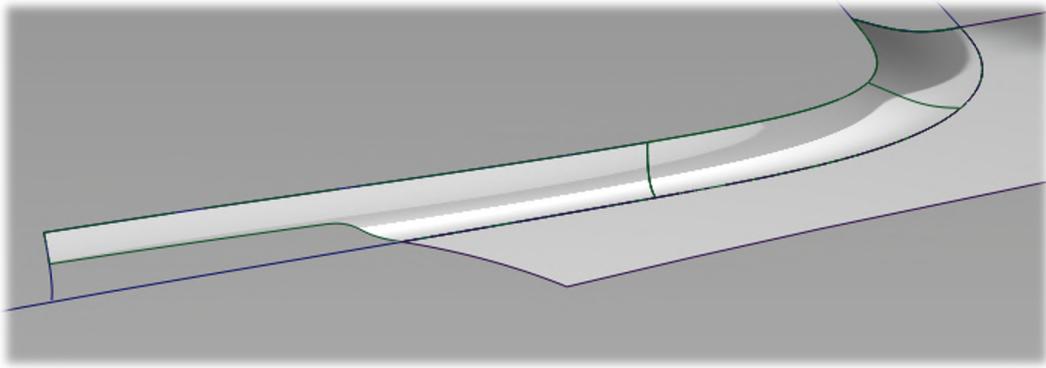


Figura 209 Superficies de cubierta y unión recortadas.

Ahora procedemos a unir esta superficie con la zona de la cola. Esta zona trasera tiene un remate en su zona final bastante parecido al que creamos en el detalle de unión del casco con la cubierta.

Como ya haríamos en esa parte, usamos la herramienta *Blend* para realizar los redondeos manteniendo la continuidad en curvatura.

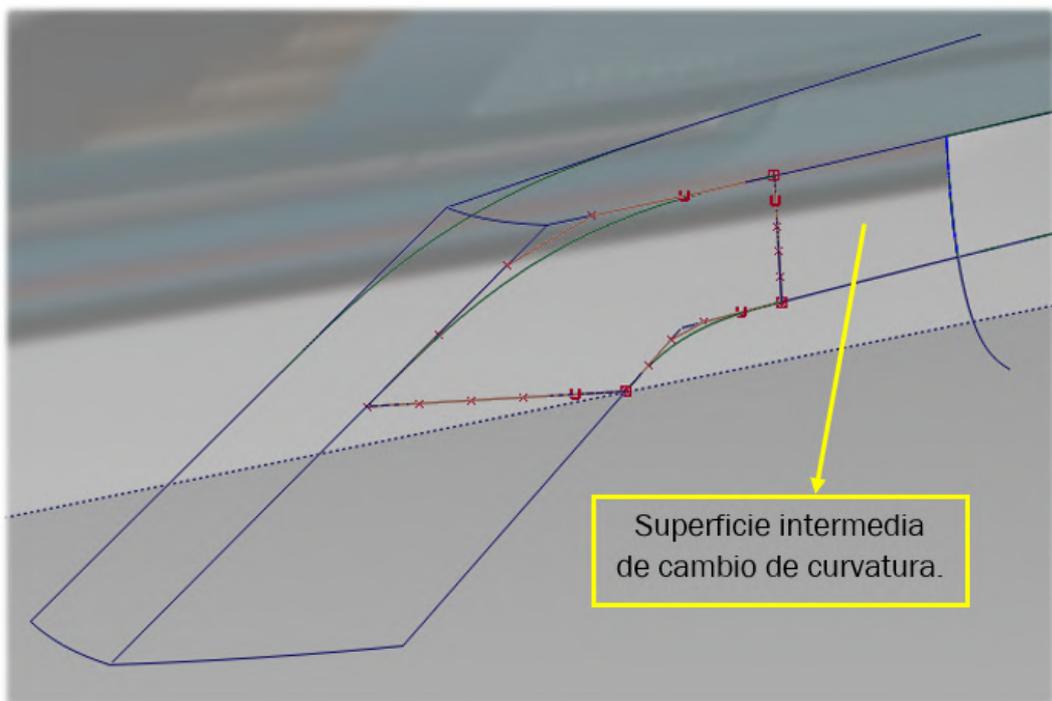


Figura 210 Redondeo de los ángulos de cola y superficie intermedia.

En este caso es necesario crear una superficie intermedia antes de la del redondeo. Esto se debe a que es necesario cambiar la curvatura de las superficies de cóncava (superficie de unión) a convexas en la zona inferior. Pese a poder realizarlo durante la superficie de redondeo, el hecho de mantener la curvatura con la superficie anterior provoca que la estructura interna no sea la óptima y los reflejos, extraños.

Una vez tenemos esta, completamos las otras dos utilizando *Square* como hemos venido haciendo hasta ahora.

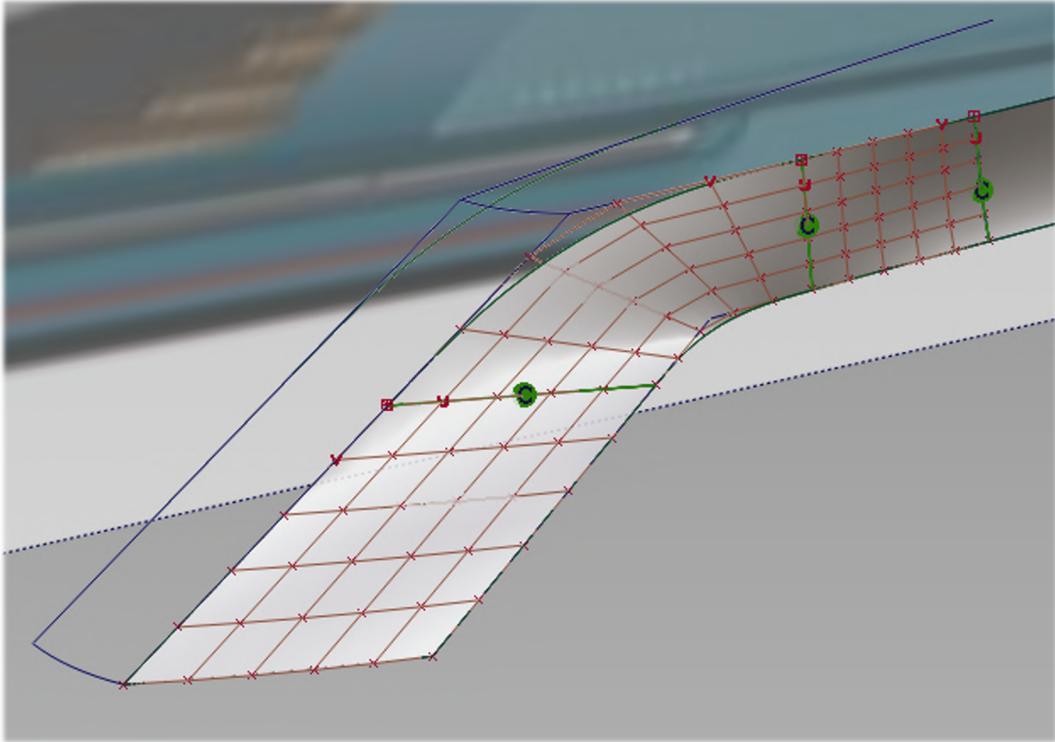


Figura 211 Superficies de redondeo de cola.

Tras estas últimas superficies creadas el estado de nuestro modelo es el siguiente:

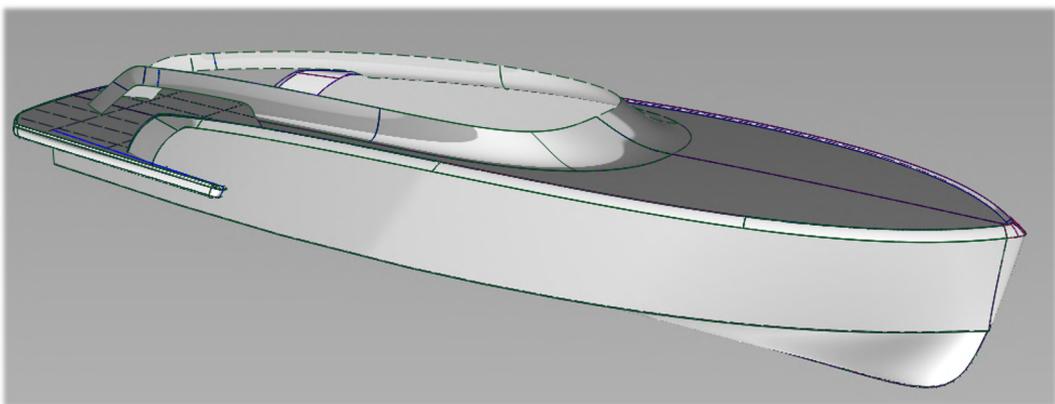


Figura 212 Estado del modelo tras la creación de las superficies de unión y cola.

5.3.6. Creación de la superficie del parabrisas y soportes. Referencias

Lo primero que vamos a hacer es crear un pequeño borde en la parte superior de la superficie de unión con la herramienta *Rail*. Esta superficie nos va a servir como base para el parabrisas a la vez que para crear una pequeña discontinuidad entre superficies que lo diferencie.

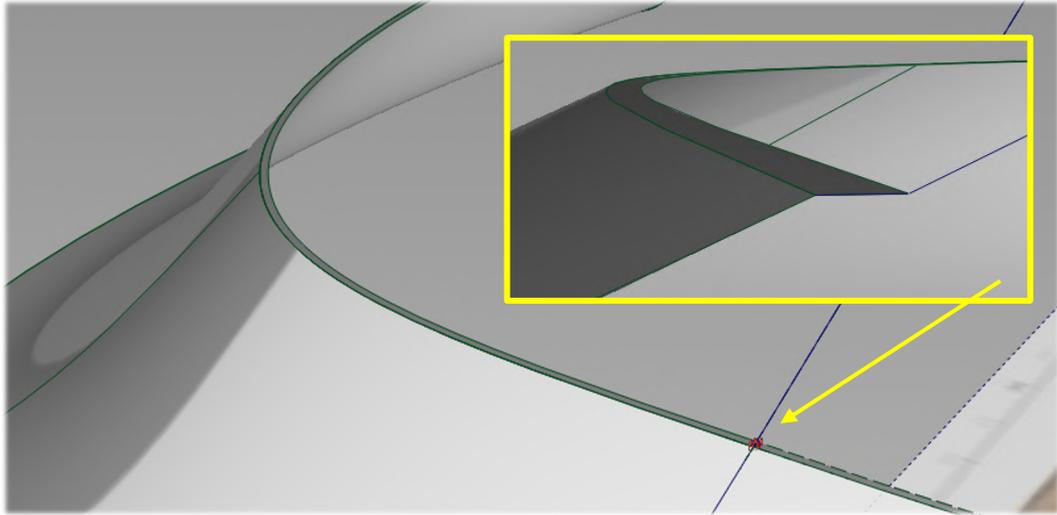


Figura 213 Pequeño borde sobre la superficie de unión.

De manera muy sencilla creamos dos perfiles rectos que unan la zona interior de este pequeño borde con las curvas límite superior que ya teníamos dibujadas del apartado anterior para poder utilizar la herramienta *Square*.

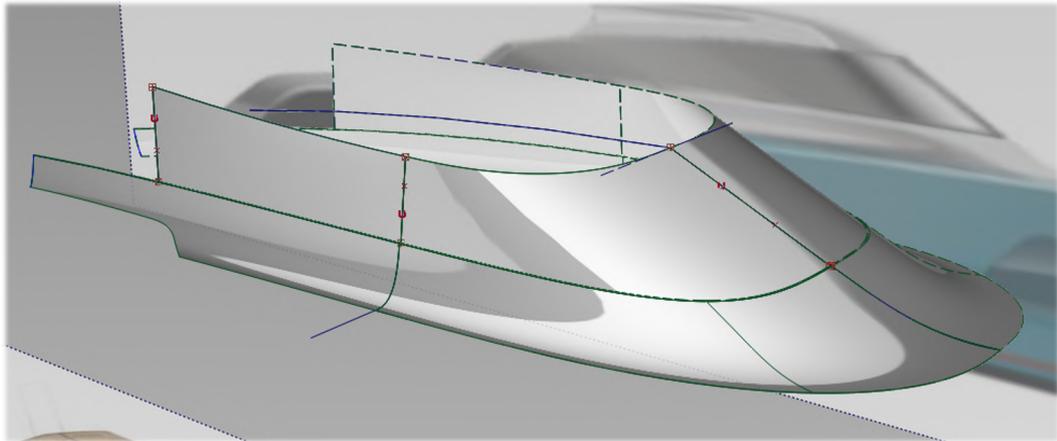


Figura 214 Superficie acristalada completa del parabrisas.

Ahora que tenemos la superficie que correspondería con el cristal de parabrisas, vamos a crear unos soportes para este que sean continuos con la superficie de unión.

Sabiendo que posteriormente realizaremos un recorte en esta superficie y que, por ende, hay aristas que no necesitamos controlar, vamos a introducir la

herramienta *Free Form Blend* la cual nos permite crear superficies continuas a partir de tan solo dos aristas.

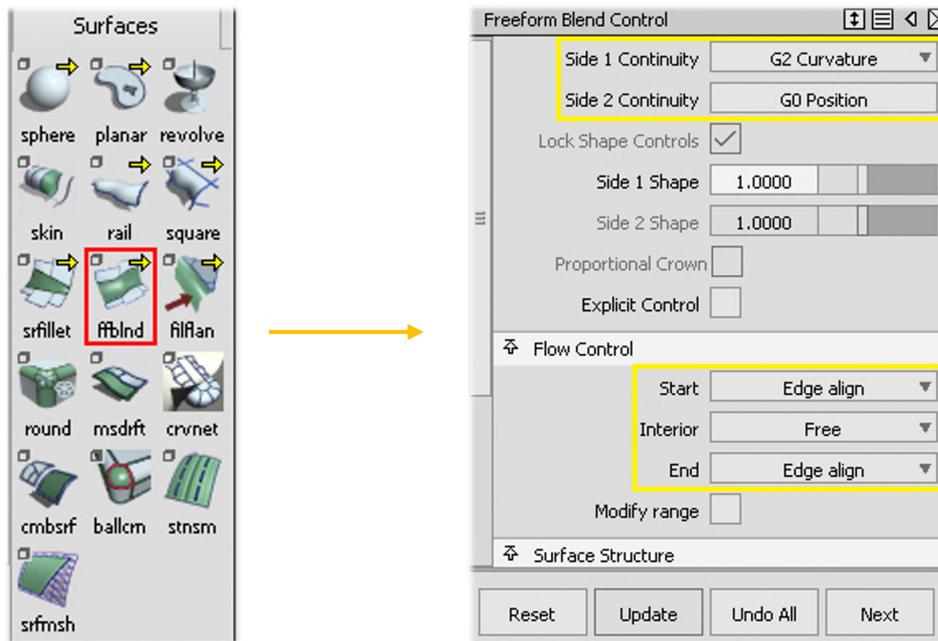


Figura 215 Herramienta Free Form Blend.

En este caso, debemos seleccionar como *Side 1* la arista superior de la superficie de unión en vez de la curva *Blend* a partir de la cual está formada para asegurarnos que la continuidad se da entre superficies.

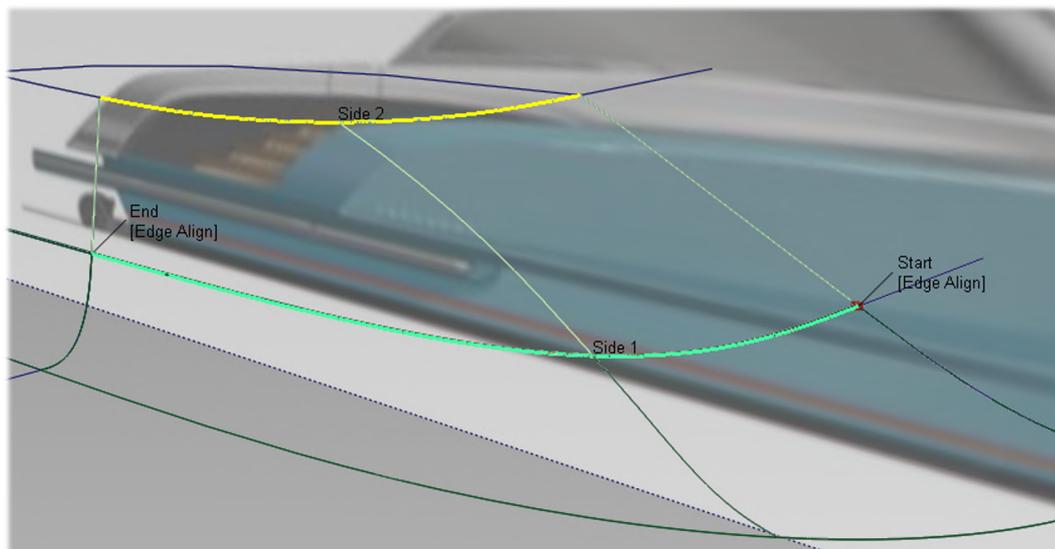


Figura 216 Superficie Free Form Blend.

La superficie de la parte trasera del parabrisas resulta bastante compleja al tener que mantener la continuidad respecto a dos superficies no paralelas. Es por esto por lo que, en este caso, debemos aceptar como buena una superficie de 16 *Span* (cuatro en cada dirección).

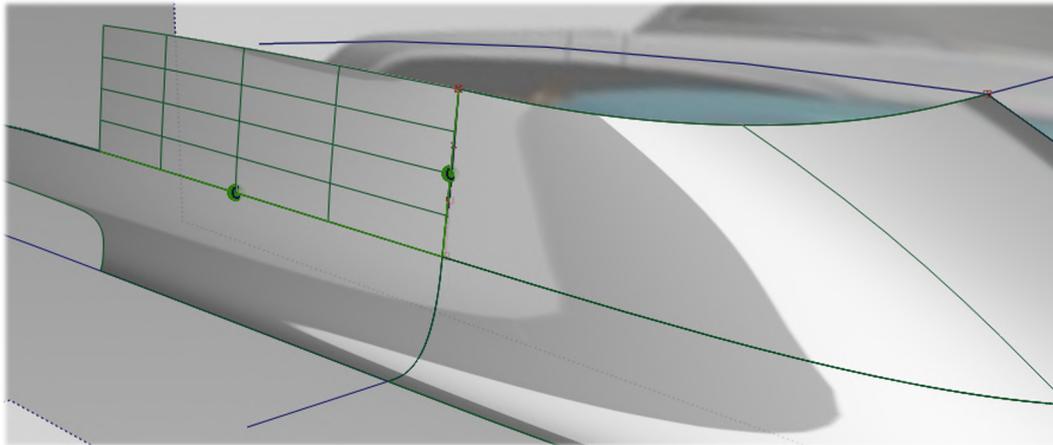


Figura 217 Superficie trasera del soporte del parabrisas.

El siguiente paso consiste en crear las curvas que definen los soportes. Una vez las tengamos las proyectaremos sobre las dos superficies creadas para, por último, recortarlas y obtener la forma deseada.

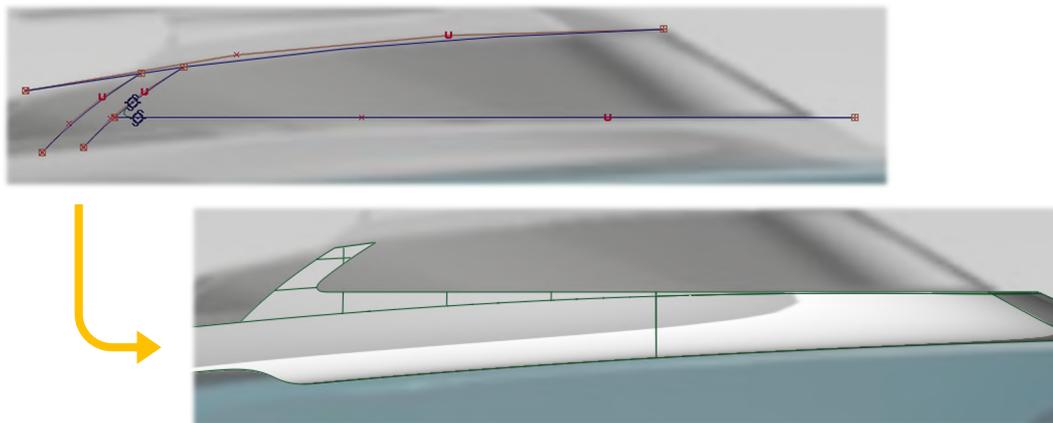


Figura 218 Superficie de soporte del parabrisas recortada.

A continuación, uniremos estos soportes con el cristal mediante una superficie similar a la que hicimos en la parte superior de la unión a modo de pestaña.

Para la creación de esta superficie hemos utilizado la herramienta *MultiSurface Draft* con dirección de extrusión normal a las curvas.

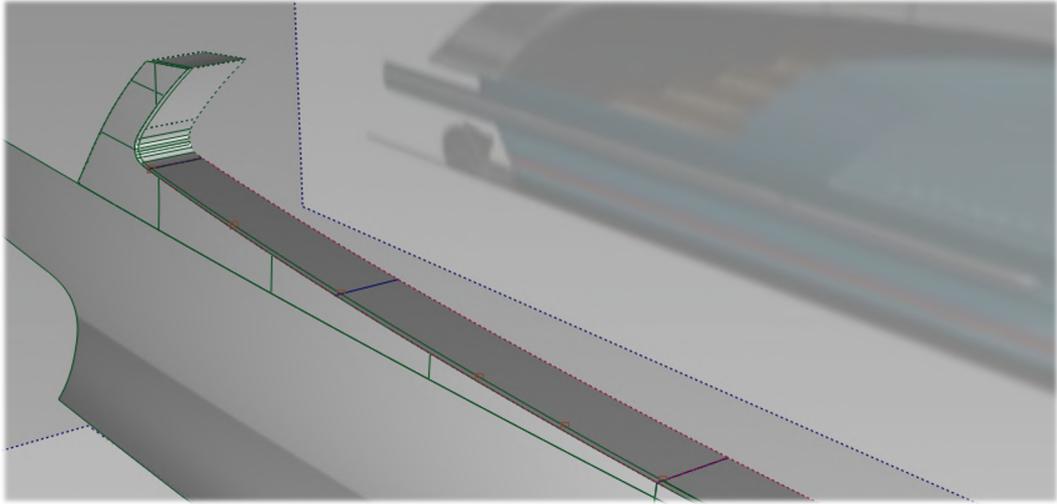


Figura 219 Superficie de unión soportes - parabrisas.

A continuación, intersecamos estas superficies con las que corresponderían al cristal del parabrisas y recortamos para obtener la forma final.

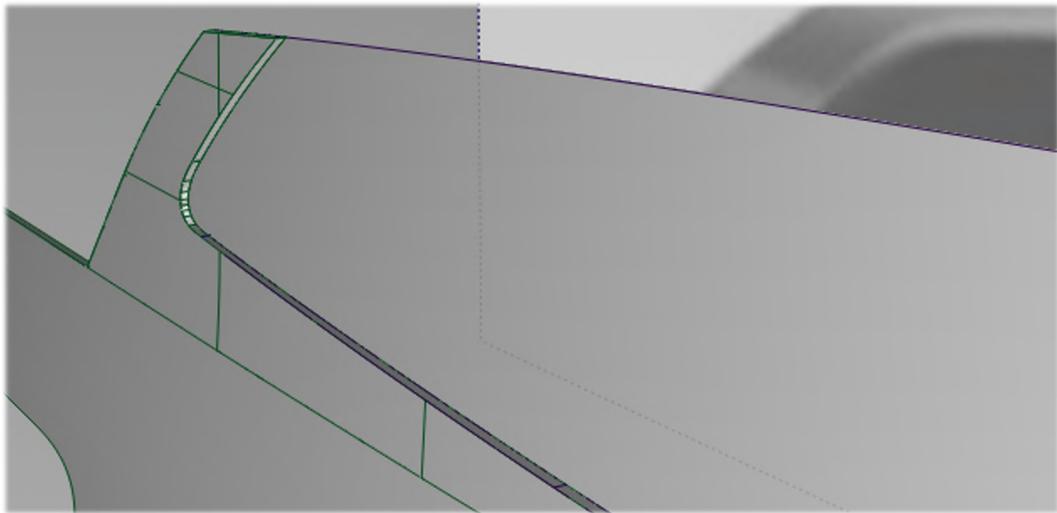


Figura 220 Superficies finales del parabrisas recortadas.

5.3.7. Creación de las superficies de detalle de la cola. Referencia

Tanto las superficies de detalle del casco como las de la cola se pliegan sobre si mismas en dirección al eje de simetría del barco como se puede apreciar en la siguiente figura. Esta forma crea la ilusión óptica de que esta parte del barco se encuentra “flotando” sobre la plataforma.



Figura 221 Vista trasera de la zona de la cola. [3]

Es esta forma de la cola “flotante” la que vamos a abordar en este apartado del trabajo.

En primer lugar, vamos a tomar referencias usando de nuevo *MultiSurface Draft* para crear la superficie de transición.

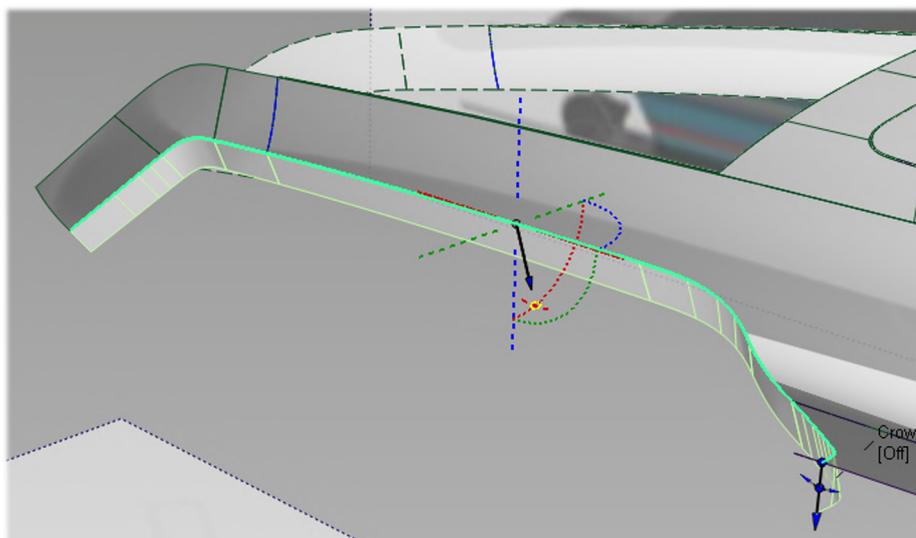


Figura 222 Superficie de transición con MS Draft.

Esta herramienta no nos permite crear superficies con la continuidad que necesitamos, pero sí nos permite obtener las aristas con las que luego poder usar *Square*. En este caso nos sirven los del extremo de la cola, pero no los de la parte central. Estos últimos deben ser más cortos y en dirección vertical por lo que duplicaremos las aristas que creamos útiles y borraremos la superficie.

Haremos lo mismo con las condiciones que queremos para obtener los perfiles del extremo del centro del barco.

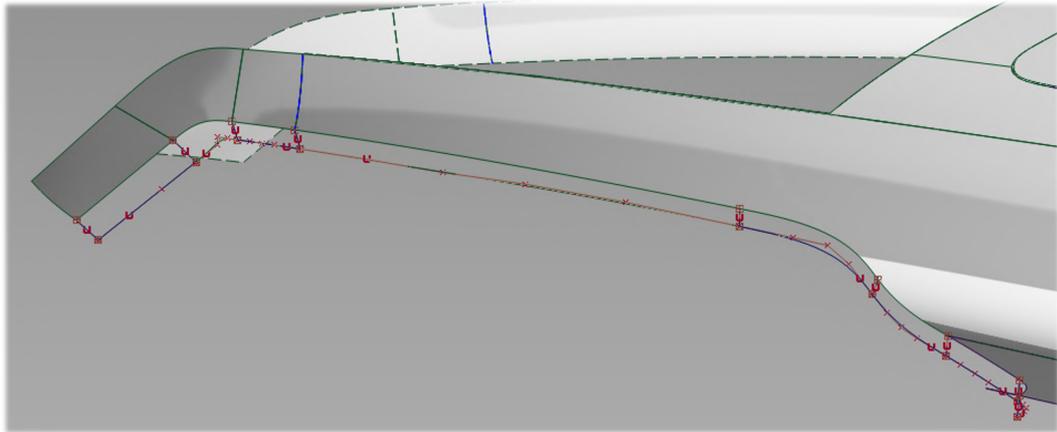


Figura 223 Perfiles de la superficie de transición.

Y completamos las superficies con *Square*:

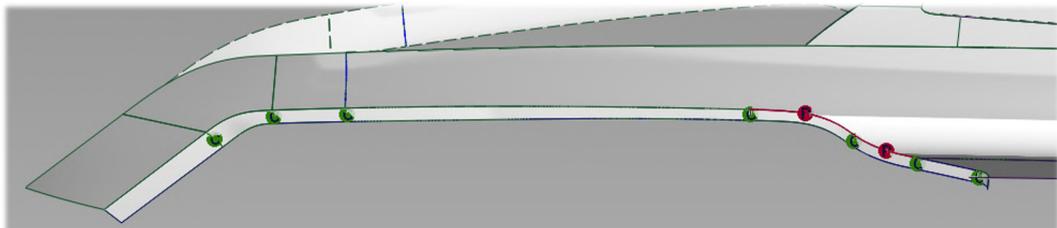


Figura 224 Superficie final de transición.

Entre algunas de las superficies ha habido que recurrir a la paleta *Transform CV* para conseguir la continuidad en curvatura entre las superficies de transición. Esto ha provocado que se pierda la continuidad posicional en dos tramos creando brechas. No obstante, no hay necesidad de preocuparse por ellos ya que son lo suficientemente grandes para superar las tolerancias (recordemos, 0.001mm) pero no para no quedar solucionados con el redondeo final.

El siguiente paso es, utilizando *MS Draft*, extender una superficie (color amarillo) que conecte la arista inferior completa de esta última superficie creada con la plataforma.

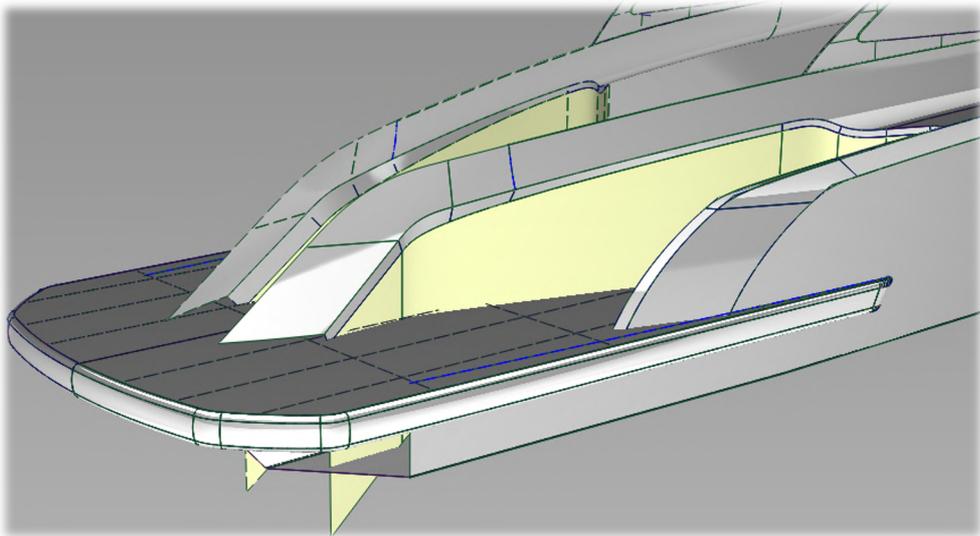


Figura 225 Superficie de conexión de cola - plataforma.

Para conseguir que el extremo de la cola se una por debajo con su mitad simétrica, lo primero que debemos hacer es recortar y unir los extremos de esta mediante rectas paralelas a la plataforma.

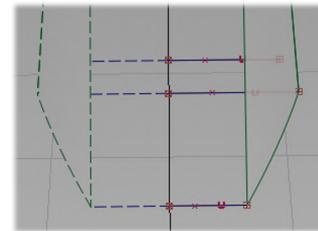


Figura 226 Curvas de unión.

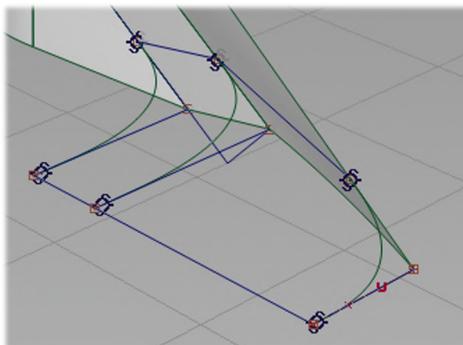


Figura 227 Curvas de redondeo del detalle de cola.

A continuación, usaremos *Blend* para crear las curvas de redondeo entre las aristas de las superficies y las rectas dibujadas.

Como disponemos de cuatro aristas, utilizaremos *Square* para mantener el control sobre ellas. Después usaremos *Align* con la opción *Project* (véase figura 204) para asegurarnos que mantiene la continuidad en curvatura con las superficies que teníamos de la cola.

El resultado es el siguiente:

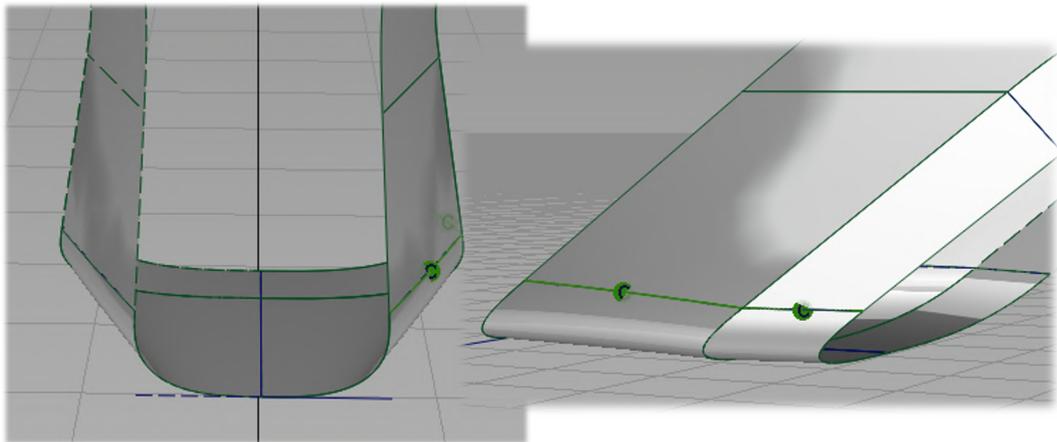


Figura 228 Superficie curva del detalle de cola.

5.3.8. Creación de la superficie inferior de las escaleras. Referencia █

De manera semejante a la zona de la cola, el casco se une con la zona central del barco plegándose sobre sí mismo por la parte inferior.



Figura 229 Superficie de unión del casco con el centro del barco. [3]

La manera de proceder con estas superficies va a seguir los mismos pasos que hemos realizado en la cola del barco.

Lo primero es crear las curvas que van desde el casco hacia el interior del barco.

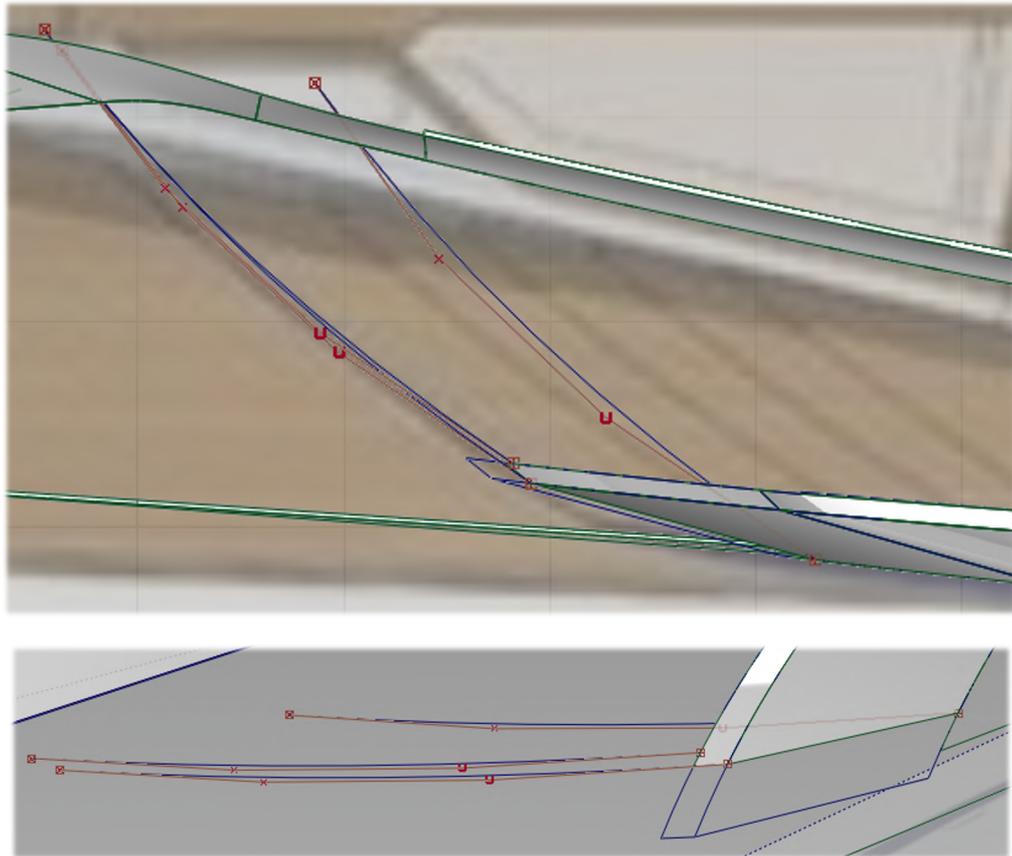


Figura 230 Curvas de detalle de las escaleras.

Y, de nuevo usando la herramienta *Blend*, creamos las curvas de redondeo.

A continuación, crearemos las superficies con *Square* y usaremos *Align* para establecer la continuidad entre estas nuevas superficies y las que ya teníamos del detalle del casco.

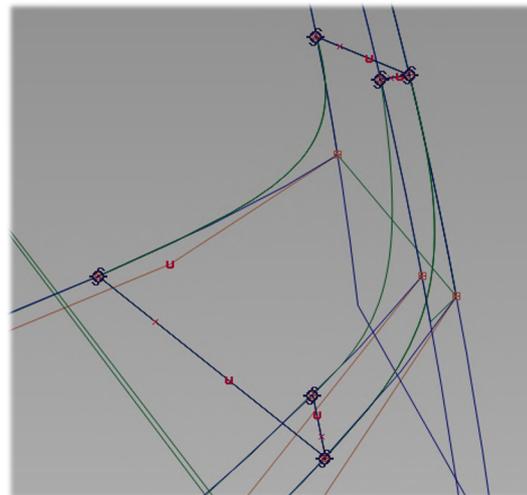


Figura 231 Curvas Blend del detalle de las escaleras.

Por último, recortamos las superficies para obtener el resultado final.

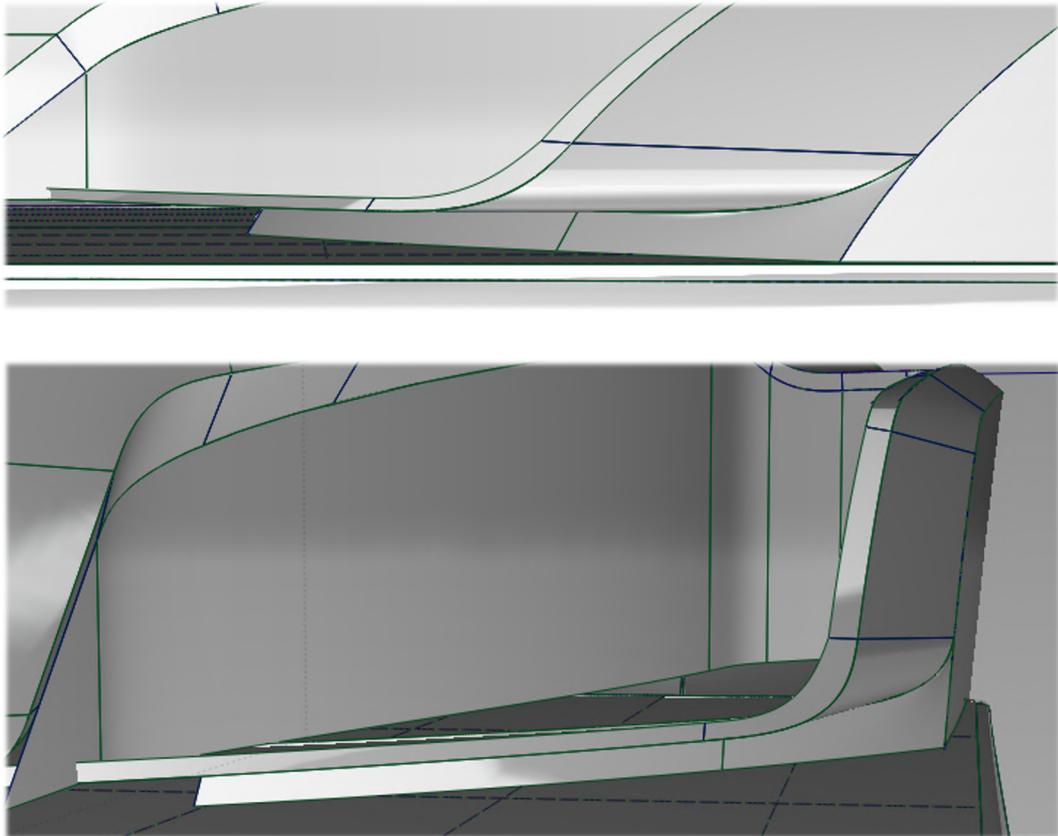


Figura 232 Superficies curvas de unión del casco con la zona central del barco.

Con esta superficie finalizada, ya podríamos dar por finalizada la construcción del casco exterior y de las superficies cuya continuidad en curvatura representa un aspecto importante dentro del diseño del barco.

No obstante, hemos dejado aristas vivas entre todas las superficies que no presentaban continuidad entre sí. Este es un aspecto fundamental de cara al acabado final ya no solo de los reflejos de la luz sino también a la hora de la fabricación.

5.3.9. Creación de redondeos entre las superficies principales del barco.

Es una práctica bastante habitual dejar los redondeos de las aristas vivas entre las superficies principales para la parte final del modelado. De esta manera, no creamos condicionantes añadidos a la hora de crear nuevas superficies.

Por otra parte, con el modelo casi completo podemos observar las dimensiones finales de nuestras superficies y decidir más acertadamente qué tipo de redondeo corresponde a cada zona.

Para la gran mayoría de redondeos utilizaremos la herramienta *Surface Fillet* (véase figura 167), ya que es la única que nos permite asegurar continuidad en curvatura entre ambos extremos de la superficie a crear. Además, también nos permite crear redondeos tanto de radio/distancia cordal como de geometrías variables.

Utilizaremos el redondeo de la arista entre el casco y el detalle de unión con la cubierta como ejemplo. Los parámetros elegidos para esta zona son los siguientes:

En algunas zonas utilizaremos la opción de redondeo variable para crear determinadas transiciones y modificaremos el tipo de final e inicio para obtener el resultado que buscamos.

No obstante, utilizaremos esta configuración de manera general para las aristas de esta zona.

Se ha elegido el tipo de redondeo en función de la longitud cordal al ser este el que ofrece resultados más homogéneos, independientemente del ángulo que formen las dos superficies.

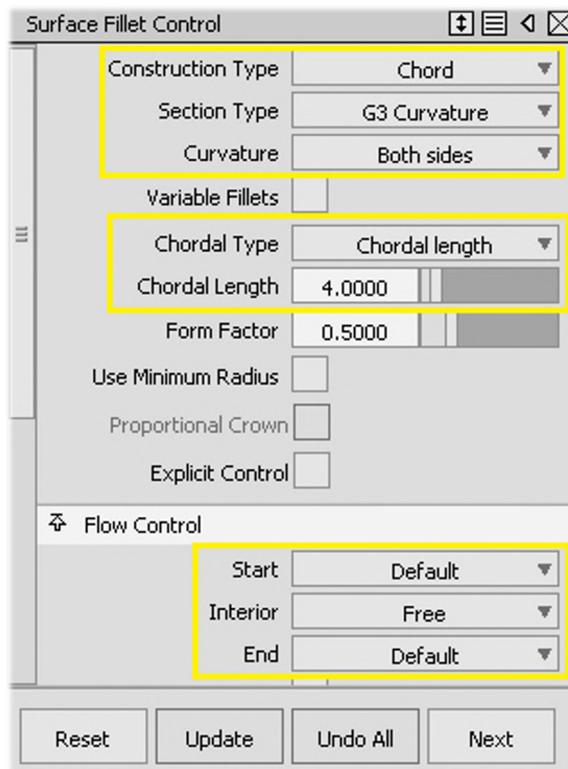


Figura 233 Configuración de la herramienta *Surface Fillet* para los redondeos.

Realizaremos un primer barrido sobre toda la arista para ver qué resultados obtenemos.

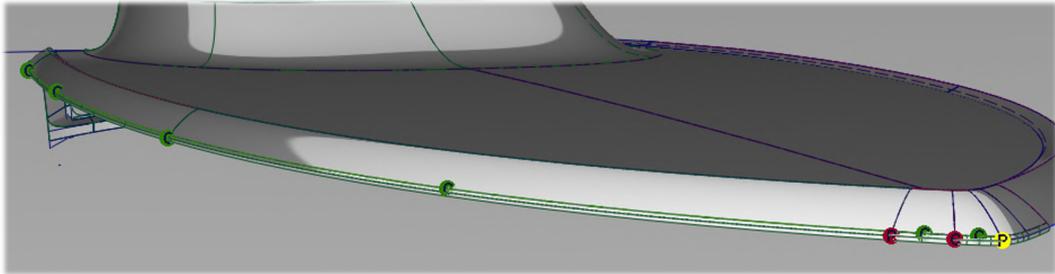


Figura 234 Resultados de los primeros redondeos.

Como podemos observar, los resultados obtenidos mediante la herramienta son correctos respecto a la continuidad con las superficies que forman la arista viva. No obstante, es habitual encontrarse con problemas de continuidad entre los propios redondeos.

En este momento debemos recurrir a la modificación manual de los puntos de control para solventar estos problemas mediante la paleta *Transform CV* dado que de otro modo resulta imposible.

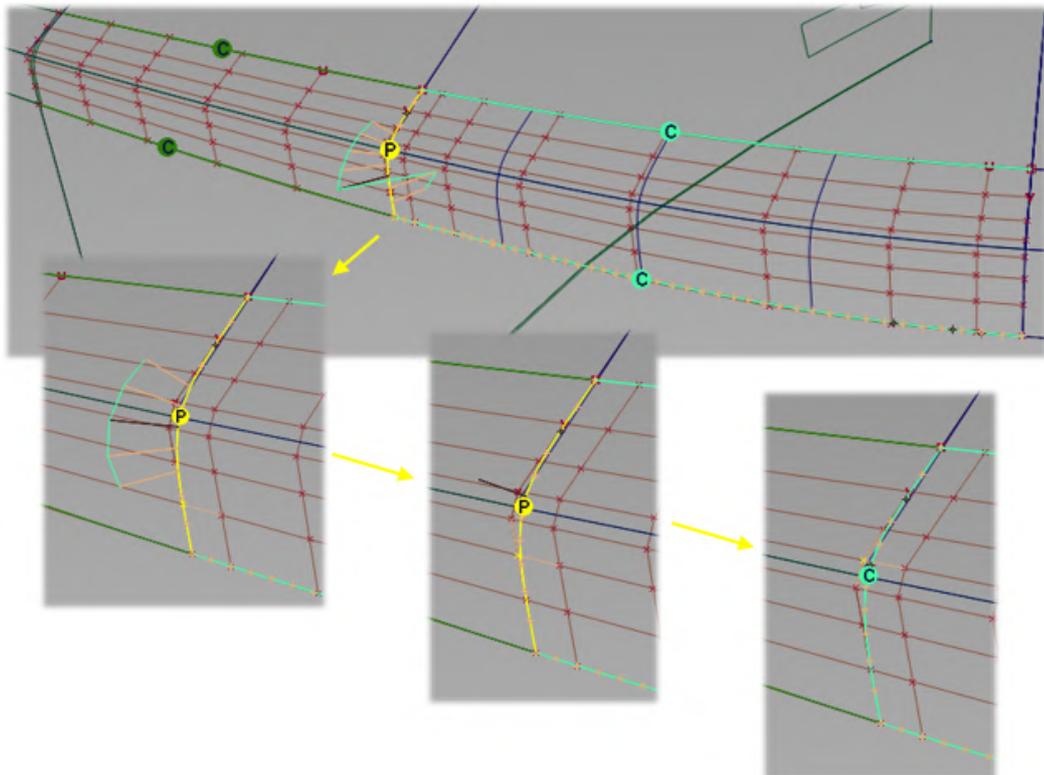


Figura 235 Modificación manual de los puntos de control para obtener las condiciones de continuidad deseadas.

De esta manera iremos modificando una a una todas aquellas uniones en las que existan problemas de continuidad.

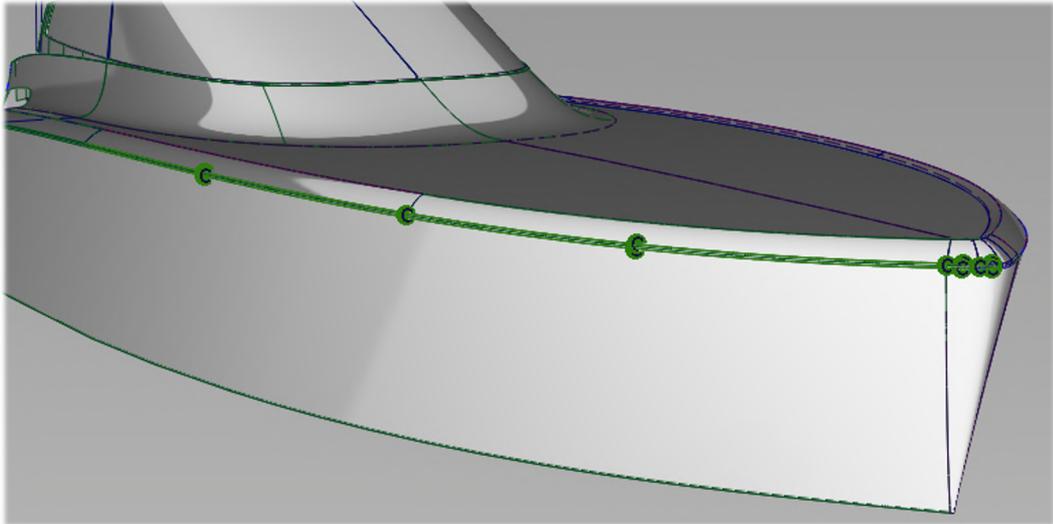
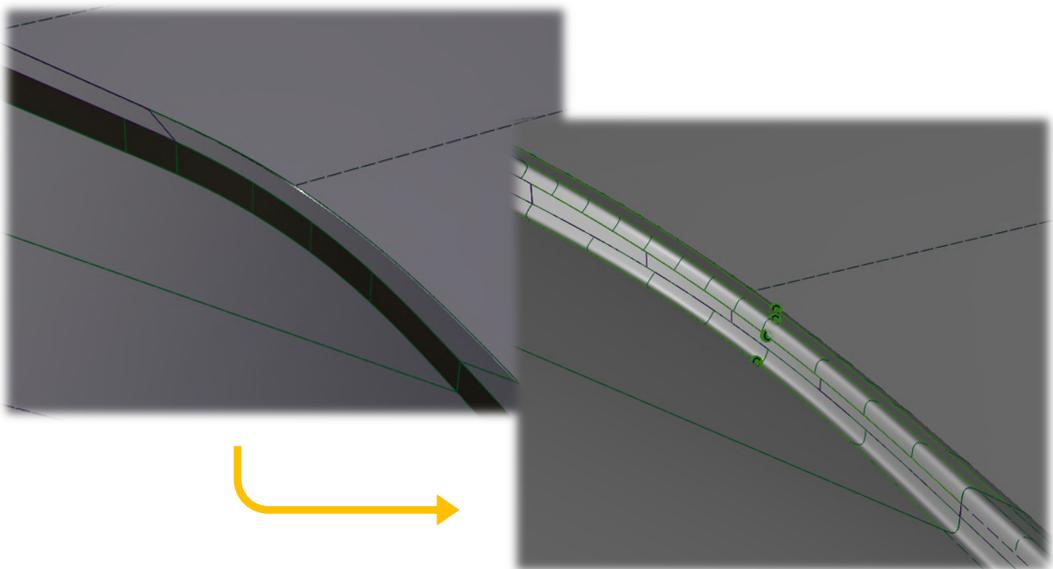


Figura 236 Redondeo inferior de la unión casco - detalle de cubierta.

De aquí en adelante la metodología de trabajo usada el resto de los redondeos del barco seguirá exactamente los mismos pasos: grueso del redondeo mediante la herramienta y posterior corrección de las zonas de unión en las que existan problemas de curvatura mediante *Transform CV*.



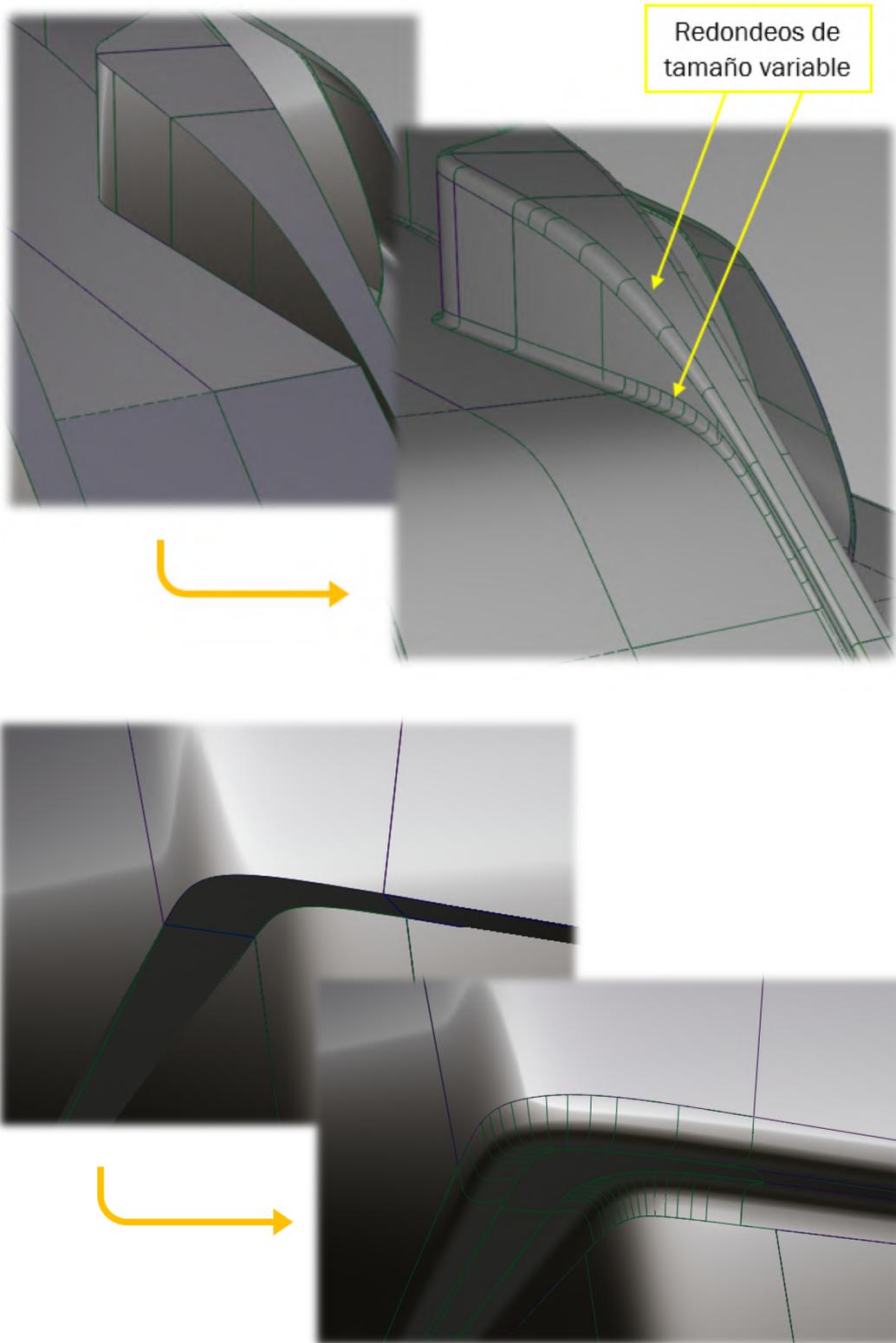


Figura 237 Ejemplos de diferentes redondeos dentro del barco.

5.4. ANÁLISIS DE REFLEJOS DE LAS SUPERFICIES.

Como hemos avanzado en la parte teórica de este trabajo, las superficies de Clase A destacan por su suavidad y aspecto exterior. Dentro de esta última característica, uno de los factores más importantes es el tipo de reflejos que proyectan cuando les incide la luz exterior o los objetos que los rodean durante su vida útil.

Es por eso por lo que, conforme íbamos creando las superficies, nos asegurábamos de que la continuidad entre estas fuera lo más suave posible. Para ello hemos usado los marcadores de continuidad y, también muy importante, los reflejos que nos proporcionaba la propia luz ambiente del programa para detectar los errores más grandes.

No obstante, ya habíamos adelantado en el apartado 3.6.2 de este trabajo, que existen diferentes métodos específicos para analizar las superficies de manera visual.

Vamos a comenzar el análisis utilizando el “túnel de luz”, ya que es el que mejor representa los reflejos de la realidad.

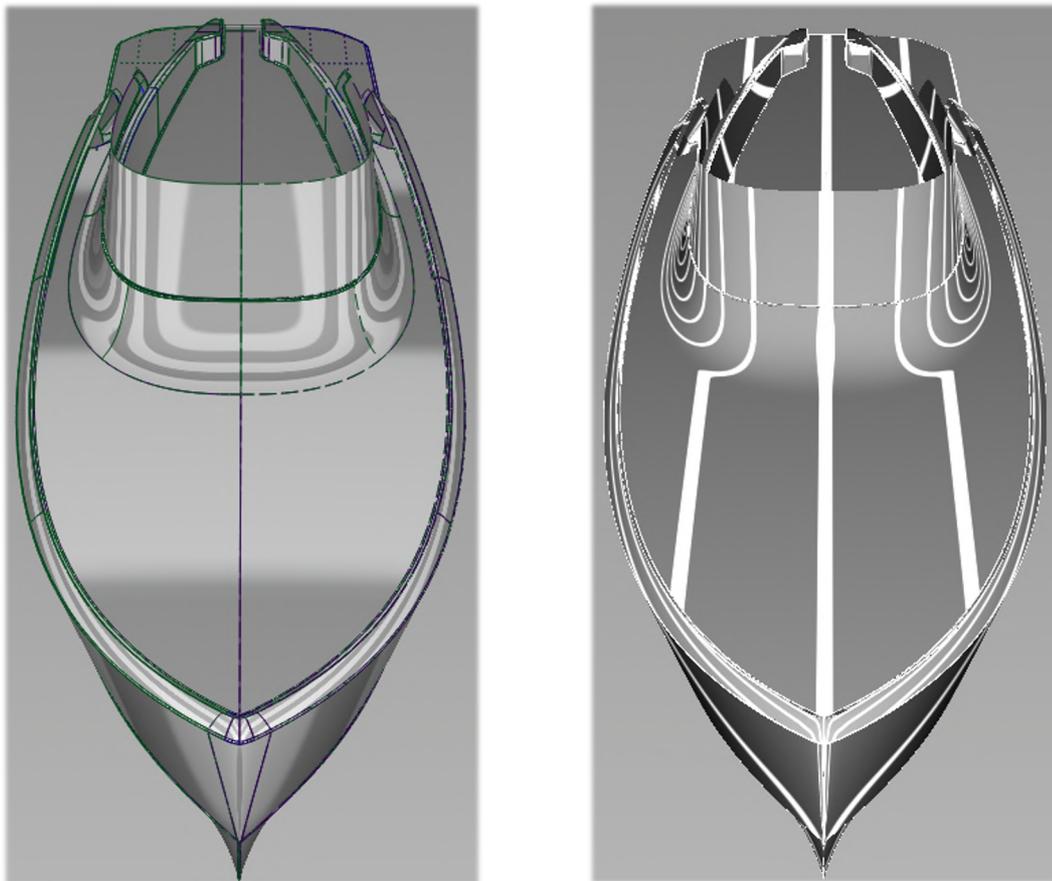


Figura 238 Vista frontal superior bajo el análisis de túnel de luz.

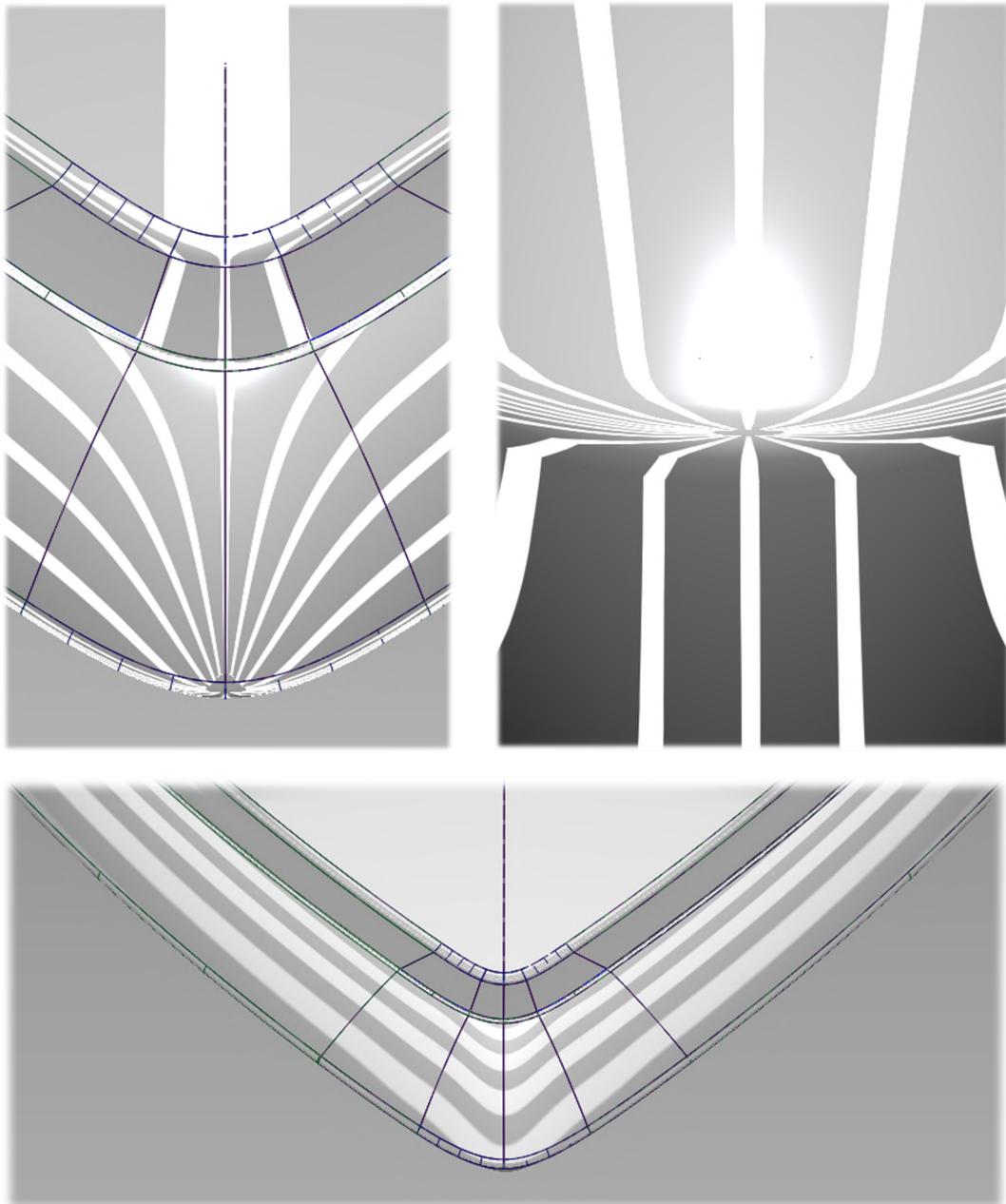


Figura 239 Detalle del redondeo de proa de la cubierta con el casco bajo el análisis de túnel de luz.

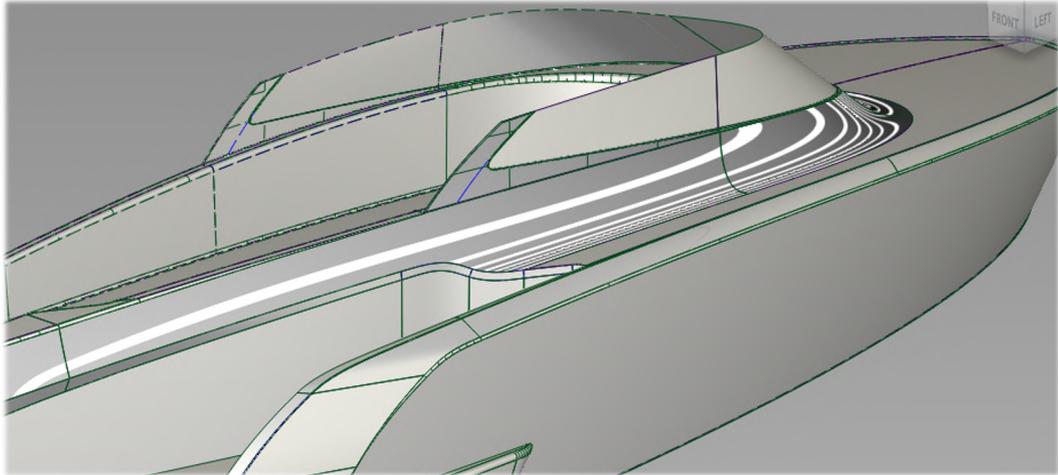


Figura 241 Superficie de unión cubierta – parabrisas bajo el análisis de túnel de luz.

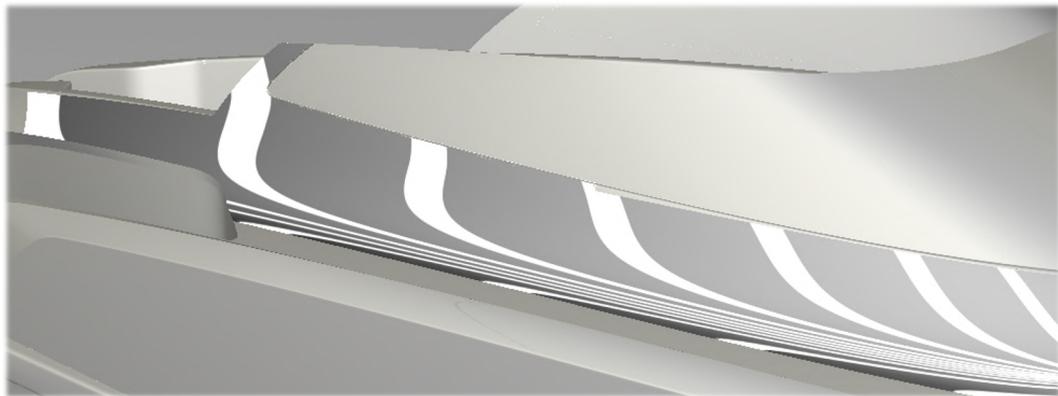


Figura 240 Detalle de continuidad entre la superficie de soporte del parabrisas con la superficie de unión bajo el análisis de túnel de luz.

Como podemos observar, con muy poca manipulación de los valores que vienen por defecto, este análisis nos muestra de manera muy clara el carácter de la curvatura de nuestras superficies de manera general.

En este caso no existen arrugas entre las superficies, ya que las tiras blancas de luz reflejan de manera suave y continua sobre las superficies. Esto nos indica que no existen saltos entre las diferentes superficies creadas y que, por ende, están bien realizadas.

A continuación, vamos a utilizar el análisis de rallado de cebra fijo o de “iso-ángulos”. Durante la realización de las superficies resulta conveniente utilizar el rallado de cebra móvil para evaluar de manera rápida la superficie recién creada. No obstante, este presenta la desventaja de estar “anclado” al punto de vista de nuestra pantalla y de moverse cuando nos desplazamos por el modelo. Es por ello por lo que para el análisis global recurrimos más rallado fijo.

No es uno de los más utilizados, pero nos sirve para analizar zonas concretas del modelo.

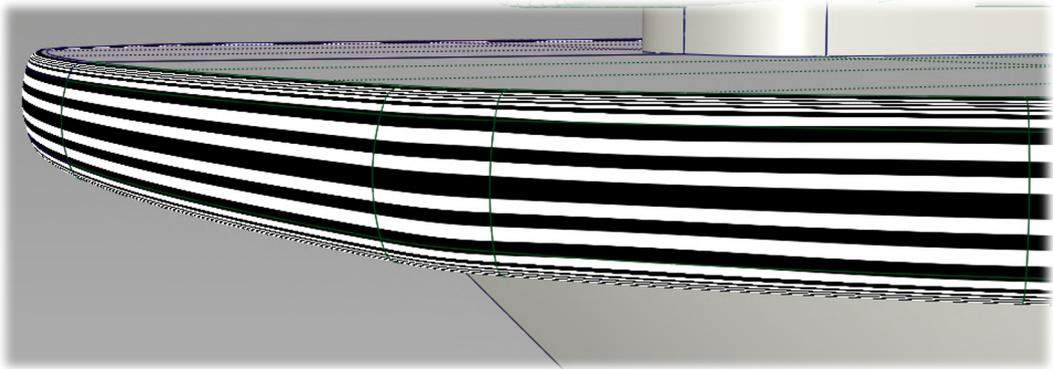


Figura 242 Detalle de la plataforma trasera y sus redondeos bajo en análisis de iso-ángulos.

También resulta muy útil a la hora de verificar la simetría del modelo.

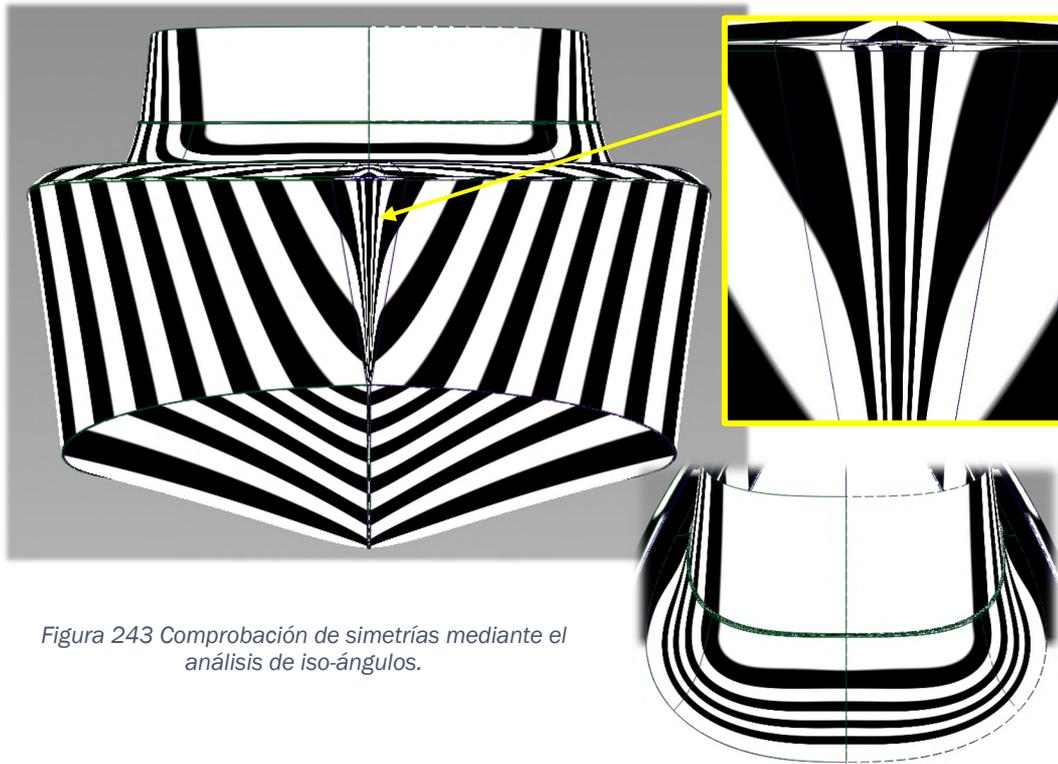


Figura 243 Comprobación de simetrías mediante el análisis de iso-ángulos.

Otro de los análisis de los que habíamos hablado en el apartado correspondiente de la teoría es el de curvatura.

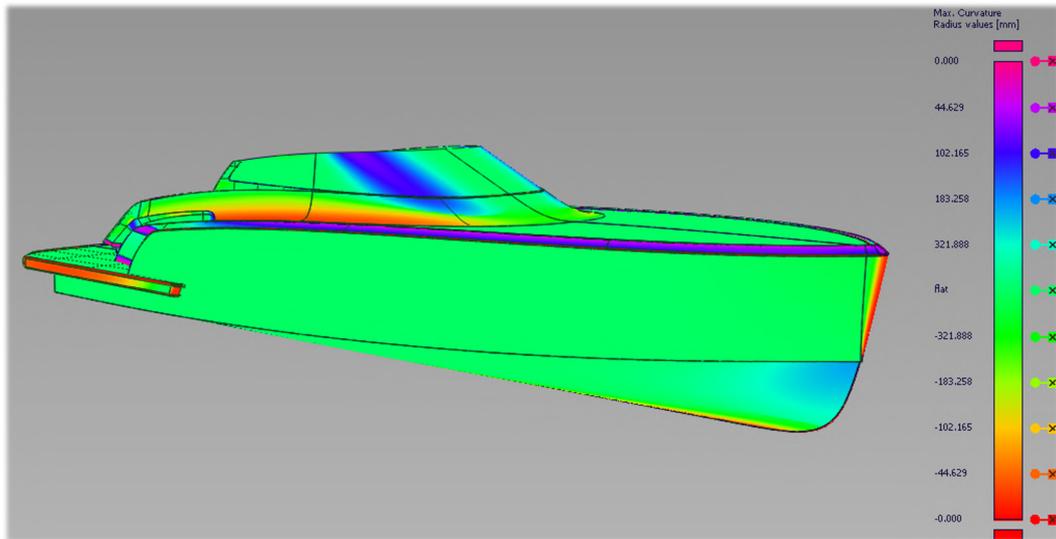


Figura 244 Análisis de curvatura al modelo completo.

Este resulta de especial interés para analizar la causa de algunas formas en los reflejos de la luz como vamos a analizar en la figura siguiente.

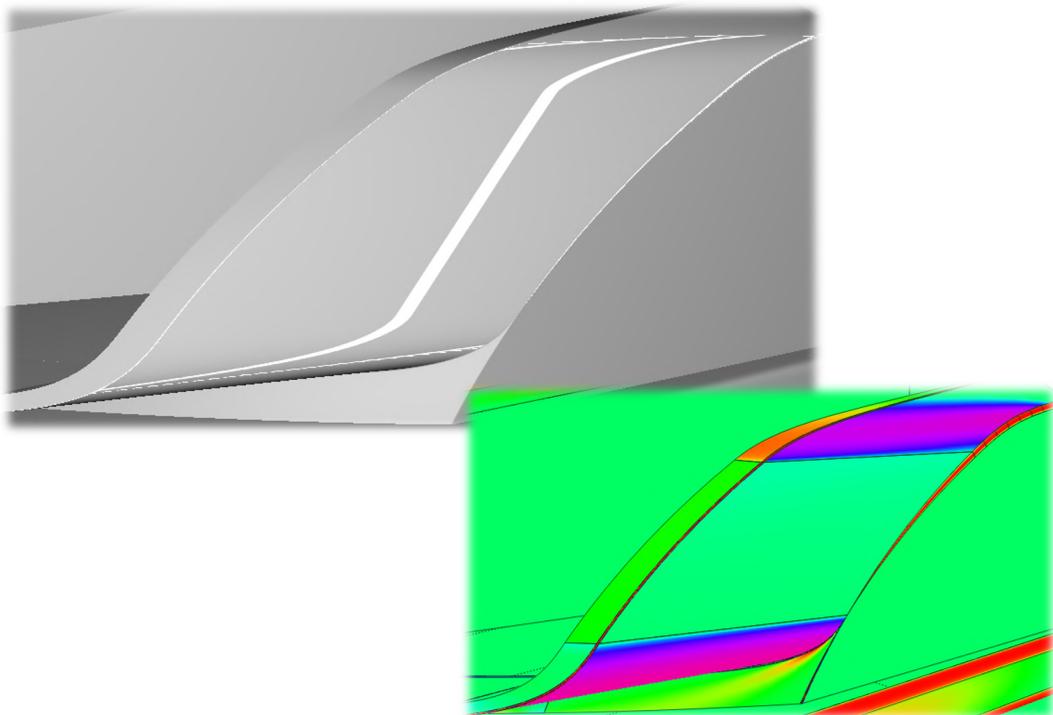


Figura 245 Influencia de la suavidad del cambio de curvatura en la forma de los reflejos.

En la zona de unión del casco con el centro del barco nos encontramos con una geometría compleja en la que se tratan de unir tres superficies en tres planos completamente diferentes manteniendo la continuidad en curvatura. Esto se puede apreciar en el análisis de curvatura en el que observamos cómo la transición entre superficies casi planas requiere un cambio brusco de curvatura.

La consecuencia de esto es un reflejo perfectamente continuo, pero con una forma más parecida a una “Z” en vez de a una “S”.

Un modelador experto es aquel capaz de conocer el diagrama de curvatura que se esconde detrás de cada forma de reflejo sin necesidad de visualizarlo directamente.

5.5. CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Entre los apartados 3.3 y 3.5 de este documento se habla de una clasificación de las superficies en función de las aristas restringidas con condiciones de continuidad que tenga. Si bien esto es cierto, también se puede hacer una clasificación similar en función del orden en que se realicen las superficies (normalmente de grandes a pequeñas). Ambas clasificaciones se encuentran estrechamente relacionadas ya que, las últimas superficies que se crean deben acomodarse a las ya existentes, obligando a que estas mantengan la continuidad con las anteriores.

Para ilustrar de mejor manera se van a clasificar todas las superficies creadas según un código de colores en función de si son primarias, secundarias o terciarias.

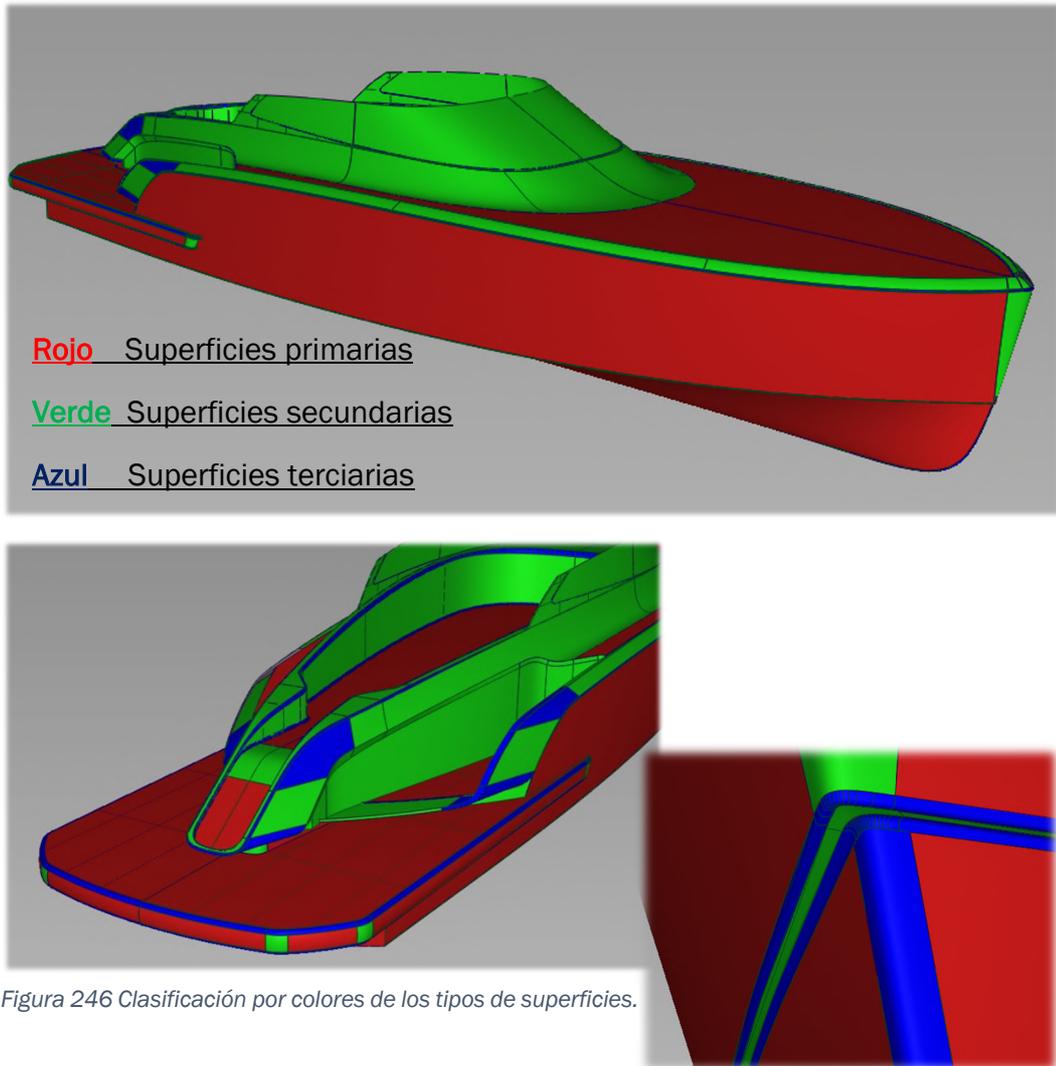


Figura 246 Clasificación por colores de los tipos de superficies.

En última instancia, podríamos definir que las superficies primarias suelen ser las más grandes y, conforme vamos reduciendo el tamaño, nos acercamos a las terciarias.

Por otra parte, podemos apreciar que la mayoría de las superficies primarias del modelo final son las que formaban el modelo de bloques que creamos de manera intermedia. Esto nos ha permitido desde un primer momento tener claras las dimensiones generales del modelo y las formas principales.

Las superficies secundarias han sido creadas para dar transición entre las superficies primarias de manera básica en algunas ocasiones y han sido las terciarias las que, por lo general, han otorgado la continuidad en curvatura entre las superficies del modelo final.

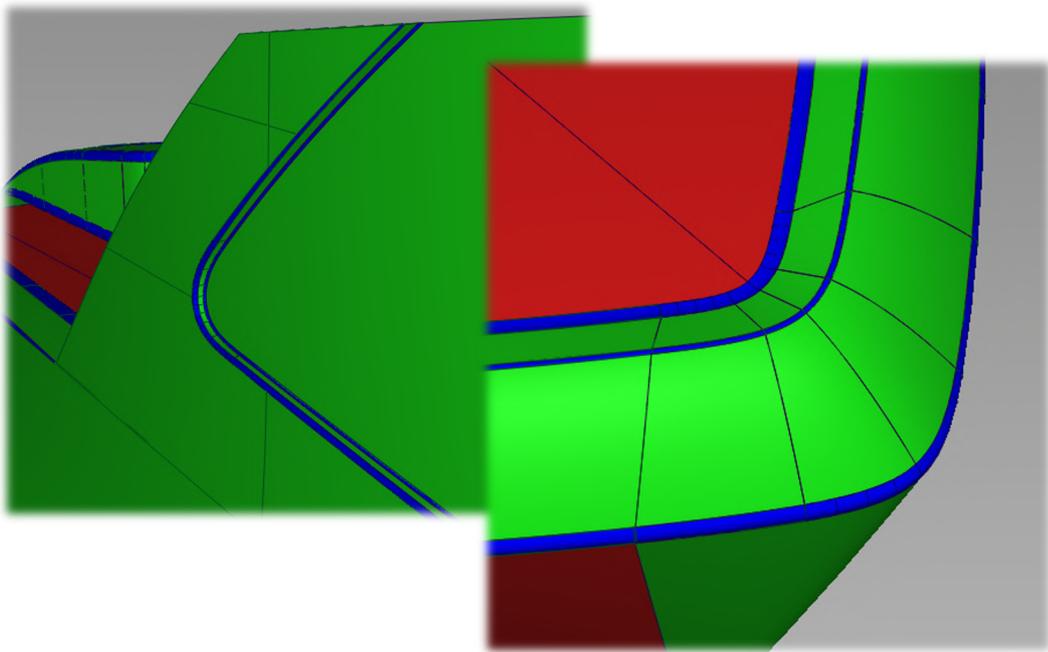


Figura 247 Detalles de la clasificación por colores de las superficies.

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos desarrollado el procedimiento completo de creación de un modelo de gran calidad estética mediante la utilización de superficies de Clase A. Durante el proceso, hemos podido experimentar que la diferencia existente entre estas y las superficies convencionales utilizadas para modelos en los que no se busca un alto grado estético no se encuentra en los componentes de estas superficies, si no en la manera de tratarlos.

Ambas superficies son paramétricas, es decir, tienen mallas de puntos de control en las direcciones U y V. La diferencia reside en la manera en la que se organizan estos a la hora de tomar una determinada forma y, sobre todo, a la hora de alinearse con otras superficies adyacentes.

También hemos podido descubrir que las curvas que posteriormente dan lugar a las superficies son un factor altamente determinante a la hora de conseguir los niveles de continuidad que requieren este tipo de modelos. Esto implica que, si las curvas base no cumplen los requisitos de continuidad, va a ser muy complicado - y en algunos casos imposible - alinear las superficies con la continuidad deseada.

Por otra parte, también hemos aprendido que en este tipo de modelado es necesaria una cierta flexibilidad en lo que respecta al objetivo de diseño que se desea cumplir, así como también ser consciente de que hay formas y conjuntos de superficies que no es posible crear sin romper los niveles de continuidad. Es por esto por lo que, muchas veces, hay que encontrar el equilibrio entre lo que se desea conseguir y lo que las curvas/superficies pueden proporcionar, variando ligeramente el modelo o las superficies adyacentes para mantener siempre los máximos niveles de calidad en los reflejos de luz y en la suavidad de las curvas.

Por último, es necesario resaltar la importancia de un renderizado de máxima calidad en el modelo. No hay que olvidar que, en la mayoría de las ocasiones, los modelos se crean con el fin de atraer al cliente y generar beneficios para la empresa en concepto de ventas. Es por esto por lo que el modelo debe impactar al cliente o en su caso al responsable del lanzamiento del proyecto desde el primer momento. Muchas veces no es posible realizar la fabricación de un modelo prototipo solo para visualizar las formas o colores de manera fidedigna. Es por esto por lo que este aspecto cobra cada vez más importancia para las empresas que se dedican a comercializar este tipo de productos.

Hoy en día, la mayoría de estas compañías realizan las revisiones de estos productos mediante la realidad virtual. El programa utilizado para los renderizados de nuestro modelo es el mismo que se emplea para la realización de estas visualizaciones. En ellas, el responsable de proyecto o, muchas veces, hasta el propio cliente, es capaz de apreciar la calidad y los acabados de las superficies de todas las partes del modelo de la misma manera que si se tratase de un modelo tangible.

7. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se van a estimar los costes que suponen la realización de este trabajo a nivel personal, material y de software.

Amortización parcial de equipos (1).....	300€
Licencia de Autodesk Alias (2)	1665€
Licencia de Autodesk VRED Design (3)	375€
Conexión a internet (4)	120€
Electricidad (5)	120€
Material de oficina (6)	50€
Mano de obra del diseñador (7)	7560€
Total	10190€

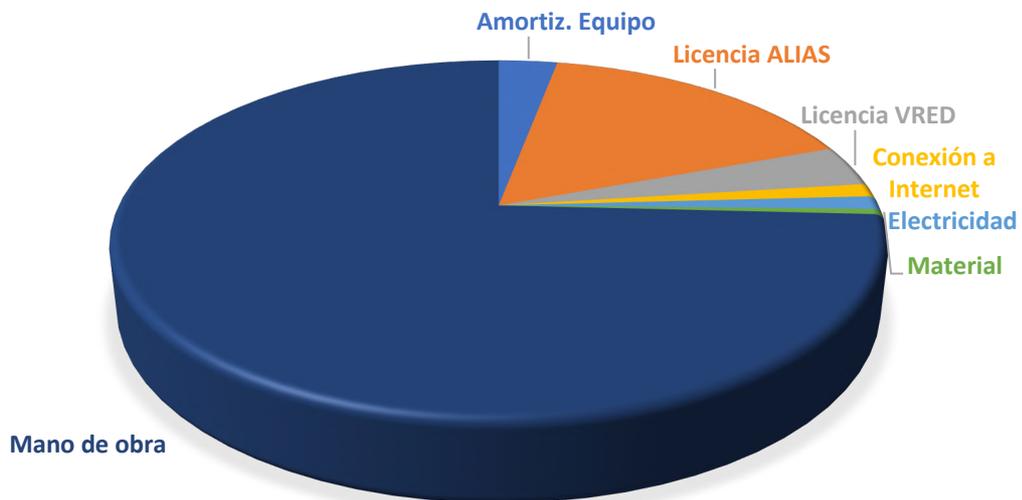


Gráfico 1 Diagrama circular de costes.

- (1) – Coste parcial de los equipos de alta gama necesarios para trabajar con fluidez en los programas de diseño 3D.

Requisitos recomendados por parte de la empresa para el correcto funcionamiento de los programas y precios medios del mercado:

- Procesadores Intel® Xeon™/Core® I7 o AMD® Ryzen™/Ryzen™ Threadripper™ ~ 280€
- 16 GB de Memoria RAM
- Tarjeta Gráfica NVIDIA GeForce RTX 2060 o superior ~ 400€

- (2) – Coste de una licencia de 3 meses de duración para el programa Autodesk Alias.

- (3) – Coste de una licencia de 1 mes de duración para el programa Autodesk VRED. El tiempo estimado de trabajo con este programa ha sido de unos 20 días, pero la licencia mínima que se puede adquirir es mensual.

- (4) – Coste estimado en el mercado alemán para una conexión de ~100MB de velocidad durante 3 meses. Coste mensual de 40€.

- (5) – Coste referente al consumo eléctrico tanto de equipos como de iluminación en el mercado alemán. Aproximadamente de 40€ mensuales teniendo en cuenta el menor número de horas de luz diarias.

- (6) – Coste del material como folios, bolígrafos y demás material de escritura.

- (7) – Coste estimado por las horas de trabajo por parte de un diseñador con cualificación universitaria. Coste aproximado bruto por hora de 20€ durante 3 meses (63 días laborables) con una jornada laboral de 6 horas diarias.

8. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre curvas de tipo NURBS y las aproximaciones. [1] ...	13
Figura 2. Elemento de fusión artístico-dimensional [1]	15
Figura 3. Definición de los puntos de control [1].....	15
Figura 4. Diferentes ejemplos de superficies y sus puntos de control acorde a la complejidad. [1]	16
Figura 5. Diagrama de evolución de la cantidad de puntos de control	16
Figura 6. Definición de “Span” o “Segment” [1].....	17
Figura 7. Superficie de múltiples tramos [1].....	17
Figura 8. Misma Curva: Single-Span (arriba) y Multi-Span (3 Span, abajo).....	18
Figura 9. Respuesta al mismo movimiento de puntos de control.....	18
Figura 10. Grado matemático [1]	19
Figura 11. Puntos de control y curvas isoparamétricas [1]	20
Figura 12. Direcciones U y V definidas en curva (izquierda) y superficie (derecha) [1].....	20
Figura 13. Normales a curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]	21
Figura 14. Ejemplos de curvas circulares precisas y de forma libre [1]	22
Figura 15. Tipos de circunferencias [1].....	22
Figura 16. Diferencia entre círculo No-Racional (izq.) y Racional (dcha.) [1] ..	23
Figura 17. Precisión en los círculos No-Racionales [1]	23
Figura 18. Modelado poligonal [1].....	24
Figura 19. Diferencias en la calidad de los reflejos (Modelado poligonal a la izquierda y modelado NURBS a la derecha) [1].....	25
Figura 20. Definición visual de los niveles de continuidad [1]	25
Figura 21. Continuidad de tipo G0 [1]	26
Figura 22. Continuidad de tipo G1 [1]	26
Figura 23. Continuidad de tipo G2 [1]	26
Figura 24. Continuidad de tipo G3 [1]	27
Figura 25 Ejemplo de alineación bilateral G3 con grado matemático mínimo.	27
Figura 26. Influencia del Factor de forma [1]	28
Figura 27. Ejemplo de superficies alineadas [1]	29
Figura 28. Ejemplo de superficies alineadas [1]	29
Figura 29. Esquema del proceso de modelado	31
Figura 30. Esquema del proceso de modelado [1]	32
Figura 31. Tolerancia máxima de espacio o GAP [1].....	33
Figura 32. Ejemplo de curvas básicas de un vehículo [1]	35
Figura 33. Descripción visual de los tipos de superficies [1]	36
Figura 34. Superficies primarias y secundarias en un modelo [1].....	36
Figura 35. Descripción visual de los tipos de superficies [1]	38

Figura 36. Ejemplo de modelo con los tres tipos de superficies [1]	38
Figura 37. Diferentes diagramas de peine [1].....	39
Figura 38. Definición de curvatura [1].....	39
Figura 39. Diferentes diagramas de peine [1].....	40
Figura 40. Descripción de los niveles de continuidad según los peines de curvatura [1].....	41
Figura 41. Diferentes resultados según la continuidad [1]	42
Figura 42. Representación de las líneas de reflexión [1]	42
Figura 43. Análisis de túnel de luz [1]	43
Figura 44. Análisis tipo Zebra Stripes [1]	43
Figura 45. Análisis mediante iso-ángulos [1].....	44
Figura 46. Análisis mediante diagramas de curvatura [1].....	45
Figura 47. Tipos de curvatura en elementos geométricos básicos [1]	46
Figura 48. Curvatura de mínimo o máximo [1]	47
Figura 49. Curvatura media [1].....	47
Figura 50. Identificación de superficies de silla o inflexiones [1]	48
Figura 51. Identificación de bordes utilizando diagramas de curvatura [1]....	49
Figura 52. Diferencia entre curva Single-Span (izq.) y Multi-Span (dcha.) [1].	51
Figura 53. Diferentes grados de curvas [1]	52
Figura 54. Resultado de un aumento del grado en condiciones de discontinuidad en una curva [1]	52
Figura 55. Círculos Multi-Span de grado matemático 2, 3, 4 y 5, de izq. a dcha. [1]	53
Figura 56. Superficie plana de cuatro lados [1]	53
Figura 57. Superficies grandes formadas por sub-superficies de cuatro lados [1]	54
Figura 58. Procedimiento de creación mediante superficies de cuatro lados [1]	54
Figura 59. Distribución de los puntos de control para el caso de una superficie de tres lados. Continuidad G1 (izq.) y G2 (dcha.) [1].....	55
Figura 60. Concepto de punto degenerado [1].....	55
Figura 61. Sellado de una esfera a partir de una superficie plana [1]	56
Figura 62. Superficie de cuatro lados con dos lados tangentes entre sí. [1] ..	56
Figura 63. Superficie con la forma recortada. [1]	57
Figura 64. Diferentes ejemplos de flujo de puntos de control [1].....	58
Figura 65. Espaciado de los puntos de control [1].....	58
Figura 66. Distancia entre los puntos de control y la curva [1].....	59
Figura 67. Puntos de inflexión [1].....	59
Figura 68. Diferentes flujos de puntos de control en una misma curva [1]....	60
Figura 69. Proceso de creación y ajuste de una curva a una forma deseada. [1]	61
Figura 70. Diferencias en la curvatura de curvas con pocos y muchos puntos de control. [1]	61

Figura 71. Diferentes soluciones para una misma superficie. [1]	62
Figura 72. Esquema de cantidad de puntos de control. [1]	63
Figura 73. Falta de continuidad de tipo cresta.....	63
Figura 74. Problema de tipo valle.....	64
Figura 75. Continuidad en tangencia.....	64
Figura 76. Ejemplo de superficies simétricas que no tocan el eje de simetría. [1]	65
Figura 77. Ejemplo de superficies simétricas que tocan o cruzan el eje de simetría. [1]	65
Figura 78. Superficie final. [1].....	66
Figura 79. Proceso de creación de superficies a partir de aristas de recorte. [1]	66
Figura 80. Manera correcta de obtener la superficie deseada. [1]	67
Figura 81. Obtención de formas complejas a través de intersección de superficies simples. [1].....	67
Figura 82. Definición de aristas enfrentadas. [1].....	68
Figura 83. Ejemplos de distribución de filas de puntos de control. [1]	68
Figura 84. Arreglo de la malla de puntos de control con cuatro aristas preexistentes. [1]	69
Figura 85 Ejemplos de productos creados mediante superficies de Clase A. [4]	71
Figura 86 Concept Car.....	72
Figura 87 Aeroboat S6 y SV12 (prototipo) [3].....	73
Figura 88 Aeroboat S6 [3]	74
Figura 89 Inventario de superficies.....	76
Figura 90 Configuración de tolerancias.....	77
Figura 91 Progresión del modelo en vista lateral. [3]	78
Figura 92 Referencias a utilizar. [3]	79
Figura 93 Selección de la vista.....	80
Figura 94 Opciones de importación.....	80
Figura 95 Proceso de escalado de referencias 1.....	81
Figura 96 Vista superior.....	81
Figura 97 Proceso de escalado de referencias 2.....	82
Figura 98 Vista 3D de los planos de referencia.....	82
Figura 99 Object List.....	83
Figura 100 Creación de la curva de la Roda de popa.....	84
Figura 101 Creación de la curva de fondo de casco.....	84
Figura 102 Creación de la curva de cubierta.....	85
Figura 103 Comprobación mediante diagrama de peine.....	85
Figura 104 Análisis de curvatura correcto.....	86
Figura 105 Ejemplo de curvatura incorrecta.....	86
Figura 106 Pie de Roda. [1]	87
Figura 107 Tipos de curvas.....	87

Figura 108 Superficie principal del casco. [1]	88
Figura 109 Curva exterior del casco.....	88
Figura 110 Coincidencia de extremos.....	89
Figura 111 Curva inferior del casco.....	89
Figura 112 Desplazamiento vertical. Curva inferior del casco.....	90
Figura 113 Versión acabada. Curva inferior del casco.	90
Figura 114 Curvas de popa del casco.....	91
Figura 115 Herramienta Blend	91
Figura 116 Alineación manual.....	92
Figura 117 Creación de la curva Blend.....	92
Figura 118 Forma final del Pie de Roda.....	93
Figura 119 Análisis de curvatura.....	93
Figura 120 Herramienta Square.....	94
Figura 121 Pestaña Explicit Control.....	94
Figura 122 Superficie superior del casco.....	95
Figura 123 Selección de la superficie.....	96
Figura 124 Continuidad de tipo G0 en la arista compartida.....	96
Figura 125 Superficies básicas para recorte.....	97
Figura 126 Herramienta Project.....	97
Figura 127 Proyección de la curva del Pie de Roda.....	98
Figura 128 Herramienta Trim.....	98
Figura 129 Recorte del Pie de Roda.....	98
Figura 130 Superficie del casco defectuosa.....	99
Figura 131 Superficie inferior del casco correctamente creada.....	99
Figura 132 Análisis de continuidad G0.....	99
Figura 133 Superficies básicas del casco.....	100
Figura 134 Creación de la superficie de cubierta con MS Draft.....	101
Figura 135 Curvado de la superficie de cubierta.....	101
Figura 136 Conjunto de superficies Casco-Cubierta.....	101
Figura 137 Vista en planta del barco.....	102
Figura 138 Localización de las curvas superior e inferior del parabrisas. ...	102
Figura 139 Herramienta Circle.....	103
Figura 140 Sección circular. Superficie del parabrisas.....	103
Figura 141 Arista inferior de la superficie del parabrisas.....	104
Figura 142 Aristas superior e inferior del parabrisas.....	104
Figura 143 Cuadro de diálogo de la herramienta Project.....	105
Figura 144 Curva inferior proyectada en la cubierta.....	105
Figura 145 Ajuste de la curva superior del parabrisas.....	106
Figura 146 Diferencia de longitudes.....	106
Figura 147 Escaleras retráctiles. [3]	107
Figura 148 Curvas básicas. Cola de cubierta.....	107
Figura 149 Superficies básicas. Cola de cubierta.....	108
Figura 150 Recorte de las superficies básicas.....	108

Figura 151 Curva de unión superior.....	108
Figura 152 Curva superior alineada en tangencia.....	109
Figura 153 Herramienta Align.....	109
Figura 154 Curvas de unión entre el parabrisas y la cola de cubierta.....	109
Figura 155 Sección central de la superficie de unión del parabrisas.....	110
Figura 156 Creación de superficies con la herramienta Skin.....	111
Figura 157 Herramienta Duplicate.....	111
Figura 158 Superficie plana de unión del parabrisas.....	111
Figura 159 Creación de la segunda superficie de unión parabrisas-cola de cubierta.....	112
Figura 160 Análisis de continuidad en tangencia entre superficies.....	112
Figura 161 Modelo de bloques con las superficies sin recortar.....	113
Figura 162 Modelo de bloques recortado.....	113
Figura 163 Modelo de bloques finalizado.....	114
Figura 164 Deficiente estructura interna de las superficies del casco.....	115
Figura 165 Paleta Transform CV.....	116
Figura 166 Estructura interna ordenada de las superficies del casco.....	116
Figura 167 Herramienta Surface Fillet.....	117
Figura 168 Selección de superficies.....	117
Figura 169 Influencia del factor de forma.....	118
Figura 170 Resultado de la operación de redondeo con los marcadores de continuidad en curvatura.....	118
Figura 171 Superficie de conexión. [3].....	119
Figura 172 Superficie creada automáticamente.....	119
Figura 173 Resultado del redondeo superior con los marcadores de continuidad en curvatura.....	120
Figura 174 Superficie de unión de las dos mitades del casco.....	120
Figura 175 Detalles de unión de la cubierta.....	121
Figura 176 Curvas de detalle en las superficies del casco.....	121
Figura 177 Redondeo de las curvas del detalle.....	122
Figura 178 CurveFit para tres Span de grado cinco.....	123
Figura 179 FitCurve para la curva Mono-Span.....	123
Figura 180 FitCurve en todos los tramos de curva.....	123
Figura 181 Serie de curvas y perfil de detalle.....	124
Figura 182 Modificación proporcional de los puntos de control.....	124
Figura 183 Herramienta Rail.....	125
Figura 184 Creación de las superficies temporales.....	125
Figura 185 Perfiles extraídos de las superficies temporales.....	125
Figura 186 Problema de continuidad solucionado mediante manipulación de puntos de control.....	126
Figura 187 Relación entre una estructura interna ordenada y unas reflexiones de la luz óptimas.....	127
Figura 188 Plataforma básica temporal.....	128

Figura 189 Duplicado de perfiles para las superficies de la plataforma de popa.	128
Figura 190 Superficies de la plataforma con redondeos continuos en curvatura.	129
Figura 191 Casco recortado con detalle superior y plataforma.	129
Figura 192 Arista interior del detalle proyectada.	130
Figura 193 Cubierta final recortada.	130
Figura 194 Esqueleto de las superficies de unión - cola.	131
Figura 195 Redondeo de cola. [3]	131
Figura 196 Curvas Blend del redondeo de cola.	131
Figura 197 Proyección de la curva sobre la superficie de cubierta	132
Figura 198 Mejora de la arista inferior de la superficie de unión.	133
Figura 199 Mejora de la arista inferior de la superficie de unión.	133
Figura 200 Límite superior del parabrisas y aristas inferior y superior de la superficie de unión.	134
Figura 201 Curvas básicas de perfiles y recta auxiliar de alineación.	134
Figura 202 Curvas finales de perfiles.	135
Figura 203 Superficie básica de la unión cubierta-parabrisas.	135
Figura 204 Opción Project dentro del menú contextual de la herramienta Align.	135
Figura 205 Superficie de unión alineada en curvatura.	136
Figura 206 Superficie de unión completa.	136
Figura 207 Curvas de recorte en vista de planta (sup) y alzado (inf).	137
Figura 208 Redondeo en las curvas proyectadas.	137
Figura 209 Superficies de cubierta y unión recortadas.	138
Figura 210 Redondeo de los ángulos de cola y superficie intermedia.	138
Figura 211 Superficies de redondeo de cola.	139
Figura 212 Estado del modelo tras la creación de las superficies de unión y cola.	139
Figura 213 Pequeño borde sobre la superficie de unión.	140
Figura 214 Superficie acristalada completa del parabrisas.	140
Figura 215 Herramienta Free Form Blend.	141
Figura 216 Superficie Free Form Blend.	141
Figura 217 Superficie trasera del soporte del parabrisas.	142
Figura 218 Superficie de soporte del parabrisas recortada.	142
Figura 219 Superficie de unión soportes - parabrisas.	143
Figura 220 Superficies finales del parabrisas recortadas.	143
Figura 221 Vista trasera de la zona de la cola. [3]	144
Figura 222 Superficie de transición con MS Draft.	144
Figura 223 Perfiles de la superficie de transición.	145
Figura 224 Superficie final de transición.	145
Figura 225 Superficie de conexión de cola - plataforma.	146
Figura 226 Curvas de unión.	146

Figura 227 Curvas de redondeo del detalle de cola.	146
Figura 228 Superficie curva del detalle de cola.	147
Figura 229 Superficie de unión del casco con el centro del barco. [3]	147
Figura 230 Curvas de detalle de las escaleras.....	148
Figura 231 Curvas Blend del detalle de las escaleras.....	148
Figura 232 Superficies curvas de unión del casco con la zona central del barco.	149
Figura 233 Configuración de la herramienta Surface Fillet para los redondeos.	150
Figura 234 Resultados de los primeros redondeos.	151
Figura 235 Modificación manual de los puntos de control para obtener las condiciones de continuidad deseadas.....	151
Figura 236 Redondeo inferior de la unión casco - detalle de cubierta.....	152
Figura 237 Ejemplos de diferentes redondeos dentro del barco.....	153
Figura 238 Vista frontal superior bajo el análisis de túnel de luz.	154
Figura 239 Detalle del redondeo de proa de la cubierta con el casco bajo el análisis de túnel de luz.	155
Figura 240 Detalle de continuidad entre la superficie de soporte del parabrisas con la superficie de unión bajo el análisis de túnel de luz.	156
Figura 241 Superficie de unión cubierta – parabrisas bajo el análisis de túnel de luz.....	156
Figura 242 Detalle de la plataforma trasera y sus redondeos bajo en análisis de iso-ángulos.	157
Figura 243 Comprobación de simetrías mediante el análisis de iso-ángulos.	157
Figura 244 Análisis de curvatura al modelo completo.....	158
Figura 245 Influencia de la suavidad del cambio de curvatura en la forma de los reflejos.	158
Figura 246 Clasificación por colores de los tipos de superficies.	160
Figura 247 Detalles de la clasificación por colores de las superficies.	161

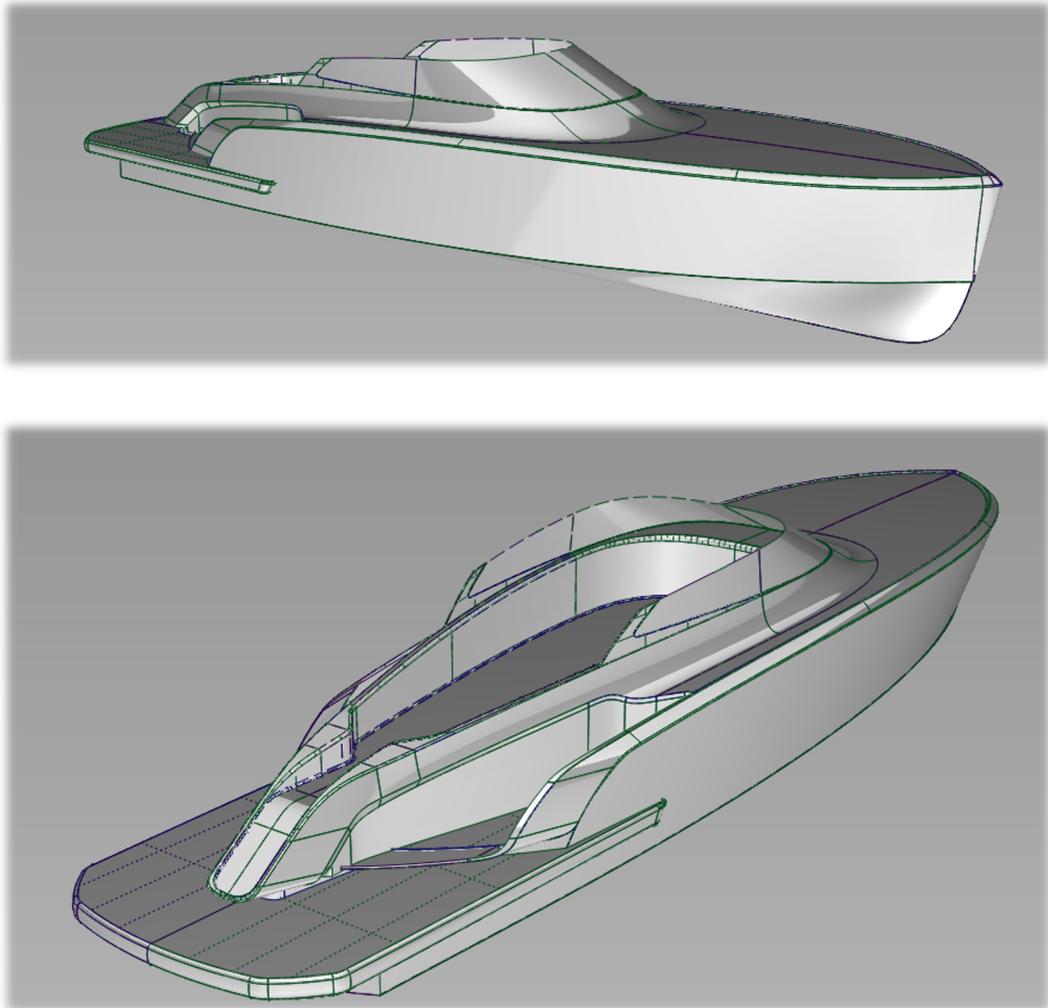
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Autodesk Help, *Alias Foundation Tutorials*. [En línea] Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-358AC713-21D6-40B5-9C43-74D26334B3F0-htm.html?v=2021> [Último acceso 29/01/2021]
- [2] Autodesk Help, *VRED Help Home Page*. [En línea] Disponible en: <https://help.autodesk.com/view/VREDPRODUCTS/2020/ENU/> [Último acceso 02/02/2021]
- [3] Aeroboat, *Aeroboat S6 y SV12*. [En línea] Disponible en: <http://aeroboat.co.uk/> [Último acceso 19/12/2020]
- [4] Space X, *Payload Starship* [En línea] Disponible en: <https://www.spacex.com/vehicles/starship> [Último acceso 11/12/2020]
- [5] Burgueno, R. *Alias to Vred for Real time Visualization and VR*. 2018 [En línea] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=beHPKwybtI> [Último acceso 02/02/2021]
- [6] Lindehell, T *Autodesk VRED basic render and render passes*. 2018 [En línea] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XgNTf8cEBlo> [Último acceso 02/02/2021]
- [7] Graphisoft Help, *Oclusión Ambiental*. 2019 [En línea] Disponible en: https://help.graphisoft.com/AC/23/SPA/AC23_Help/132_CineRenderDetailed/132_CineRenderDetailed-10.htm [Último acceso 05/02/2021]
- [8] Tickoo, S. (2016) *Learning Autodesk Alias Design*. CAD-CIM Technologies USA. 5ª Edición.
- [9] Bartolomé Lorenzo, M. (2020) *Diseño con superficies de Clase A con CATIA ICEM Shape Design*.

ANEXO I. RENDERIZADO CON AUTODESK VRED

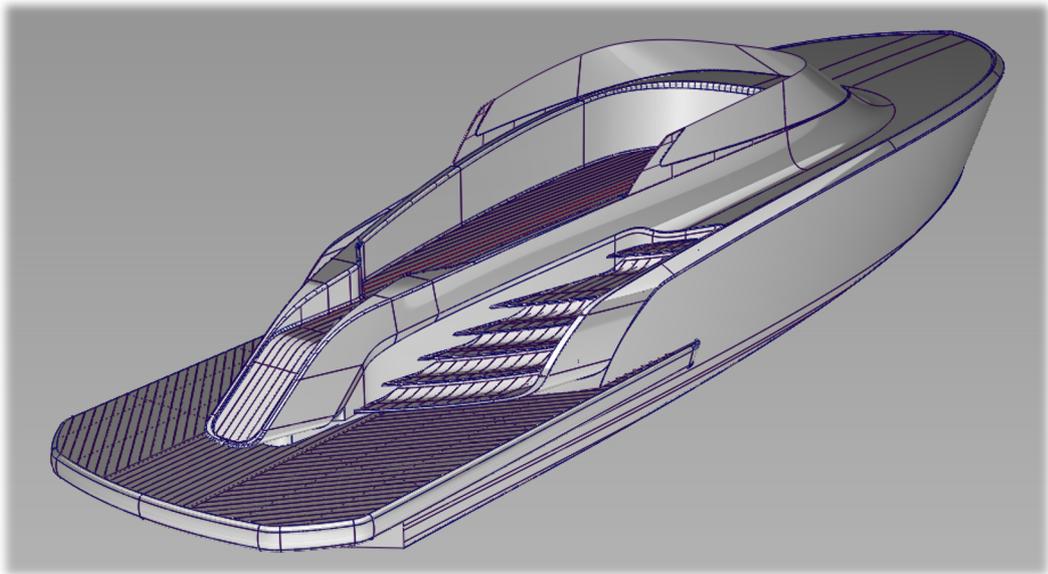
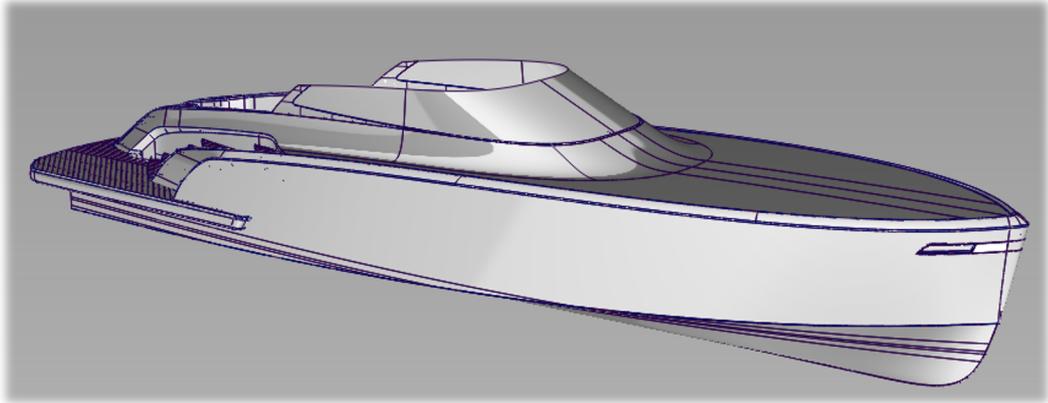
Tras el análisis de reflejos y la clasificación de los diferentes tipos de superficies el modelo estaba formado por 224 superficies y tenía el siguiente aspecto:



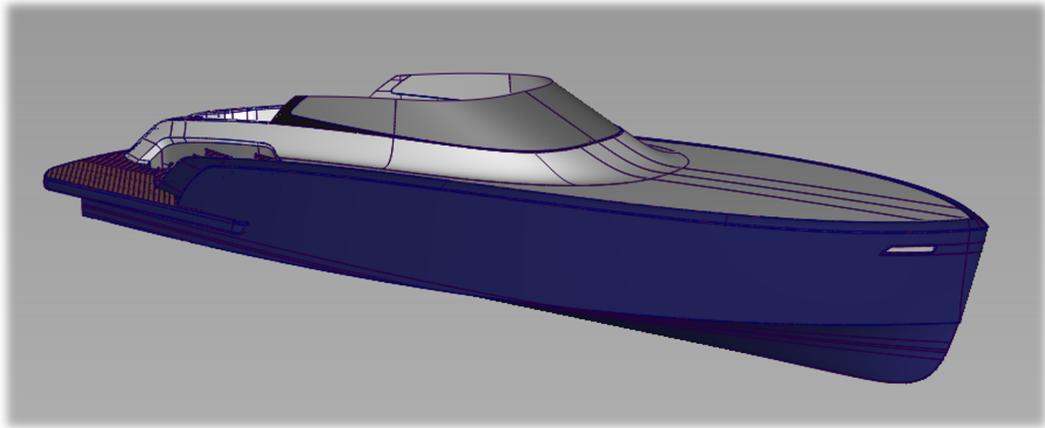
En este modelo están representadas todas las superficies que poseen especial interés respecto a los reflejos de luz y condiciones de continuidad entre superficies. No obstante, este modelo tiene un aspecto un tanto vacío y simple para realizar los renderizados de alta calidad.

Es por esto por lo que se ha evolucionado este modelo a uno más detallado del que obtener imágenes que se aproximen lo máximo posible a las que teníamos disponibles del barco real.

Este modelo detallado está formado por 750 superficies y tiene el siguiente aspecto:



Pese a poder colorear de manera sencilla las superficies para obtener un resultado más agradable a la vista dentro del propio programa, el modelo sigue sin estar expresado al máximo desde el punto de vista estético.



Esta es una de las razones por las que el renderizado se convierte en una fase muy importante después del modelado de este tipo de superficies.

Antes de poder importar este modelo en *Autodesk VRED* hay que llevar a cabo una serie de pasos previos:

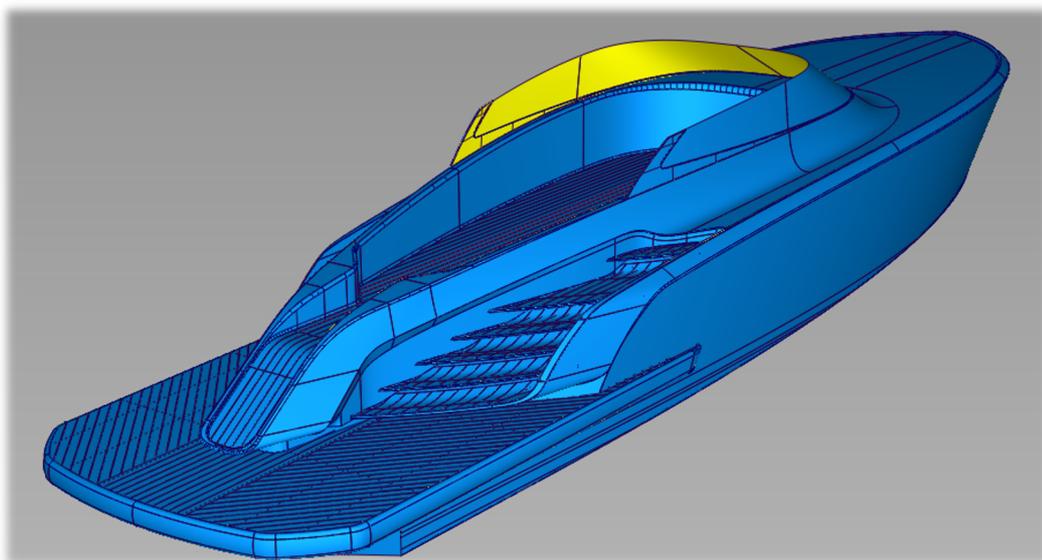
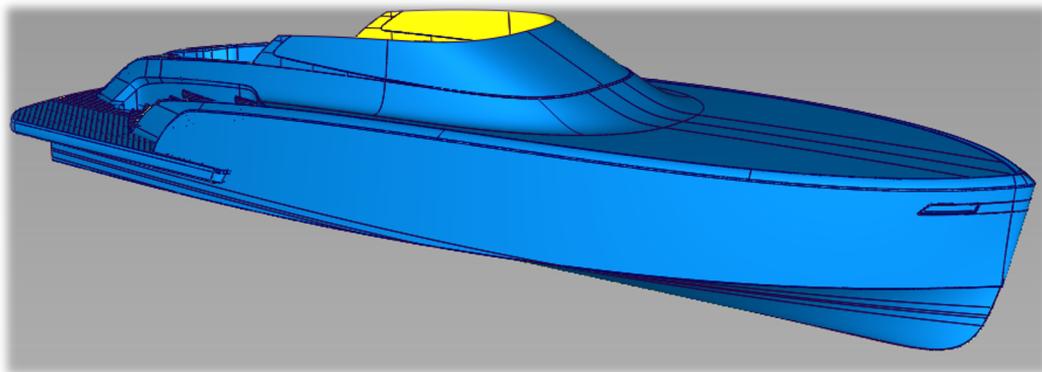
1. Agrupación y ordenación de las superficies dentro del *Object Lister*. Por suerte, este proceso lo hemos ido realizando conforme íbamos creando el modelo y no tenemos que rehacerlo para las 750 superficies.
2. Ajuste de las normales de las superficies. Este punto es crucial a la hora de realizar los renderizados ya que, de esta manera, estamos comunicando al programa qué cara de la superficie está expuesta a la luz y cual hacia el interior. Llevando a cabo este paso no tendremos problemas a la hora de calcular las sombras.

Para poder visualizar la dirección de las normales existe una herramienta dentro de Alias llamada *Visual Surface Orientation Tool*.



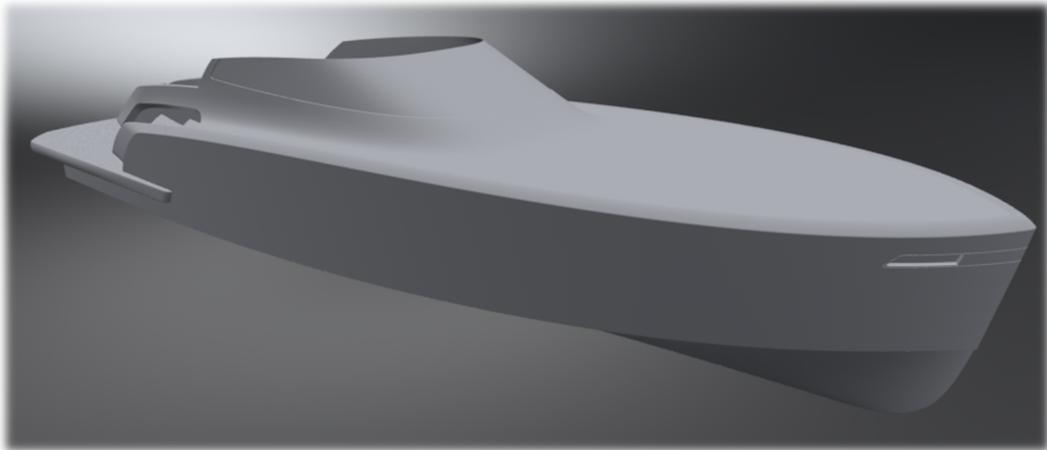
Las superficies de color amarillo tendrán la normal apuntando hacia dentro del modelo y las azules (las que necesitamos) apuntando hacia afuera, estando en contacto con la luz.

Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.

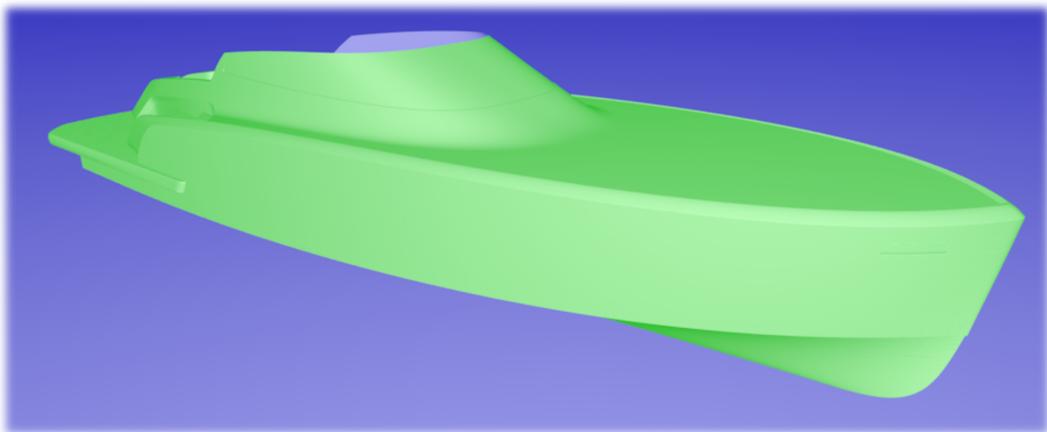


Llegado este punto, podemos importar el archivo para abrirlo con *Autodesk VRED*.

El aspecto con el que nos aparece es el siguiente:



De nuevo, debemos comprobar que, en este programa, las normales siguen apuntando en dirección correcta. En este caso, el color que buscamos en las superficies es el verde.



Lo siguiente que debemos hacer es calcular la oclusión ambiental. Para aclarar este término vamos a recurrir a la definición que aparece dentro de la ayuda de otro de los programas existentes para el renderizado de modelos:

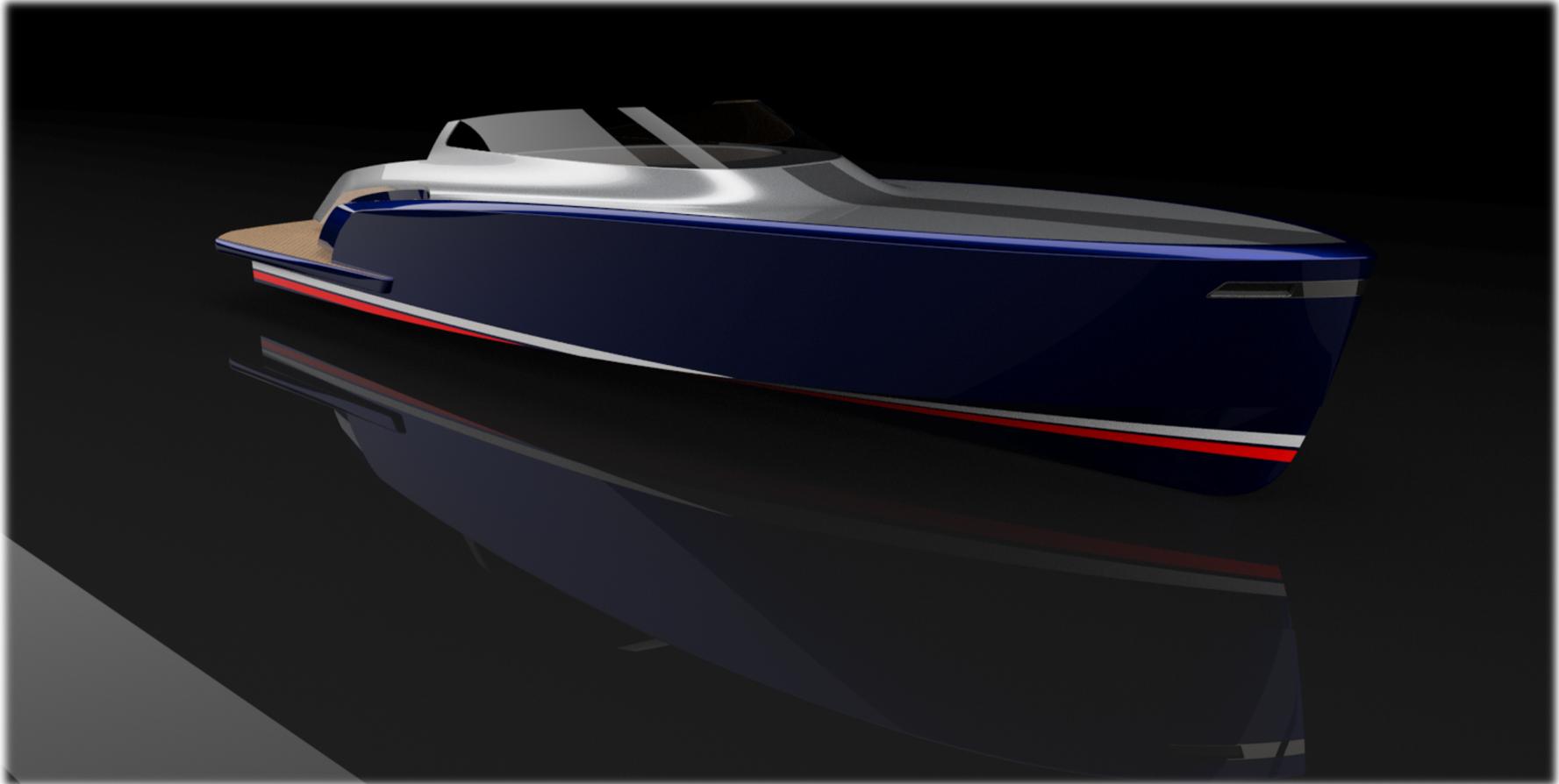
“La Oclusión Ambiental (OA) determina el grado al que está expuesto cada punto de la superficie visible y lo oscurece en consecuencia. (...) Digamos que su escena está rodeada por todos lados por un cielo. Las zonas en esquinas, huecos y áreas entre objetos colocados muy cerca unos de otros verán menos el cielo y por lo tanto serán oscurecidos de acuerdo con los ajustes de OA.” [7]



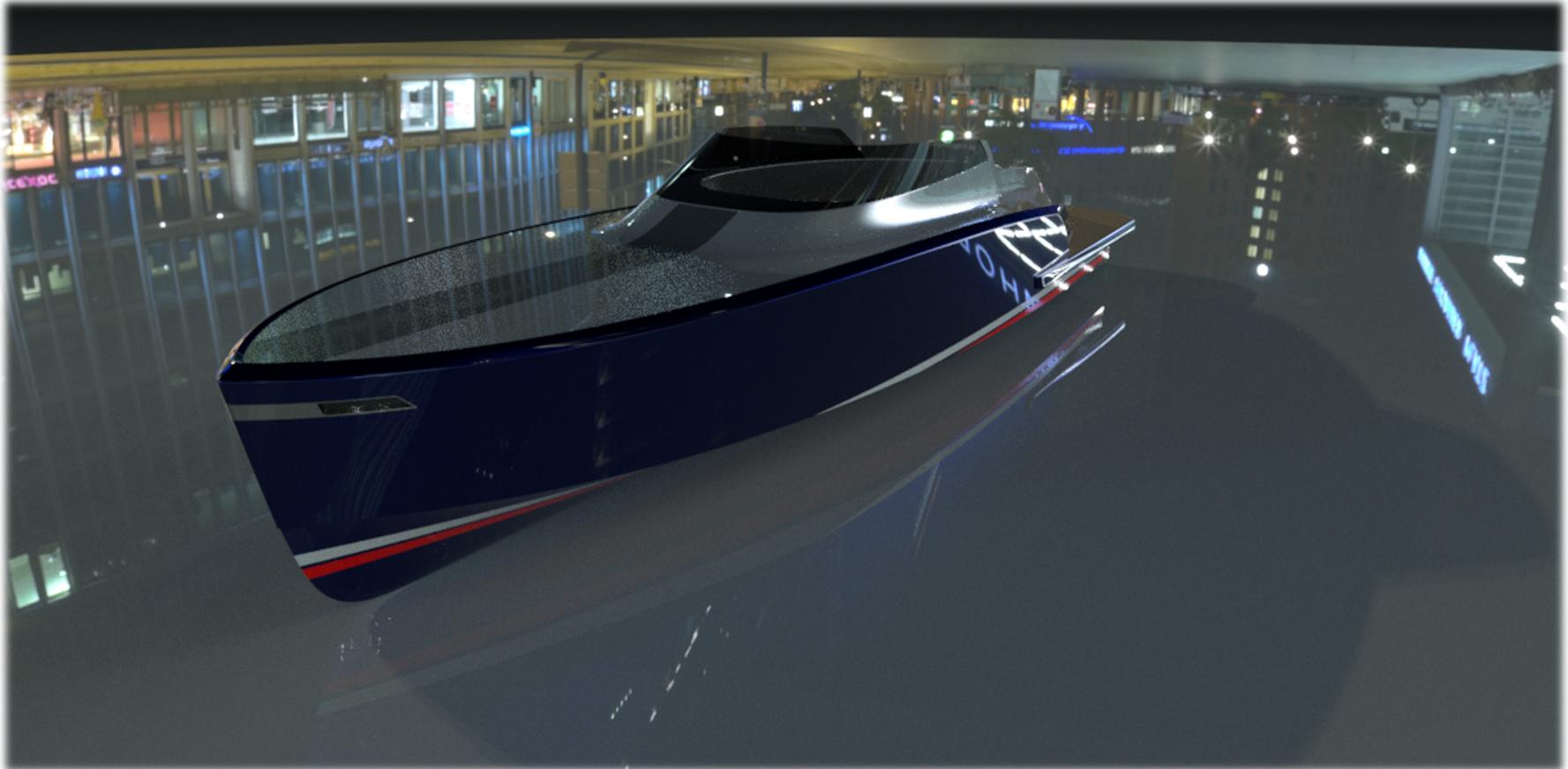
Esta es una de las partes más importantes del renderizado, puesto que es la que aporta el aspecto realista a nuestro modelo una vez apliquemos los materiales.

A continuación, aplicamos los materiales y comenzamos con los renderizados:

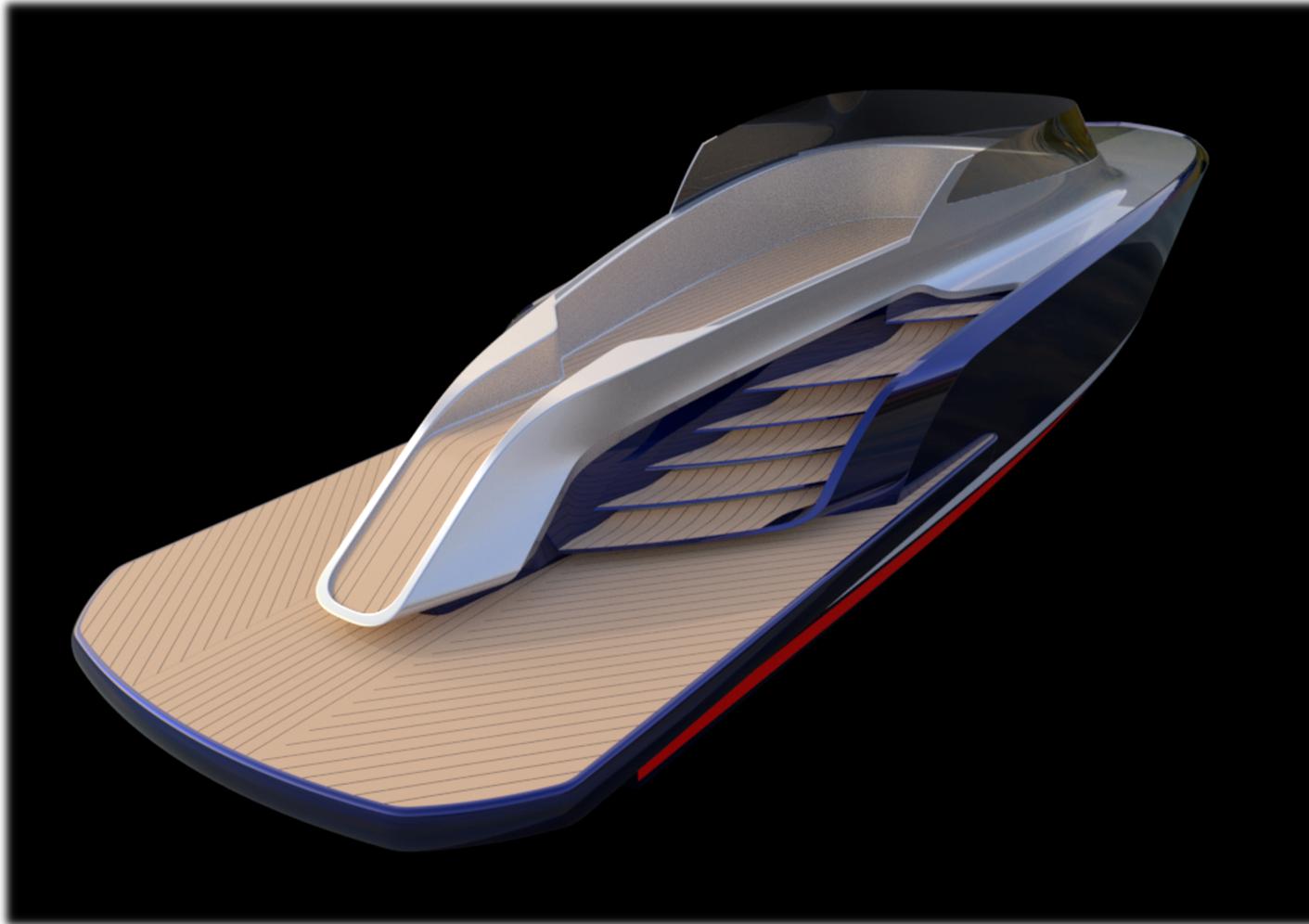
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



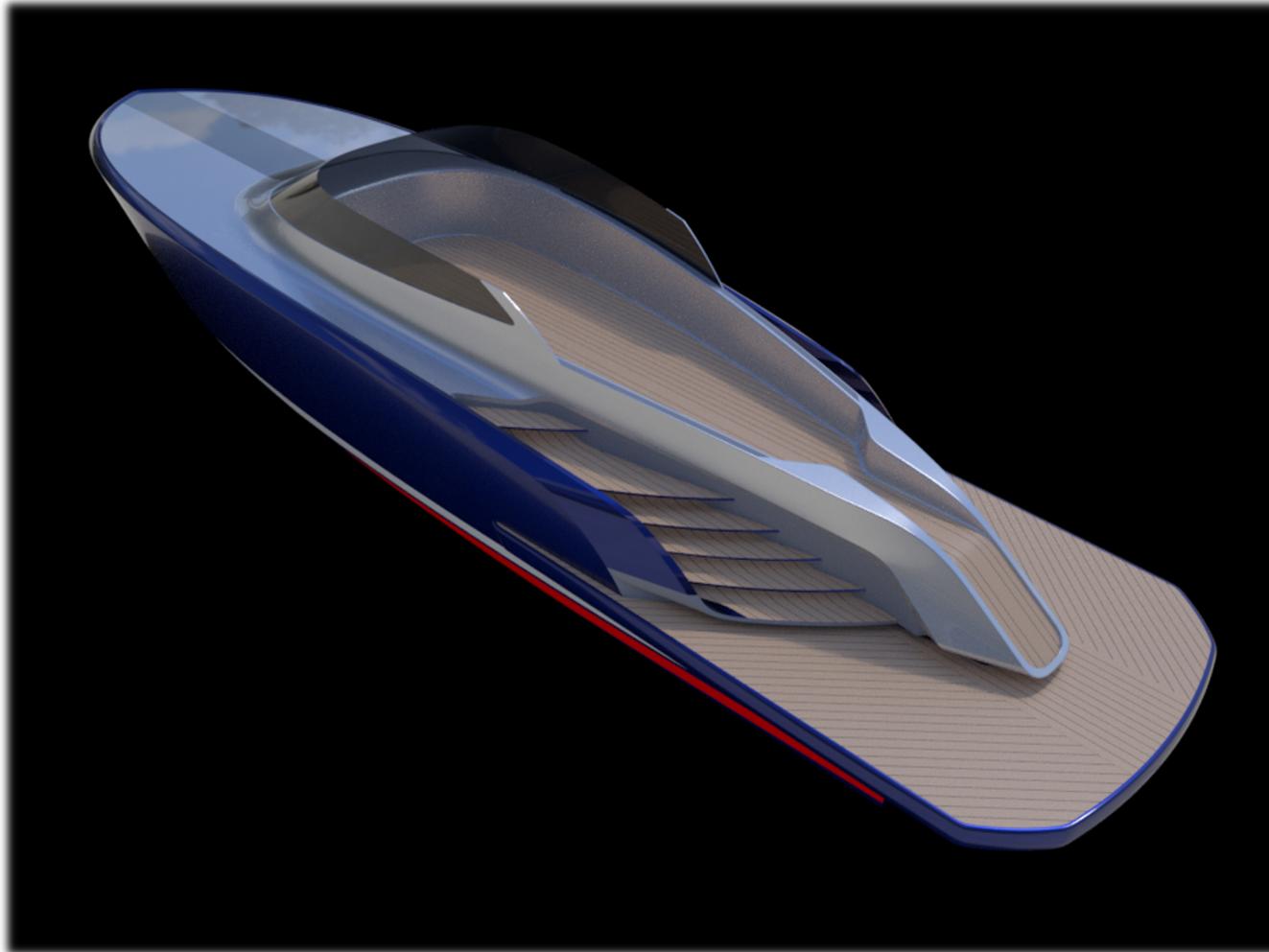
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



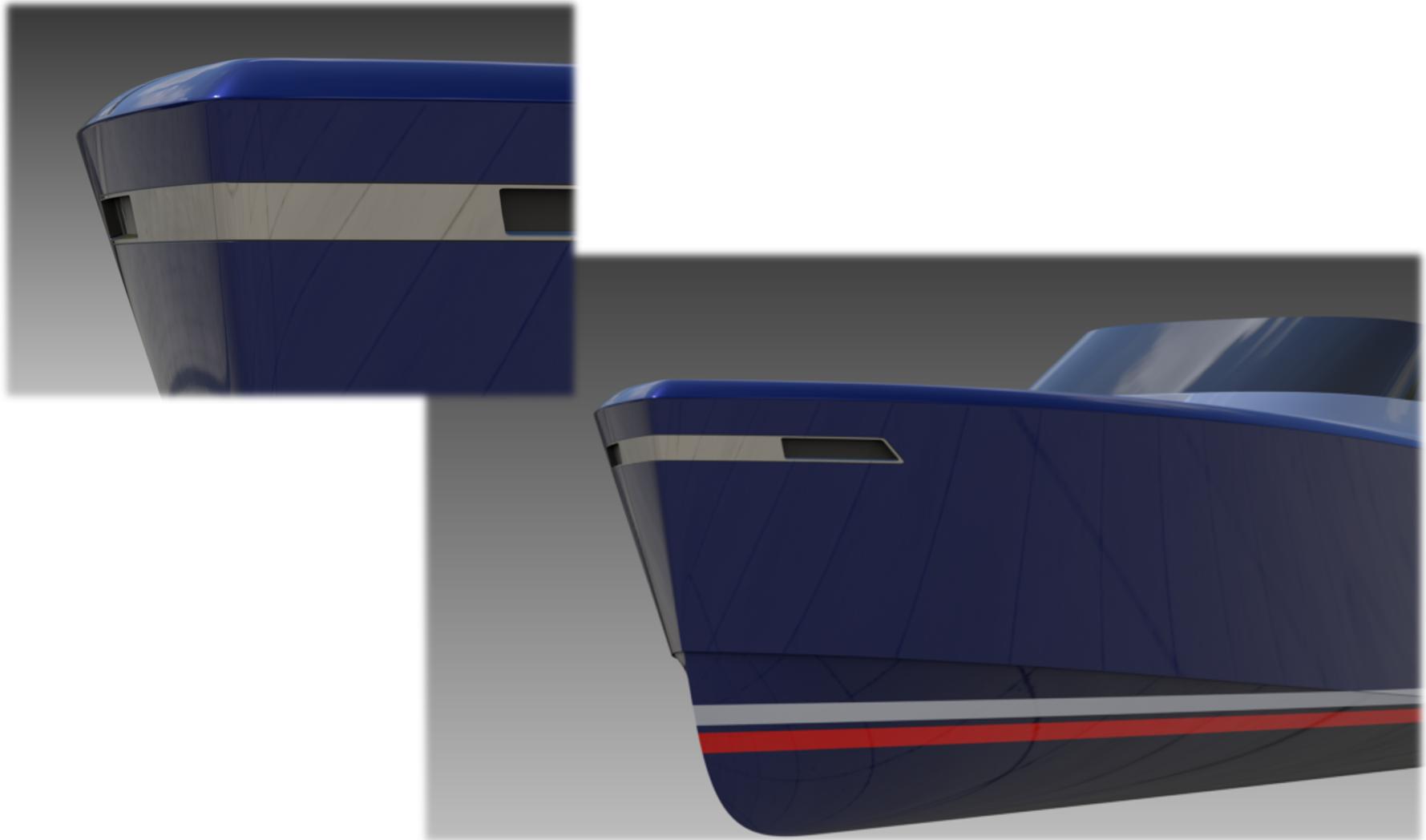
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



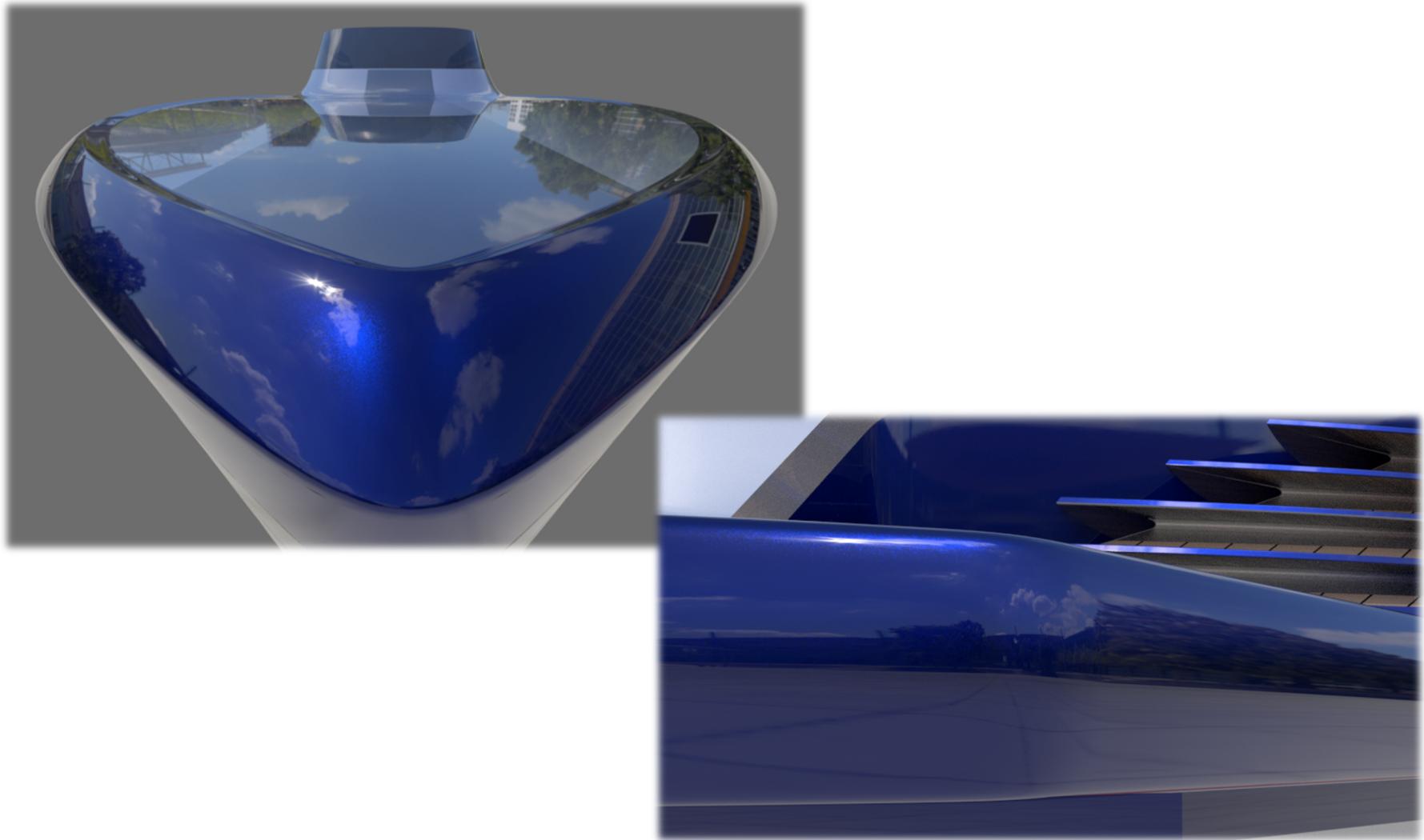
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



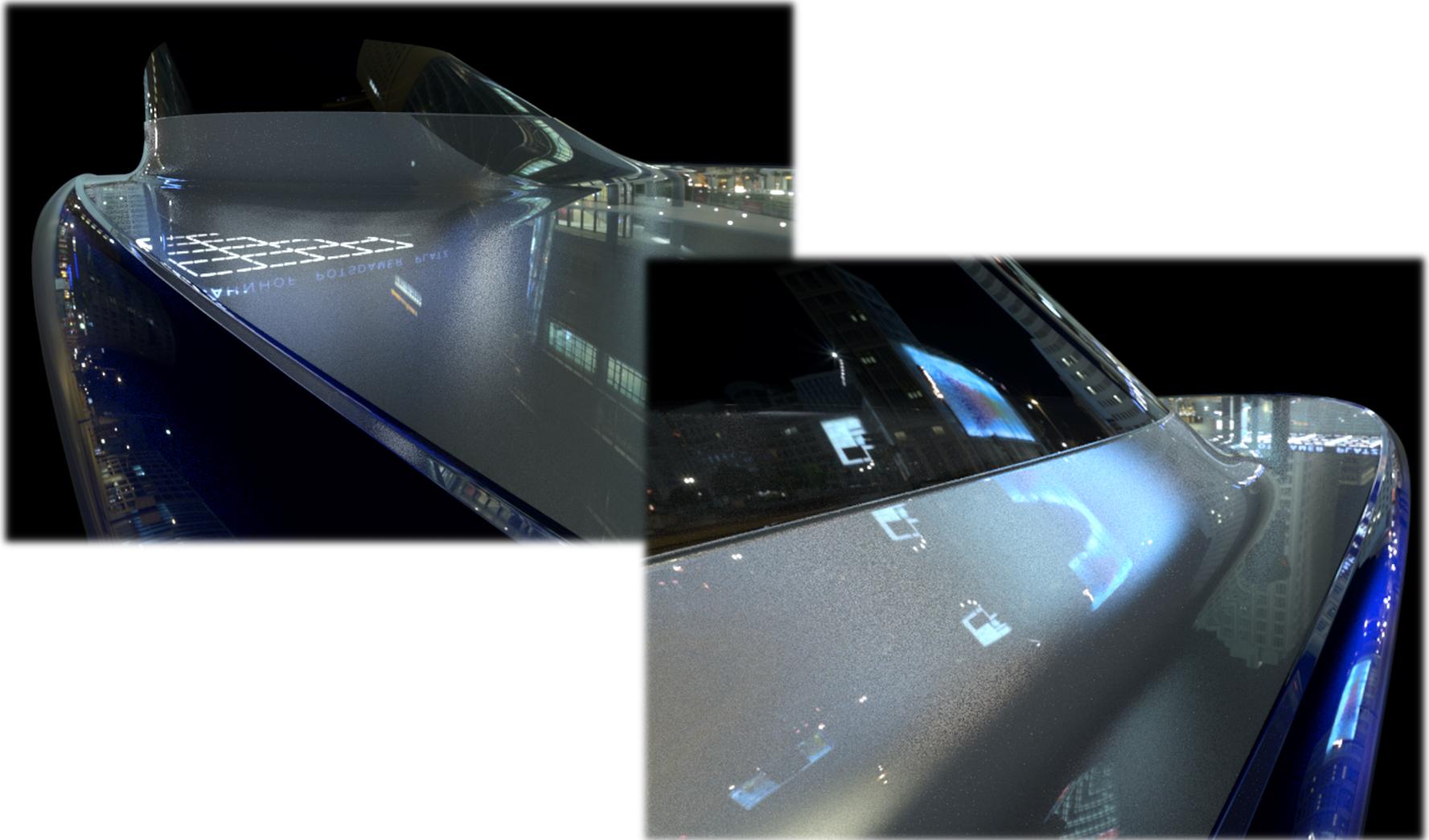
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



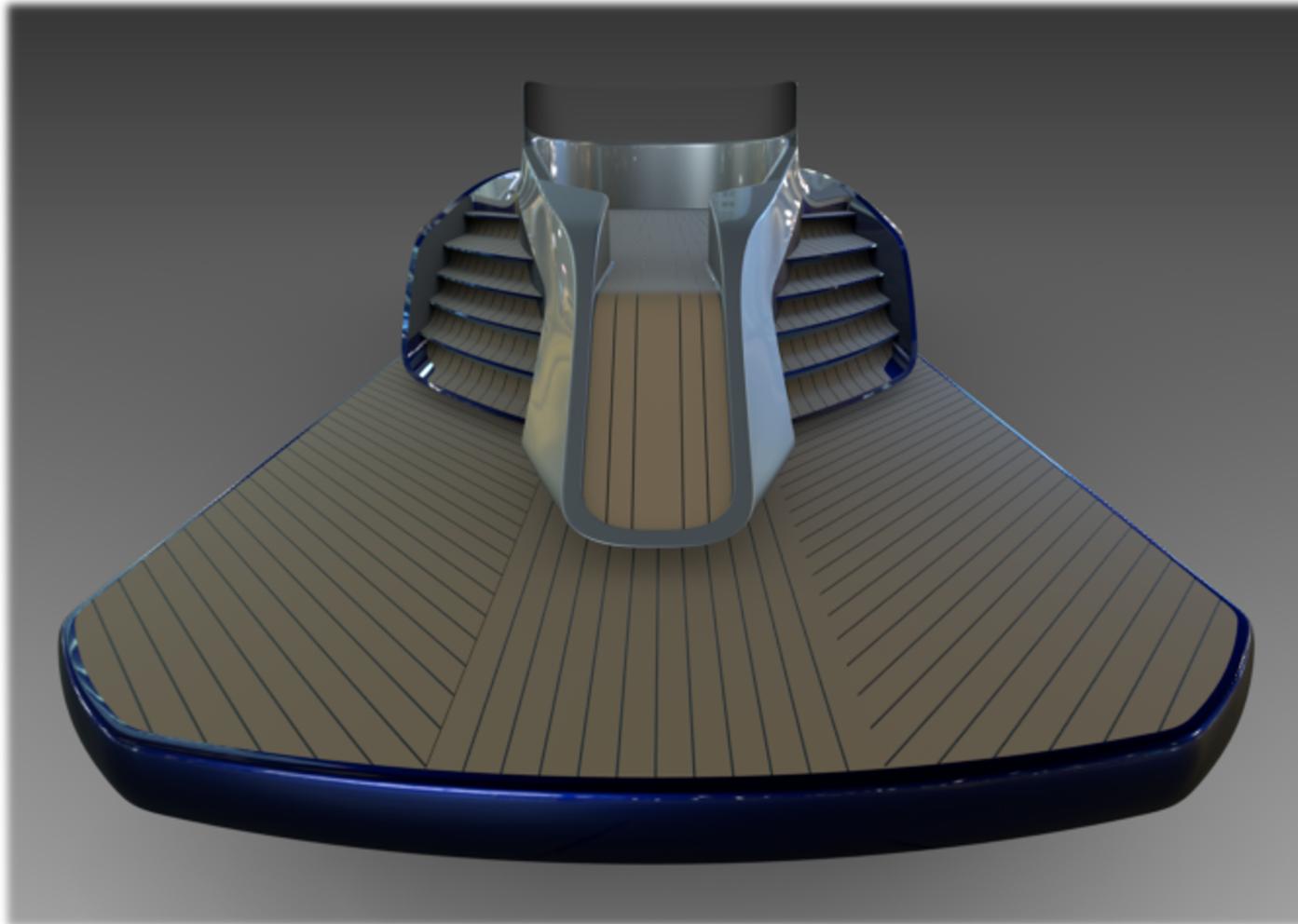
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



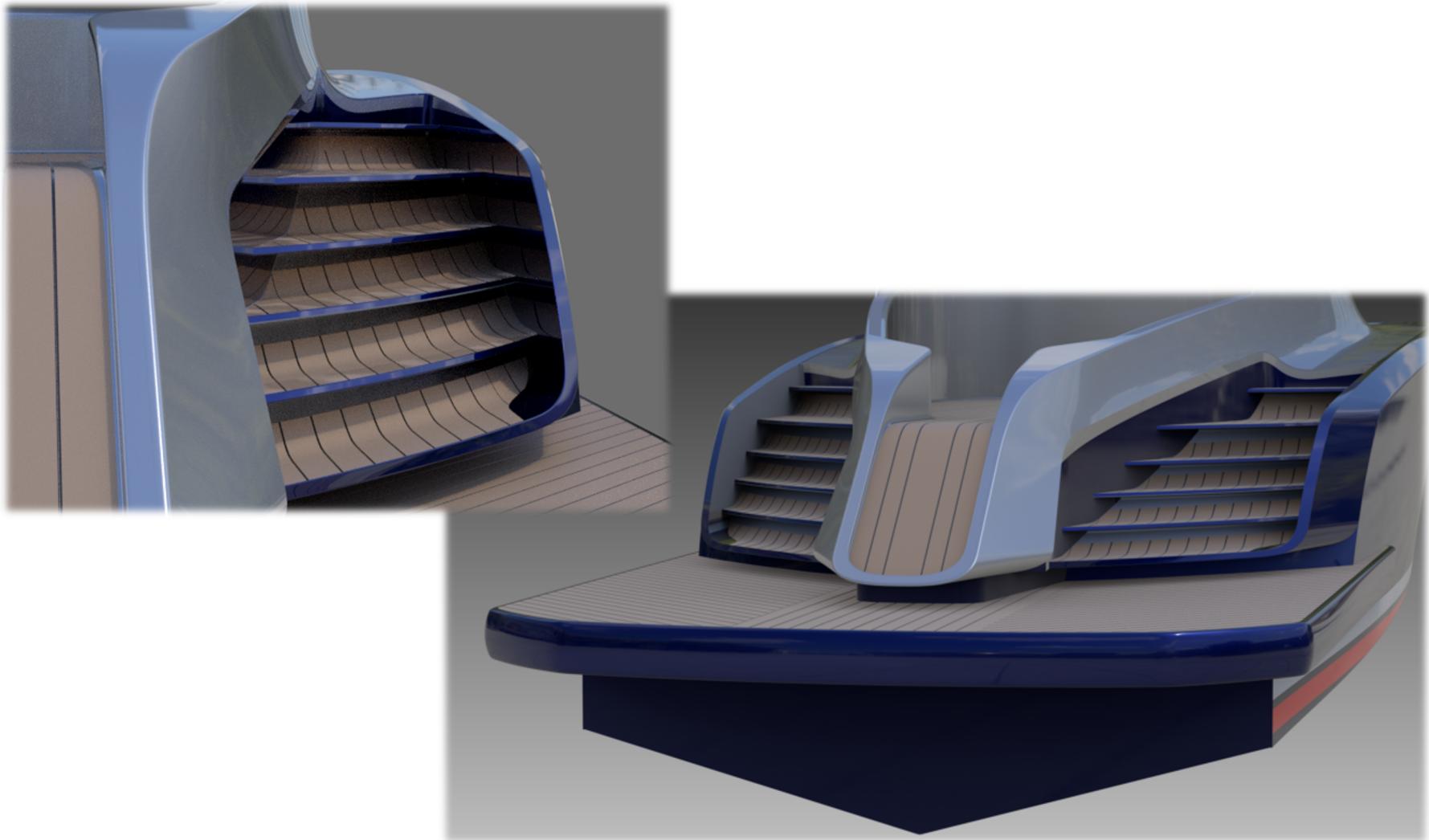
Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



Diseño con superficies de clase A. Metodología de trabajo, propuesta de manual y aplicación práctica en Autodesk Alias.



