



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**MODELADO DE SUPERFICIES DE
CLASE A CON ICEM SHAPE DESIGN
DE CATIA V5**

Autor:

Zamarrón Ledo, Jonathan

Tutor:

Prádanos del Pico, Roberto Enrique

CMelM / Expresión gráfica en la
ingeniería

Valladolid. Febrero 2021

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, Francisco y Ana Isabel, el gran apoyo que me han brindado todos estos años, su total confianza depositada en mí y el gran esfuerzo que han realizado y realizan para que yo tenga oportunidades que ellos en su época no pudieron tener. En ellos he encontrado los mejores maestros posibles y a cambio, solo puedo ofrecerles la promesa de que dedicare todo mi esfuerzo a hacerlos sentir orgullosos del hombre que ellos han construido durante años.

También quiero agradecer a la gente de mi pueblo, Arroyo de Cuéllar, tanto amigos, como familiares y vecinos, de los que siempre he obtenido palabras de apoyo y confianza.

Por supuesto, quiero mencionar a los compañeros y compañeras que he tenido la suerte de conocer a lo largo de estos cuatro años en las aulas de la Escuela de Ingenierías Industriales, de los que he aprendido mucho. En especial me gustaria mencionar a mis dos grandes compañeros de batalla, Pablo Arranz y Alberto Rodríguez, dos compañeros y amigos con los que he compartido muchas horas y momentos, tanto de sufrimiento como de alegría. Ambos me han enseñado lo que significa ser un gran estudiante y ahora no me cabe duda de que enseñarán al mundo lo que es ser un gran ingeniero.

Finalmente, quiero agradecer a los profesores Juan Manuel Sanz Arranz y Roberto Enrique Prádanos del Pico por la confianza mostrada al concederme la oportunidad de realizar este proyecto con ellos.

Resumen

El modelado de superficies de clase A está destinado a lograr resultados de gran calidad estética. En este tipo de superficies la calidad estética está ligada a una buena continuidad entre las superficies que forman el modelo. Para ello es necesario seguir un flujo de trabajo bien planificado y ordenado, así como cumplir con una serie de reglas o indicaciones, de modo que, además de conseguir buenos resultados, se logre que el modelador realice su labor de la manera más cómoda y eficiente posible.

Para llevar a la práctica las ideas anteriores hay una gran cantidad de herramientas de modelado disponibles en el programa comercial de diseño asistido por ordenador CATIA V5 de Dassault Systèmes. Especialmente las pertenecientes al módulo ICEM Shape Design, destinado a modelar y diseñar con curvas y superficies de alta calidad como son las superficies de clase A.

Palabras clave

ICEM Shape Design de CATIA V5, superficies de clase A, continuidad, calidad superficial, puntos de control.

Abstract

The modelling of class A surfaces is intended to achieve results of high aesthetic quality. In this type of surface, aesthetic quality is linked to a good continuity between the surfaces that form the model. For this it is necessary to follow a well-planned and orderly workflow and to comply with a series of rules or indications, so that, in addition to achieving good results, the modeller can carry out his work as comfortably and efficiently as possible.

To put the above ideas into practice, there are a large number of modelling tools available in the commercial computer-aided design software CATIA V5 from Dassault Systèmes. Especially those belonging to the ICEM Shape Design module for modelling and designing with high quality curves and surfaces such as Class A surfaces.

Key words

ICEM Shape Design from CATIA V5, class A surfaces, continuity, surface quality, control points.

Objetivos

En el presente proyecto se tratará el modelado de superficies con un nivel elevado de exigencia estética, es decir, las superficies de clase A. Se abordará el tema desde un punto de vista mayoritariamente práctico, enfocado a dar las claves y métodos de actuación para obtener buenos resultados con dichas superficies.

En primer lugar, se hablará brevemente del modelado de superficies de clase A desde un punto de vista teórico, dando la definición de superficie de clase A y las exigencias que este tipo de superficie requiere. Se presentarán las ideas básicas en las que se apoya el funcionamiento de estas superficies, necesarias para un buen desarrollo y entendimiento del proyecto.

Por otro lado, una vez conocidas las ideas con las que se trabajará, se presentará y desarrollará detalladamente un flujo de trabajo desarrollado expresamente para el modelado de estas superficies, así como una serie de reglas prácticas a seguir para hacer la labor del modelado mas eficaz.

Finalmente se ejemplificará y completará todo lo aprendido analizando un modelo extraído de una librería online de objetos CAD, poniendo así en práctica herramientas de analisis previamente presentadas. Una vez analizadas las deficiencias del modelo analizado, se mejorará haciendo uso de las herramientas disponibles en CATIA V5, aplicándolas acorde al flujo de trabajo y reglas presentadas, de modo que se obtenga un modelo apropiado en cuanto a las exigencias requeridas por las superficies de clase A. A lo largo de este apartado se explicará el modelado detalladamente, explicando las herramientas utilizadas y el porqué de su elección, así como otras posibles alternativas válidas o, por el contrario, opciones no deseables. De este modo se va construyendo una nueva lista de reglas o consejos de modelado extraídos de lo particular y aplicables a lo general para un modelado de superficies de clase A eficaz.

Índice de contenidos

1. MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A.....	27
1.1. ¿QUÉ SON LAS SUPERFICIES DE CLASE A?.....	27
1.2. CALIDAD ESTÉTICA REQUERIDA PARA LAS SUPERFICIES CLASE A...	27
2. CONCEPTOS PREVIOS Y TERMINOLOGÍA	29
2.1. MODELADO NURBS	29
2.1.1. PUNTOS DE CONTROL.	31
2.1.2. TRAMOS O INTERVALOS. (“SPANS” en Alias o “SEGMENTS” en CATIA).	33
2.1.3. GRADO MATEMÁTICO QUE DEFINE LA GEOMETRÍA.	35
2.1.4. PUNTOS DE CONTROL Y CURVAS ISOPARAMÉTRICAS	35
2.1.5. PARÁMETROS U Y V.	36
2.1.6. “HULLS” en Alias o “MESH” en CATIA.....	37
2.1.7. DIRECCIONES NORMALES EN CURVAS Y SUPERFICIES.....	37
2.1.8. CÍRCULOS Y REVOLUCIONES	37
2.1.9. COMPARACIÓN DEL MODELADO NURBS CON EL MODELADO POLIGONAL.	41
2.2. NIVELES DE CONTINUIDAD	42
3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO GENERAL EN MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A.....	47
3.1. PASO 0 - PREPARACIÓN PREVIA AL MODELADO.	48
3.1.1. TOLERANCIAS DE DISEÑO	48
3.2. PASO 1 – MODELADO DE LAS CURVAS QUE DEFINEN LAS SUPERFICIES	50
3.3. PASO 2 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES PRIMARIAS.....	51
3.4. PASO 3 – EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO	52
3.5. PASO 4 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES SECUNDARIAS Y Terciarias.....	52
3.6. PASO 5 – ANÁLISIS DETALLADO DE LAS SUPERFICIES FINALES	54
3.6.1. EVALUACIÓN MEDIANTE PEINES DE CURVATURA	54
3.6.2. EVALUACIÓN MEDIANTE LINEAS DE REFLEXIÓN O REFLEJOS...	57
3.6.3. EVALUACIÓN MEDIANTE ISO-ÁNGULOS.....	59
3.6.4. EVALUACIÓN MEDIANTE CURVATURA DE LA SUPERFICIE.....	61

4. REGLAS DE ORO DEL MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A.....	67
4.1. REGLA DE ORO Nº 1 – UTILIZAR CURVAS Y SUPERFICIES DE UN SOLO TRAMO O PARCHE.	67
4.2. REGLA DE ORO Nº 2 – UTILIZAR SUPERFICIES DE CUATRO LADOS..	70
4.2.1. CONCEPTO DE PUNTO DEGENERADO	72
4.2.2. SUPERFICIE DE CUATRO LADOS, DOS DE ELLOS TANGENTES ENTRE SÍ.	73
4.2.3. SUPERFICIES DE CUATRO LADOS RECORTADAS.....	73
4.3. REGLA DE ORO Nº 3 – PRESTAR ATENCIÓN AL FLUJO DE LOS PUNTOS DE CONTROL.....	74
4.4. REGLA DE ORO Nº 4 – UTILIZAR EL MÍNIMO NÚMERO DE PUNTOS DE CONTROL.....	78
4.5. REGLA DE ORO Nº 5 – ASEGURAR UNA BUENA CONTINUIDAD EN LAS LINEAS DE SIMETRÍA.....	80
4.6. REGLA DE ORO Nº 6 – SOBREDIMENSIONAR Y POSTERIORMENTE RECORTAR.....	83
4.7. REGLA DE ORO Nº 7 – IGUALAR CURVAS EN LADOS OPUESTOS.....	85
5. ANÁLISIS DE UN MODELO EXTRAIDO DE UNA BIBLIOTECA ONLINE DE OBJETOS CAD.	89
5.1. EVALUACIÓN VISUAL PREVIA	90
5.2. EVALUACIÓN MEDIANTE LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE CATIA V5 ICEM SHAPE DESIGN	92
5.2.1. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA COMPLEJIDAD DE LAS SUPERFICIES.....	92
5.2.2. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LOS REFLEJOS.....	96
5.2.3. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN ENTRE CURVAS Y SUPERFICIES.....	102
5.2.4. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CURVATURA SUPERFICIAL	111
5.2.5. EVALUACIÓN MEDIANTE DIAGRAMAS DE CURVATURA EN PLANOS DE CORTE (PEINES DE CURVATURA)	114
6. MEJORA DEL MODELO APLICANDO TÉCNICAS DE TRABAJO CON SUPERFICIES DE CLASE A.....	117
6.1. PASO 0 – PREPARAR EL MODELO CONCEPTUAL	117

6.2. PASO 1 – MODELADO DE CURVAS. PASO 2 – MODELADO DE SUPERFICIES PRIMARIAS.....	122
6.2.1. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL TECHO.....	139
6.2.2. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL PARABRISAS	157
6.2.3. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL CAPÓ.....	163
6.2.4. COMBINACIÓN DE SUPERFICIES CENTRALES (TECHO + PARABRISAS + CAPO)	167
6.2.5. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LOS GUARDABARROS TRASEROS.....	171
6.2.6. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LOS GUARDABARROS DELANTEROS.....	175
6.2.7. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LA CARROCERÍA LATERAL DEL VEHÍCULO	184
6.3. PASO 3 – EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO	190
6.4. PASO 4 – MODELADO DE LAS SUPERFICIES SECUNDARIAS Y Terciarias.....	196
6.4.1. ESTRIBERAS.....	196
6.4.2. CONTINUIDAD ENTRE LAS SUPERFICIES DEL TECHO, PARABRISAS Y CAPÓ.....	213
6.4.3. CONTINUIDAD SUPERFICIE CENTRAL – SUPERFICIES LATERALES.....	220
6.4.4. SUPERFICIE EMBELLECEDORA DEL MALETERO	226
6.4.5. SUPERFICIE INFERIOR TRASERA.....	230
6.4.6. DETALLE EMBELLECEDOR – RIGIDIZADOR EN RELIEVE NEGATIVO DE LA SUPERFICIE DEL CAPÓ	247
6.5. PASO 5 – ANÁLISIS DE LAS SUPERFICIES DEL MODELO FINAL OBTENIDO.....	252
7. CONCLUSIONES.....	265
8. ESTUDIO ECONÓMICO Y TEMPORAL DEL PROYECTO.....	267

Índice de figuras

1. MODELADO DE SUPERFICIES DE CLASE A.

2. CONCEPTOS PREVIOS Y TERMINOLOGÍA.

Figura 1. Diferencia entre curvas de tipo NURBS y las aproximaciones. [1] ..	29
Figura 2. Elemento de fusión artístico-dimensional [1]	31
Figura 3. Definición de los puntos de control [1]	31
Figura 4. Diferentes ejemplos de superficies y sus puntos de control acorde a la complejidad. [1]	32
Figura 5. Diagrama de evolución de la cantidad de puntos de control	32
Figura 6. Definición de “Span” o “Segment” [1]	33
Figura 7. Superficie de múltiples tramos [1]	33
Figura 8. Misma Curva: Single-Span (arriba) y Multi-Span (3 Span, abajo)	34
Figura 9. Respuesta al mismo movimiento de puntos de control.....	34
Figura 10. Grado matemático [1]	35
Figura 11. Puntos de control y curvas isoparamétricas [1].....	36
Figura 12. Direcciones U y V definidas en curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]	36
Figura 13. Normales a curva (izquierda) y superficie (derecha) [1].....	37
Figura 14. Ejemplos de curvas circulares precisas y de forma libre [1]	38
Figura 15. Superficie circunferencial periódica [1]	38
Figura 16. Superficie circunferencial no periódica [1]	39
Figura 17. Superficie circunferencial racional [1]	39
Figura 18. Diferencia entre círculo No-Racional (izq.) y Racional (dcha.) [1]..	40
Figura 19. Precisión en los círculos No-Racionales [1]	40
Figura 20. Modelado poligonal [1]	41
Figura 21. Diferencias en la calidad de los reflejos (Modelado poligonal a la izquierda y modelado NURBS a la derecha) [1]	42
Figura 22. Definición visual de los niveles de continuidad [1]	42
Figura 23. Puntos de control en continuidad G0 [1]	43
Figura 24. Puntos de control en continuidad G1 [1]	43
Figura 25. Puntos de control en continuidad G2 [1]	44
Figura 26. Puntos de control en continuidad G3 [1]	44
Figura 27. Influencia del factor de forma [1]	45
Figura 28. Ejemplo de superficies alineadas [1]	45
Figura 29. Ejemplo de superficies no alineadas [1]	46

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

Figura 30. Esquema del proceso de modelado.....	47
Figura 31. Esquema del proceso de modelado [1]	48
Figura 32. Tolerancia máxima de espacio o GAP [1]	49

Figura 33. Ejemplo de curvas básicas de un vehículo [1].....	51
Figura 34. Descripción visual de los tipos de superficies [1].....	51
Figura 35. Superficies primarias de un vehículo [1]	52
Figura 36. Descripción visual de los tipos de superficies [1].....	53
Figura 37. Ejemplo de modelo con los tres tipos de superficies [1]	53
Figura 38. Diferentes diagramas de peine [1]	54
Figura 39. Definición de curvatura [1].....	55
Figura 40. Diferentes diagramas de peine [1]	55
Figura 41. Diagrama de peine con continuidad en posición o G0 [1]	56
Figura 42. Diagrama de peine con continuidad en tangencia o G1 [1]	56
Figura 43. Diagrama de peine con continuidad en curvatura o G2 [1]	57
Figura 44. Diagrama de peine con continuidad en curvatura tangente o G3 [1]	57
Figura 45. Diferentes resultados según la continuidad [1].....	58
Figura 46. Representación de las líneas de reflexión [1].....	58
Figura 47. Análisis de túnel de luz [1]	59
Figura 48. Análisis tipo Zebra Stripes [1]	59
Figura 49. Análisis mediante iso-ángulos [1]	60
Figura 50. Análisis mediante mapas o diagramas de curvatura [1]	61
Figura 51. Tipos de curvatura en elementos geométricos básicos [1]	62
Figura 52. Curvatura de mínimo o máximo [1].....	63
Figura 53. Curvatura media [1]	63
Figura 54. Identificación de superficies de silla o inflexiones [1]	64
Figura 55. Identificación de bordes utilizando diagramas de curvatura [1] ...	65

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

Figura 56. Diferencia entre curva Single-Span (izq.) y Multi-Span (dcha.) [1]	67
Figura 57. Diferentes grados de curvas [1].....	68
Figura 58. Resultado de un aumento del grado en condiciones de discontinuidad en una curva [1].....	69
Figura 59. Círculos Multi-Span de grado matemático 2, 3, 4 y 5, de izq. a dcha. [1].....	69
Figura 60. Superficie plana de cuatro lados [1].....	70
Figura 61. Superficies grandes formadas por sub-superficies de cuatro lados [1].....	70
Figura 62. Procedimiento de creación mediante superficies de cuatro lados [1]	71
Figura 63. Distribución de los puntos de control para el caso de una superficie de tres lados. Continuidad G1 (izq.) y G2 (dcha.) [1]	71
Figura 64. Concepto de punto degenerado [1]	72
Figura 65. Sellado de una esfera a partir de una superficie plana [1]	72
Figura 66. Superficie de cuatro lados con dos lados tangentes entre sí. [1] .	73
Figura 67. Superficie con la forma recortada. [1]	74

Figura 68. Diferentes ejemplos de flujo de puntos de control [1]	74
Figura 69. Espaciado de los puntos de control [1]	75
Figura 70. Distancia de los puntos de control a la curva [1]	75
Figura 71. Puntos de inflexión [1]	76
Figura 72. Diferentes flujos de puntos de control en una misma curva [1] ...	77
Figura 73. Proceso de creación y ajuste de una curva a una forma deseada. [1]	77
Figura 74. Diferencias en la curvatura de curvas con pocos y muchos puntos de control. [1].....	78
Figura 75. Diferentes soluciones para una misma superficie [1]	79
Figura 76. Esquema de cantidad de puntos de control [1]	80
Figura 77. Problema de continuidad en simetría de tipo cresta	81
Figura 78. Problema de continuidad en simetría de tipo valle	81
Figura 79. Continuidad en pieza simétrica.....	82
Figura 80. Superficies de un vehículo que no cortan el eje de simetría [1] ...	82
Figura 81. Superficies de un vehículo que cortan el eje de simetría [1]	83
Figura 82. Superficie final deseada [1]	83
Figura 83. Proceso de creación de superficies a partir de aristas de recorte [1]	84
Figura 84. Proceso de creación de superficie aplicando la Regla de Oro N°6 [1]	84
Figura 85. Obtención de formas complejas a través de intersección de superficies simples. [1].....	85
Figura 86. Definición de aristas enfrentadas. [1]	85
Figura 87. Ejemplos de distribución de filas de puntos de control. [1]	86
Figura 88. Creación de las curvas básicas [1]	86
Figura 89. Copiar arista [1].....	87
Figura 90. Adaptar arista copiada [1].....	87
Figura 91. Arreglo de la malla de puntos de control con cuatro aristas preexistentes [1].....	87

5. ANÁLISIS DE UN MODELO EXTRAÍDO DE UNA BIBLIOTECA ONLINE DE OBJETOS CAD.

Figura 92. Modelo del vehículo Volkswagen Beetle [2]	89
Figura 93. Nomenclatura tomada para las superficies de la carrocería	90
Figura 94. Imagen del modelo del vehículo de Internet con carrocería en efecto metalizado [2].....	91
Figura 95. Resultado de las opiniones del análisis visual del modelo de Internet	91
Figura 96. Imagen del modelo con isoparamétricas visibles del modelo de Internet	92
Figura 97. Detalle de la complejidad de superficies primarias (puerta en imagen izquierda y parabrisas en imagen derecha) del modelo de Internet.....	93

Figura 98. Abolladuras en la parte trasera del vehículo del modelo de Internet	93
Figura 99. Detalle de los puntos de control en la zona abollada del embellecedor del maletero del modelo de Internet	94
Figura 100. Detalle de los puntos de control en la zona abollada del guardabarros trasero del modelo de Internet	94
Figura 101. Abolladura en la parte inferior del capó del modelo de Internet.	95
Figura 102. Detalle de los puntos del control en la zona abollada del capó del modelo de Internet	95
Figura 103. Analogía con la realidad del resultado del análisis de reflejos [1]	96
Figura 104. Localización de la herramienta Highlight Analysis en ICEM Shape Design	96
Figura 105. Resultado del análisis del modelo de Internet mediante reflejos	97
Figura 106. Detalle de los reflejos en el lateral de la carrocería del modelo de Internet.....	98
Figura 107. Detalle de las discontinuidades en el eje de simetría del modelo de Internet.....	99
Figura 108. Irregularidades observadas en la zona del capó del modelo de Internet.....	100
Figura 109. Detalle de las superficies NURBS del capó del modelo de Internet	100
Figura 110. Correlación entre las abolladuras y las deficiencias de calidad de los reflejos.....	101
Figura 111. Localización de la herramienta Connect Checker Analysis en ICEM Shape Design.....	102
Figura 112. Selección del análisis de conexión entre curvas en el comando Connect Checker Analysis.....	102
Figura 113. Contornos del techo a analizar la continuidad entre ellos	103
Figura 114. Resultado del análisis de conexión entre curvas	103
Figura 115. Contornos del guardabarros trasero a analizar la continuidad entre ellos.....	104
Figura 116. Resultado del análisis de conexión entre curvas	105
Figura 117. Selección del análisis de conexión entre superficies en el comando Connect Checker Analysis.....	105
Figura 118. Superficies de la carrocería lateral a analizar la continuidad entre ellas.....	106
Figura 119. Resultados del análisis de conexión entre las superficies de la carrocería lateral.....	107
Figura 120. Superficies de guardabarros y carrocería inferior trasera a analizar continuidad entre ellas	108
Figura 121. Resultados del análisis de conexión entre guardabarros trasero y carrocería inferior trasera	110

Figura 122. Comprobación del resultado obtenido con análisis anteriores .	110
Figura 123. Localización de la herramienta Surfacic Curvature Analysis de ICEM Shape Design.....	111
Figura 124. Análisis de diagrama de iso-curvatura en el guardabarros trasero	111
Figura 125. Comprobación de la irregularidad obtenida en el guardabarros trasero.....	112
Figura 126. Discontinuidad detectada con el análisis de iso-curvatura.....	112
Figura 127. Comprobación de las abolladuras que presenta el embellecedor del maletero.....	113
Figura 128. Localización de la herramienta Cutting Plane Analysis de ICEM Shape Design.....	114
Figura 129. Anáisis de peines de curvatura del guardabarros trasero.....	114
Figura 130. Análisis de peines de curvatura del guardabarros delantero....	115

6. MEJORA DEL MODELO APLICANDO TÉCNICAS DE TRABAJO CON SUPERFICIES DE CLASE A.

6.1. PASO 0 - PREPARAR EL MODELO CONCEPTUAL.

Figura 131. Vistas ortogonales del vehículo real con cotas [2]	118
Figura 132. Caja de dimensiones y modelo original dentro.....	118
Figura 133. Localización de la herramienta Scaling de Generative Shape Design	119
Figura 134. Escalado del modelo hasta encajar en la caja de dimensiones	119
Figura 135. Operar con modelo seleccionable (izquierda) o con el modelo no seleccionable (derecha).....	120
Figura 136. Modelo transparente	120
Figura 137. Cuadro de propiedades gráficas del modelo conceptual	121

6.2. PASO 1 - MODELADO DE CURVAS. PASO 2 - MODELADO DE SUPERFICIES PRIMARIAS

Figura 138. Flujo de trabajo para la creación de superficies en base a curvas	122
Figura 139. Localización de la herramienta 3D Curve de ICEM Shape Design	123
Figura 140. Correspondencia entre la orientación del compás y el sistema de ejes.....	124
Figura 141. Espacio de trabajo para crear curva 3D con orientaciones mal configuradas	124
Figura 142. Resultado de curva 3D trazada en la Figura 131.....	125
Figura 143. Espacio de trabajo con orientaciones bien configuradas.....	126
Figura 144. Curva 3D resultante con orientaciones bien configuradas	126

Figura 145. Imposibilidad de operar con Curvas 3D con orientación mal configurada	127
Figura 146. Resultado de la curva 3D en el plano formado por sistema de ejes	127
Figura 147. Traslado de una curva a través del comando Translate.....	128
Figura 148. Posibilidades de modificación de los puntos de control de una curva dentro del mismo comando a través de la orientación del compás	129
Figura 149. Opciones de añadir (izquierda) o quitar (derecha) puntos de control en el comando 3D Curve	129
Figura 150. Localización de la herramienta Control Points de ICEM Shape Design	129
Figura 151. Modificación en dirección perpendicular al plano del compás .	130
Figura 152. Modificación en dirección de las líneas Mesh.....	131
Figura 153. Modificación en dirección perpendicular a la tangente a la curva	131
Figura 154. Modificación en el plano definido por el compás.....	132
Figura 155. Modificación en dirección de la tangente a la curva.....	132
Figura 156. Modificación en el plano de la pantalla (no recomendable por falta de control).....	133
Figura 157. Traslado de curva entera en una determinada dirección con el comando Control Points.....	133
Figura 158. Opción de simetría en el comando Control Points.....	134
Figura 159. Operación con puntos de control con simetría.....	134
Figura 160. Análisis de continuidad en curvas multi-segmento con Autodesk Alias [1]	135
Figura 161. Análisis de peines de curvatura en curva con 5 segmentos	135
Figura 162. Análisis de peines de curvatura en curva con 40 segmentos...	136
Figura 163. Superficie resultante de extrusión de curva de 5 segmentos...	136
Figura 164. Superficie resultante de extrusión de curva de 40 segmentos.	137
Figura 165. Planificación de las superficies primarias	138
Figura 166. Superficie primaria que define el techo.....	139
Figura 167. Modelado del techo a partir de la modificación de una placa plana	140
Figura 168. Modelado del techo a partir de curvas que definen el contorno lateral	140
Figura 169. Modelado de la curva que define el contorno lateral central del techo	141
Figura 170. Proceso de copia y modificación de la curva del contorno lateral	142
Figura 171. Comprobación de la homogeneidad de puntos de control conseguida.....	142
Figura 172. Localización de la herramienta Symmetry de ICEM Shape Design	142

Figura 173. Operación de simetría sobre una curva.....	143
Figura 174. Localización de la herramienta Sweep de ICEM Shape Design	143
Figura 175. Barrido aplicando la opción de Multisections.....	143
Figura 176. Resultado de la operación de barrido de múltiples secciones del techo	144
Figura 177. Diferentes resultados de barrido por múltiples secciones dependiendo del orden de elección de secciones	144
Figura 178. Superficie del techo resultante	145
Figura 179. Resultado de dos superficies seleccionables independientemente al barrer tres secciones	145
Figura 180. Modificación de puntos de control en solo una de las partes...	146
Figura 181. Modificación con simetría de las dos superficies dando lugar a resultados no deseados	146
Figura 182. Barrido de múltiples secciones con cuatro secciones o perfiles	147
Figura 183. Análisis de reflejos del techo formado por barrido de 3 secciones	147
Figura 184. Resultado del barrido con dos secciones.....	148
Figura 185. Modificación de la superficie obtenida del barrido	149
Figura 186. Formas de mover los puntos de control	149
Figura 187. Botón de "seleccionar todos" (izquierda) y "deseleccionar todos" (derecha).....	150
Figura 188. Botones de selección de geometría. Puntos de control (izquierda), rectas de unión o Mesh (centro) y ambos (derecha).....	150
Figura 189. Modificación de toda una fila de puntos de control	151
Figura 190. Opción de simetría	151
Figura 191. Superficie sin modificar	152
Figura 192. Elección del número de puntos de control en dirección V	153
Figura 193. Superficie del techo adaptada a su forma final	153
Figura 194. Localización de la herramienta Split de ICEM Shape Design....	154
Figura 195. Extrusión de la superficie de corte haciendo uso del comando Extrude.....	154
Figura 196. Localización de la herramienta Extrude de Generative Shape Design	155
Figura 197. Recorte de la superficie del techo	155
Figura 198. Finalidad de las creces de modelado	156
Figura 199. Superficie primaria que define el parabrisas	157
Figura 200. Guías y perfil que define la superficie del parabrisas	157
Figura 201. Creación de la guía coincidente con la superficie del techo	158
Figura 202. Mala intersección de superficies	158
Figura 203. Buena intersección de superficies.....	159
Figura 204. Creación de la curva con coincidencia en una superficie	159

Figura 205. Prolongación de una curva sin perder coincidencia con el techo	160
Figura 206. Localización de la herramienta Multi-Sections Surface de Generative Shape Design	160
Figura 207. Superficie de parabrisas resultante.....	161
Figura 208. Red de puntos de control de la superficie creada.....	161
Figura 209. Red de puntos de control con la superficie simplificada.....	162
Figura 210. Superficie primaria que define el capó.....	163
Figura 211. Creación de la curva que define uno de los contornos laterales	163
Figura 212. Creación del contorno simétrico	164
Figura 213. Superficie de capó resultante del barrido de múltiples secciones	164
Figura 214. Modificación de la superficie del capó a través de puntos de control	165
Figura 215. Corte de la superficie del capó	166
Figura 216. Coincidencia entre bordes de superficies del capó y del parabrisas	167
Figura 217. Superficies primarias centrales del vehículo	168
Figura 218. Localización de la herramienta Trim de ICEM Shape Design	168
Figura 219. Diferentes combinaciones de selecciones y resultados haciendo uso de la herramienta Trim	169
Figura 220. Opciones del comando para controlar que geometría desaparece y cual permanece	170
Figura 221. Combinación de las superficies centrales del vehículo.....	170
Figura 222. Superficies primarias que definen los guardabarros traseros ..	171
Figura 223. Construcción de la curva de contorno interior.....	172
Figura 224. Creación de la curva que define el contorno exterior del guardabarros.....	173
Figura 225. Resultado de la operación de barrido de múltiples secciones..	173
Figura 226. Superficie final del guardabarros trasero	174
Figura 227. Obtención del guardabarros trasero por simetría	175
Figura 228. Superficies primarias que definen los guardabarros delanteros	175
Figura 229. Borde compartido entre la superficie del capó y el guardabarros delantero.....	176
Figura 230. Localización de la herramienta Extract de Generative Shape Design	176
Figura 231. Borde lateral extraído del capó.....	177
Figura 232. Localización del punto de corte aproximado	177
Figura 233. Localización de la herramienta Point de Generative Shape Design	178
Figura 234. Creación del punto.....	178

Figura 235. Corte del contorno extraído	179
Figura 236. Creación de la curva inferior del contorno interior del guardabarros delantero.....	179
Figura 237. Localización de la herramienta Blend Curve de ICEM Shape Design	180
Figura 238. Operación con Blend Curve de ICEM Shape Design.....	180
Figura 239. Localización del comando Connect Curve de Generative Shape Design	181
Figura 240. Operación con Connect Surface de Generative Shape Design .	181
Figura 241. Localización de la herramienta Join de ICEM Shape Design.....	182
Figura 242. Unión de tres curvas	182
Figura 243. Creación del contorno lateral exterior del guardabarros a través del comando 3D Curve	183
Figura 244. Superficies de los guardabarros delanteros.....	183
Figura 245. Recorte del frontal del vehículo	184
Figura 246. Superficies primarias que definen los laterales del vehículo....	184
Figura 247. Posibles puntos degenerados.....	185
Figura 248. Localización de la herramienta Unified Patch de ICEM Shape Design	185
Figura 249. Creación de la placa.....	186
Figura 250. Modificación de la placa	187
Figura 251. Superficie lateral que asegura la intersección	187
Figura 252. Superficie recortada 1	188
Figura 253. Superficie recortada 2	189
Figura 254. Superficie recortada 3	189
Figura 255. Superficie simétrica	190

6.3. PASO 3 - EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO.

Figura 256. Calidad superficial de las superficies primarias que cortan el eje de simetría	191
Figura 257. Irregularidades superficiales del capó (izquierda) y capó con buen acabado (derecha).....	192
Figura 258. Análisis de reflejos. Modelo internet (izquierda). Modelo previo creado (derecha).....	192
Figura 259. Planificación de operaciones para continuidad entre superficies capó, parabrisas y techo.....	193
Figura 260. Superficie a conseguir (izquierda) y superficie de partida (derecha)	194
Figura 261. Propuesta de actuación con la parte trasera	194
Figura 262. Estribera del modelo conceptual que se tratará de mejorar en el modelado de superficies secundarias y terciarias.....	195
Figura 263. Creces de modelado para trabajar la estribera	195

6.4. PASO 4 - MODELADO DE SUPERFICIES SECUNDARIAS Y TERCARIAS.

Figura 264. Superficie secundaria que define la estribera.....	196
Figura 265. Localización de la herramienta Blend Surface de ICEM Shape Design	197
Figura 266. Localización de la herramienta Intersection de Generative Shape Design	198
Figura 267. Intersección de las superficies de guardabarros y lateral.....	198
Figura 268. Situación indeseable de modelado de la estribera	199
Figura 269. Corte de los contornos interiores de los guardabarros	200
Figura 270. Construcción de la curva que define la altura de la estribera...	200
Figura 271. Localización de la herramienta dentro de la paleta de creación de curvas.....	201
Figura 272. Proyección de la curva sobre la carrocería lateral.....	201
Figura 273. Unión con continuidad en curvatura entre el guardabarros delantero y la curva de la estribera	202
Figura 274. Unión con continuidad en curvatura entre el guardabarros trasero y la curva de la estribera.....	202
Figura 275. Unión de curvas para formar la guía interior o guía 1	203
Figura 276. Definición de los planos de corte de los guardabarros	203
Figura 277. Operación de corte de las superficies de los guardabarros	204
Figura 278. Obtención de las curvas que forman la guía exterior o guía 2..	205
Figura 279. Operación de multi-sección para formar la estribera	206
Figura 280. Análisis de reflejos de la superficie de la estribera 1.....	206
Figura 281. Localización de la herramienta Blend Curve de ICEM Shape Design	207
Figura 282. Creación de las curvas de unión de la Guía 1 o interior con el comando Blend Curve.....	207
Figura 283. Nuevas curvas guía definidas	208
Figura 284. Superficie de estribera obtenida	208
Figura 285. Análisis de reflejos de la superficie de la estribera 2.....	209
Figura 286. Detalle del análisis de reflejos de la estribera desde otro punto de vista del foco.....	210
Figura 287. Análisis de reflejos mediante el propio foco de iluminación del espacio de trabajo de CATIA	211
Figura 288. Ejemplos de discontinuidades detectables en el modelo extraído de Internet con el foco de iluminación del espacio de trabajo de CATIA. Superficie maletero (izquierda). Carrocería lateral (derecha).	212
Figura 289. Operación de simetría	212
Figura 290. Localización de la herramienta Blend Surface de ICEM Shape Design	214
Figura 291. Resultado de la operación de Blend Surface entre capó y parabrisas	215
Figura 292. Recorte de la superficie del capó	215

Figura 293. Recorte de la superficie del parabrisas	216
Figura 294. Creación de la superficie continua entre el parabrisas y el techo	216
Figura 295. Recorte de la superficie del techo	217
Figura 296. Unión de superficies para crear la superficie central acabada del vehículo.....	217
Figura 297. Análisis de reflejos en dos posiciones del foco de luz distintas	218
Figura 298. Análisis de continuidad entre superficies a través de la herramienta Connect Checker Analysis.....	219
Figura 299. Fisura en la zona de unión entre capó, parabrisas y lateral	219
Figura 300. Localización de la herramienta Styling Fillet de ICEM Shape Design	220
Figura 301. Resultado del Apartado 3.6.2. utilizando Styling Fillet.....	221
Figura 302. Resultado de la operación de redondeo en la unión entre carrocería central y lateral	222
Figura 303. Resultado deseable para trabajar con el embellecedor trasero	223
Figura 304. Parcheado de la superficie asegurando continuidad	224
Figura 305. Análisis de reflejos de la zona parcheada del capó	224
Figura 306. Brecha de modelado generada entre el capó y el guardabarros delantero.....	225
Figura 307. Modificación del guardabarros delantero hasta eliminar la brecha	225
Figura 308. Superficie embellecedora de la parte posterior del vehículo (color verde).....	226
Figura 309. Planificación de la operación de multi-sección para el embellecedor del maleto	227
Figura 310. Resultado de la operación	227
Figura 311. Mal acabado estético en la zona de unión con el guardabarros trasero.....	228
Figura 312. Consecuencias de modelado de no modificar la superficie del guardabarros o sí hacerlo.....	229
Figura 313. Resultado final con la superficie de los guardabarros modificada	230
Figura 314. Planificación de la superficie	231
Figura 315. Resultado de Blend Curve con todo el contorno del guardabarros trasero.....	232
Figura 316. Extracción del borde exterior del guardabarros.....	232
Figura 317. Recorte del borde extraído.....	233
Figura 318. Operación de Blend Curve para la carrocería inferior trasera...	233
Figura 319. Falta de ajuste con embellecedor del maletero	234
Figura 320. Superficie resultante de la operación Blend Surface con continuidad G3	235

Figura 321. Filas de puntos de control modificables para mantener continuidad en la superficie creada para la carrocería inferior trasera	236
Figura 322. Aumento de las filas de puntos de control en dirección U para poder modificar la superficie sin perder continuidad	236
Figura 323. Ejemplo de cálculo de puntos de control necesarios para ciertos niveles de continuidad	237
Figura 324. Reducción del número de filas de puntos de control por debajo del necesario (arriba) y las consecuencias de pérdida de continuidad G3 exigida	238
Figura 325. Modificación de la 5ª fila de puntos de control	239
Figura 326. Modificación de la 4º fila de puntos de control	240
Figura 327. Modificación de la 3ª fila de puntos de control	241
Figura 328. Modificación de la 2ª fila de puntos de control	243
Figura 329. Modificación de la 1ª fila de puntos de control	244
Figura 330. Resultado final de la carrocería inferior trasera con la superficie modificada	245
Figura 331. Superficies perimetrales	245
Figura 332. Recorte de la superficie inferior del vehículo	246
Figura 333. Detalle del embellecedor en forma de relieve del capó	247
Figura 334. Detalle de la formación del contorno del techo a través de dos curvas 3D	248
Figura 335. Creación de un contorno cerrado continuo	249
Figura 336. Operación Split para el embellecedor del capó	249
Figura 337. Traslado hacia abajo de la superficie y escalado de la misma .	250
Figura 338. Embellecedor izquierdo del capó	251
Figura 339. Resultado final del embellecedor de relieve del capó	251

6.5. PASO 5 - ANÁLISIS DE LAS SUPERFICIES DEL MODELO FINAL OBTENIDO

Figura 340. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen fronto-lateral delantera de los vehículos	252
Figura 341. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen frontal de los vehículos	253
Figura 342. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen fronto-lateral trasera de los vehículos	253
Figura 343. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen superior de los vehículos	254
Figura 344. Vista desde el lateral del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente	255
Figura 345. Vista desde el techo del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente	255
Figura 346. Vista frontal del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente	256

Figura 347. Vista desde trasera del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente.....	256
Figura 348. Detalles de zonas diferenciadas del modelo conceptual.....	257
Figura 349. Conjunto de superficies en cuanto a continuidad de la carrocería	259
Figura 350. Resultado del análisis de reflejos de la carrocería central - lateral	260
Figura 351. Detalles del análisis de reflejos en la carrocería central - lateral	261
Figura 352. Resultado del análisis de reflejos de la carrocería periférica ...	262
Figura 353. Detalles del análisis de reflejos en la carrocería perimetral	263

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 determinar su valor en el mercado. Estas superficies son “caras” de producir ya que requieren mucho trabajo y personal experto en la 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, las cuales dan lugar a 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. (*Apartado 2.2. Niveles de continuidad, Pág. 42*).

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.

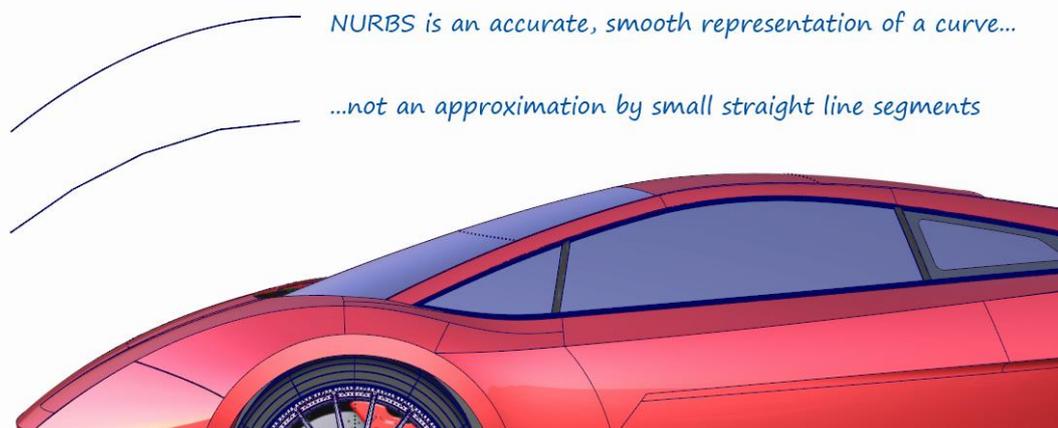


Figura 1. Diferencia entre curvas de tipo NURBS y las aproximaciones. [1]

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.

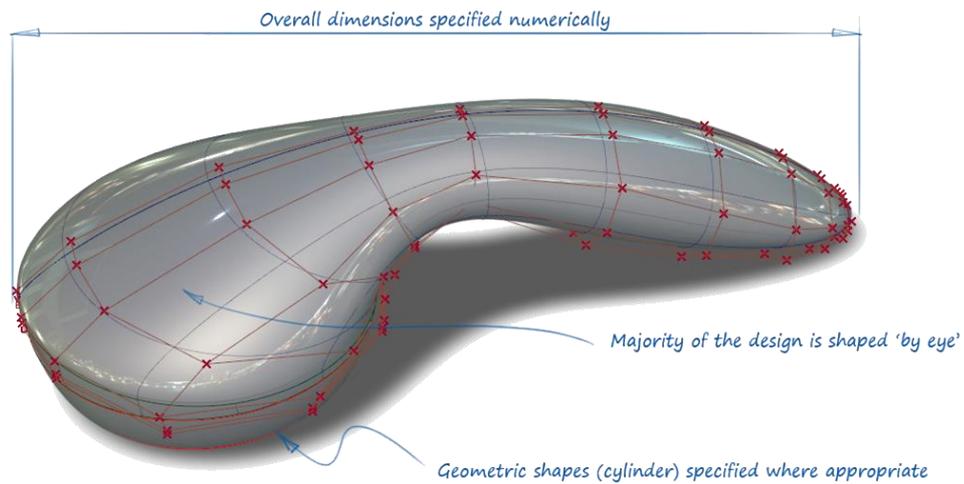


Figura 2. Elemento de fusión artístico-dimensional [1]

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.

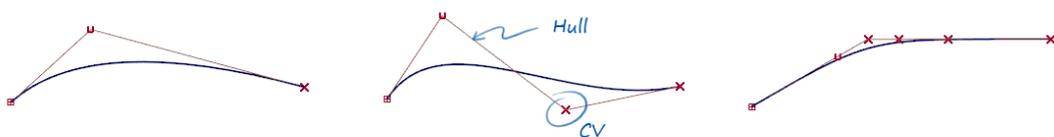


Figura 3. Definición de los puntos de control [1]

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

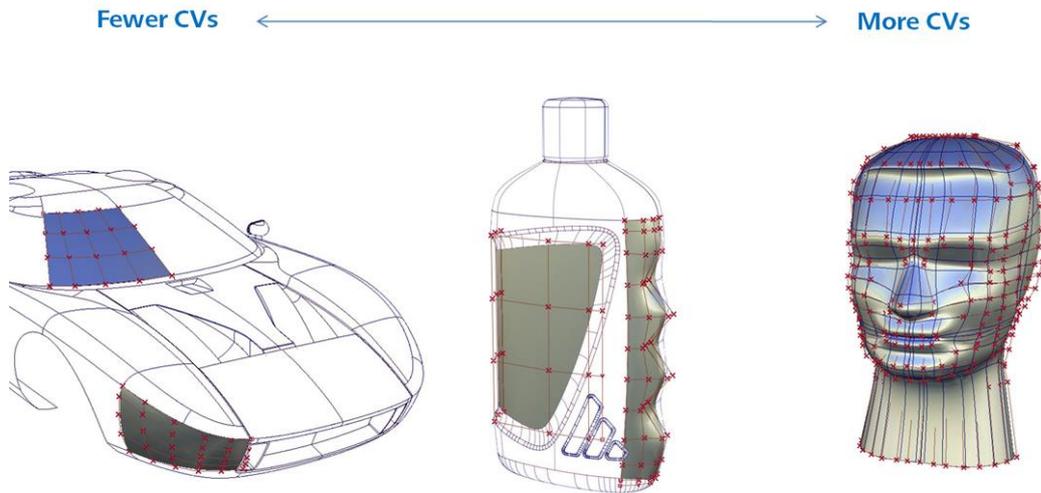


Figura 4. Diferentes ejemplos de superficies y sus puntos de control acorde a la complejidad. [1]

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:

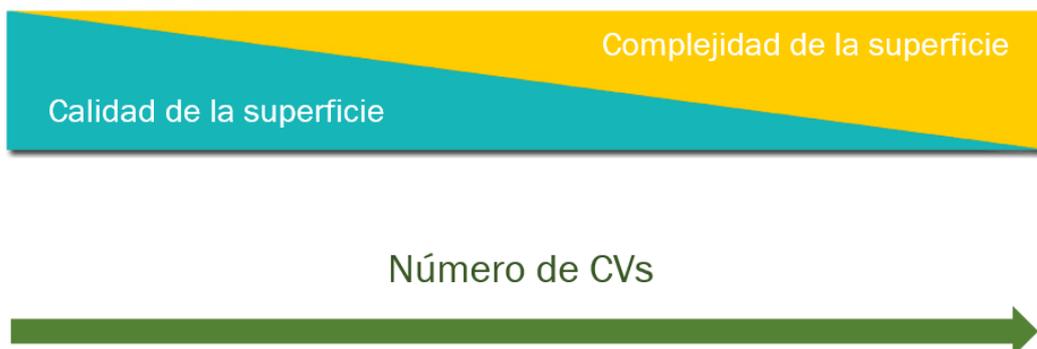


Figura 5. Diagrama de evolución de la cantidad de puntos de control

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.

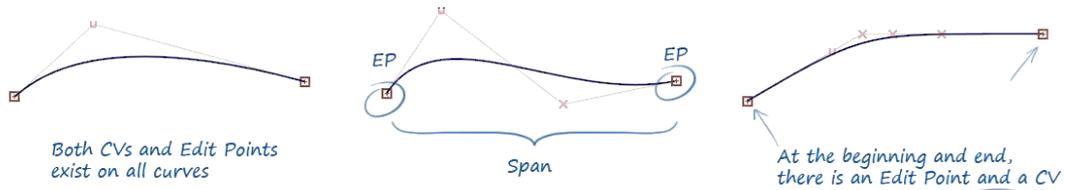


Figura 6. Definición de “Span” o “Segment” [1]

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.

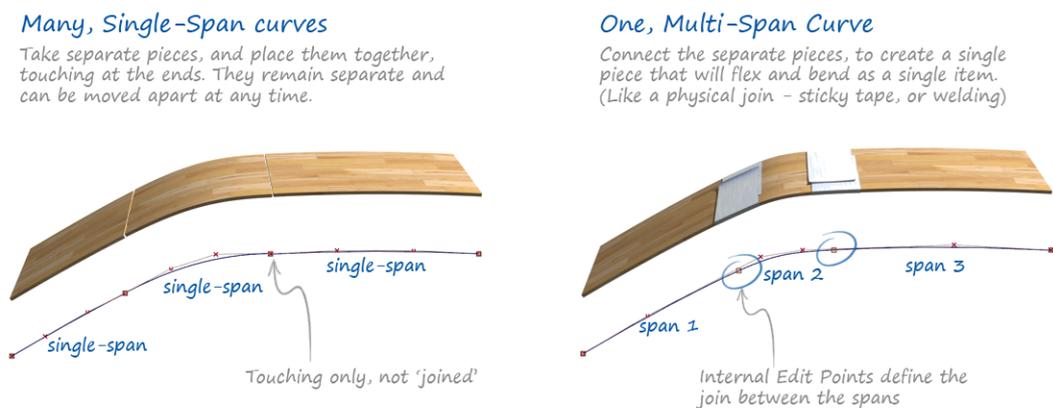


Figura 7. Superficie de múltiples tramos [1]

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.

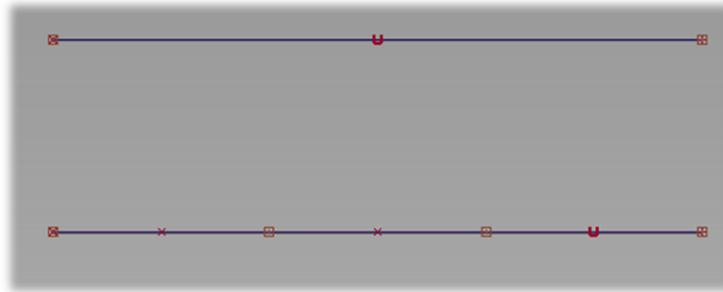


Figura 8. Misma Curva: Single-Span (arriba) y Multi-Span (3 Span, abajo)

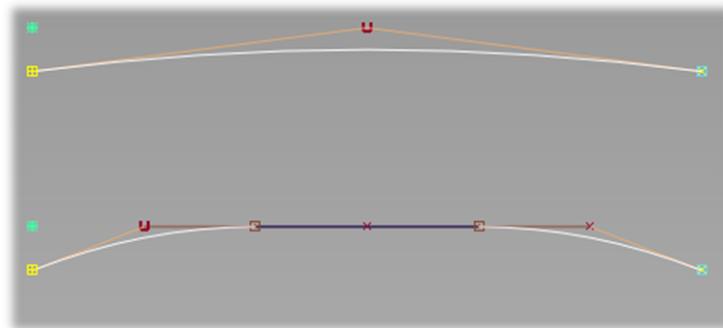


Figura 9. Respuesta al mismo movimiento de puntos de control

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 realza 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.

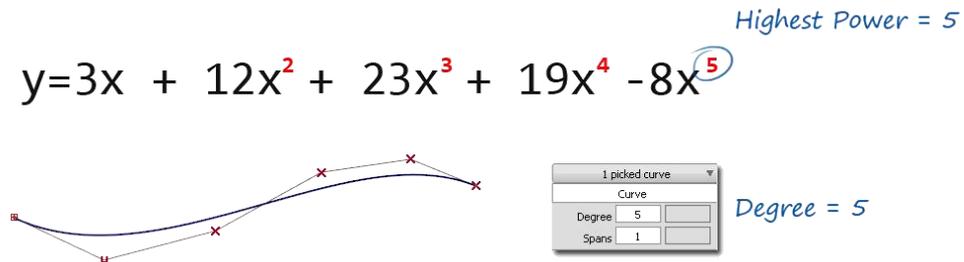


Figura 10. Grado matemático [1]

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.

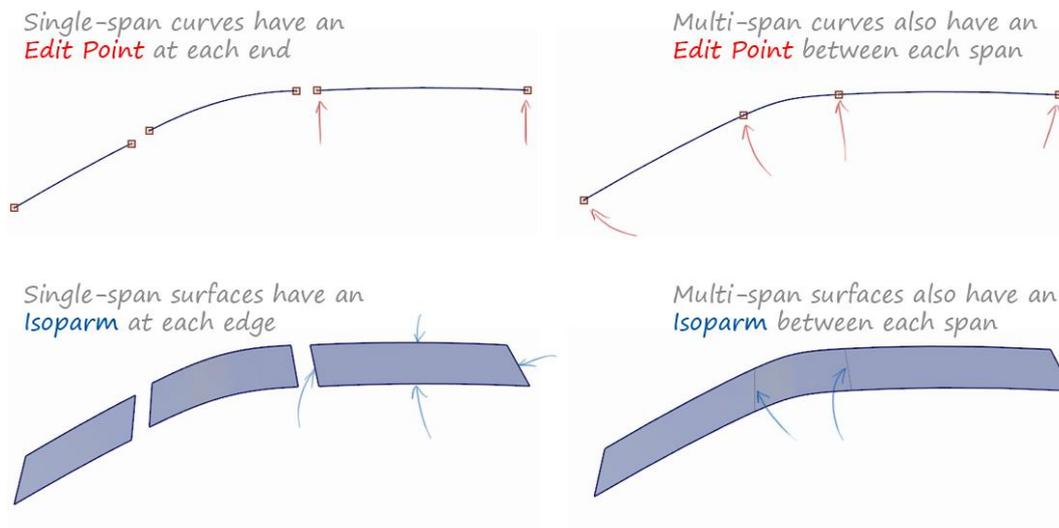


Figura 11. Puntos de control y curvas isoparamétricas [1]

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.

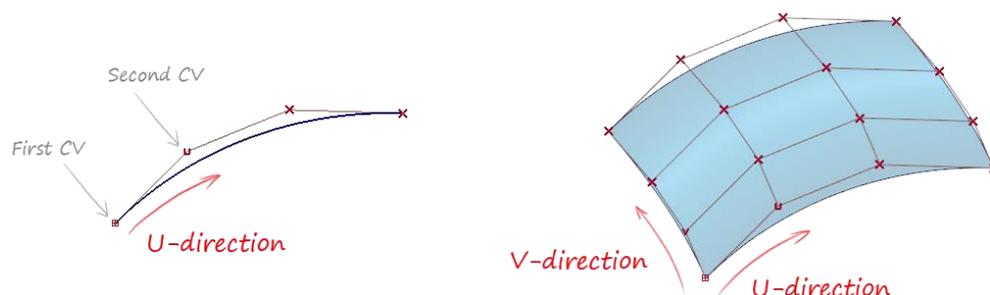


Figura 12. Direcciones U y V definidas en curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]

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.

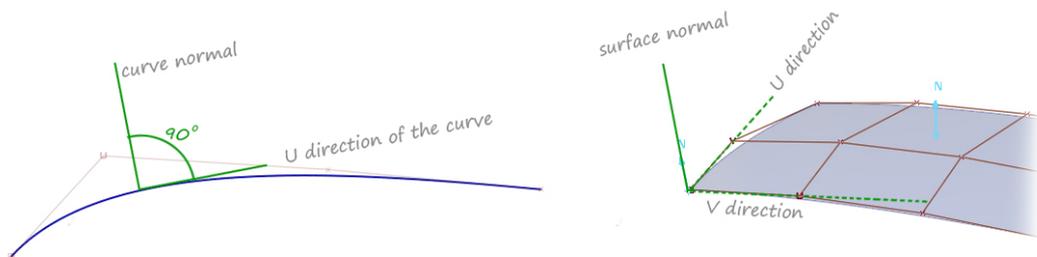


Figura 13. Normales a curva (izquierda) y superficie (derecha) [1]

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.

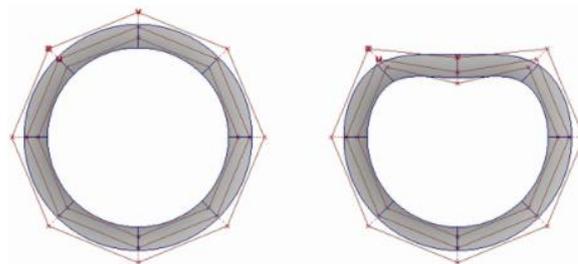


Figura 15. Superficie circunferencial periódica [1]

No periódicas

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

Ideal para formas parciales de circunferencia.

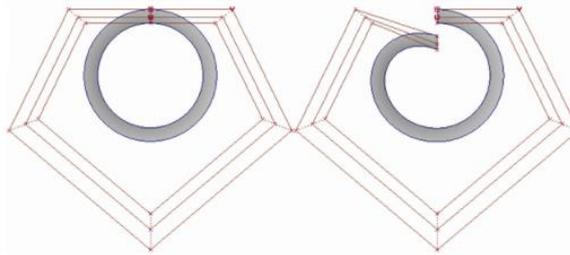


Figura 16. Superficie circunferencial no periódica [1]

Racionales

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

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

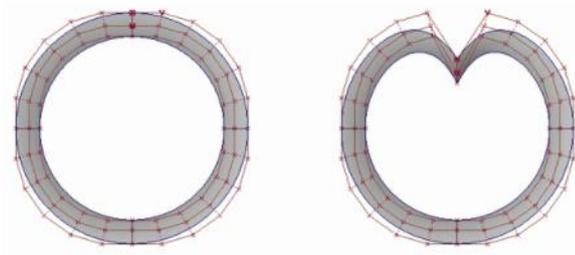


Figura 17. Superficie circunferencial racional [1]

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:

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

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 unas curvas dimensionalmente precisas con este método.

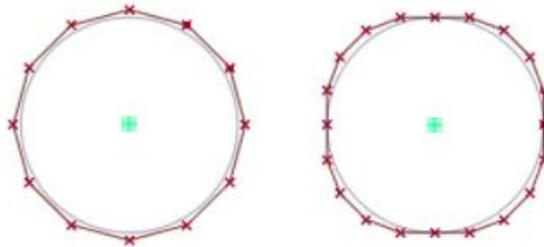


Figura 18. Diferencia entre círculo No-Racional (izq.) y Racional (dcha.) [1]

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.

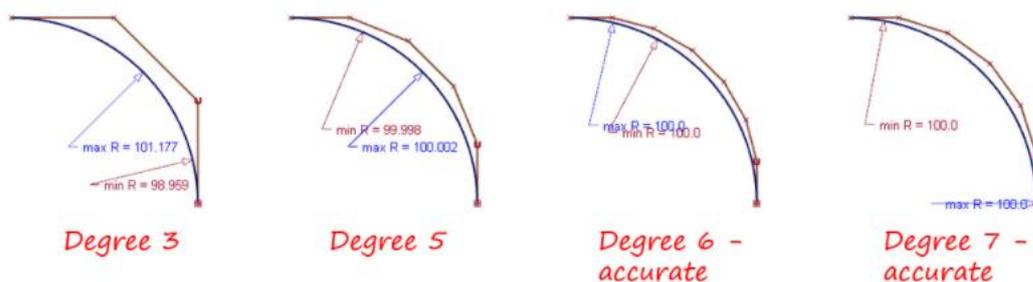


Figura 19. Precisión en los círculos No-Racionales [1]

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.

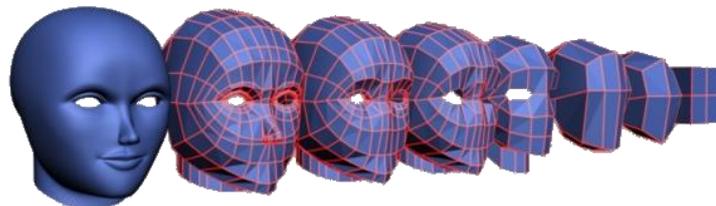


Figura 20. Modelado poligonal [1]

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.

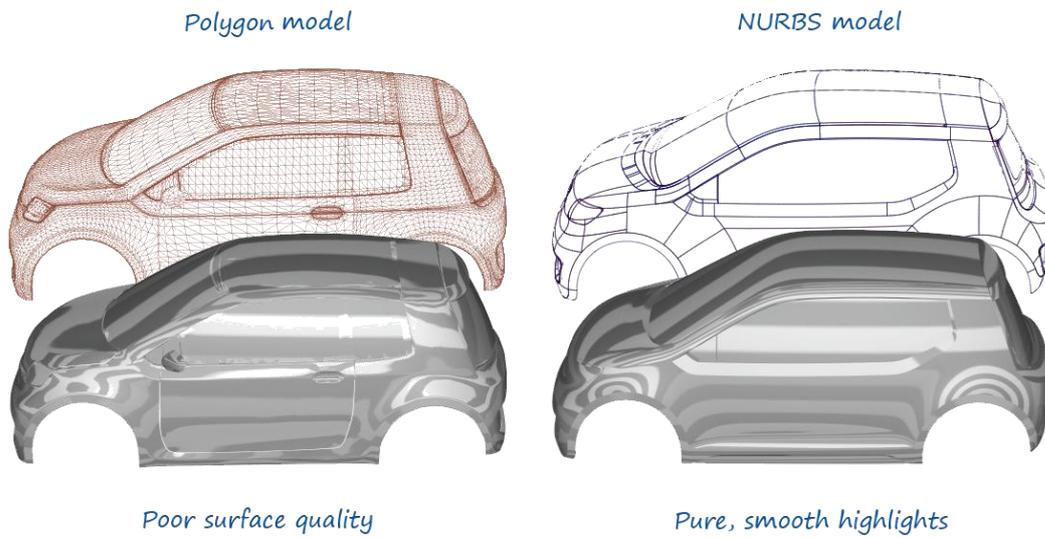


Figura 21. Diferencias en la calidad de los reflejos (Modelado poligonal a la izquierda y modelado NURBS a la derecha) [1]

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.

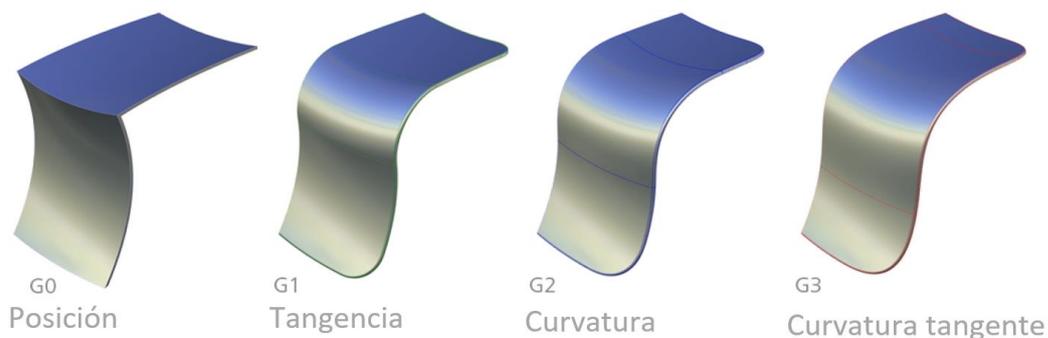


Figura 22. Definición visual de los niveles de continuidad [1]

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 23. Puntos de control en continuidad 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 24. Puntos de control en continuidad 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.

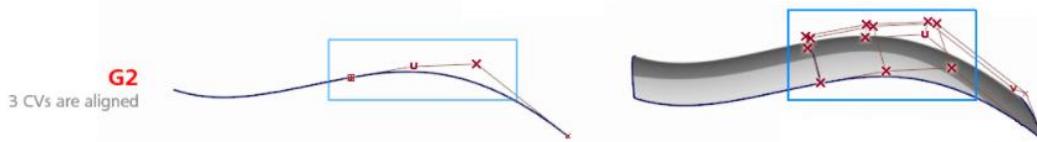


Figura 25. Puntos de control en continuidad G2 [1]

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.

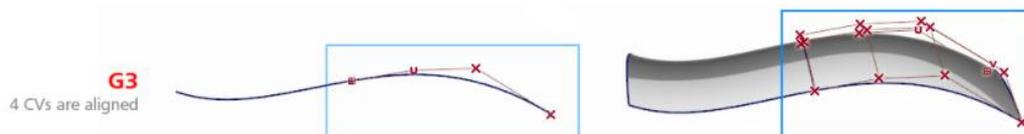


Figura 26. Puntos de control en continuidad G3 [1]

La relación entre la cantidad de puntos de control y el nivel de continuidad que es posible obtener se explicará desde un punto de vista práctico en el *Apartado* 6.4.5.

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:

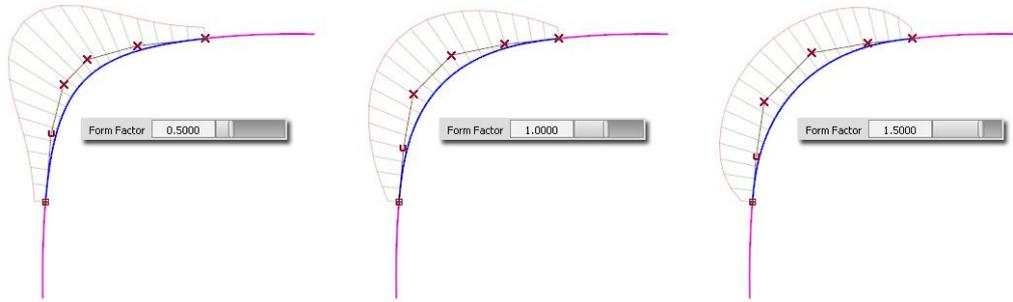


Figura 27. Influencia del factor de forma [1]

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.

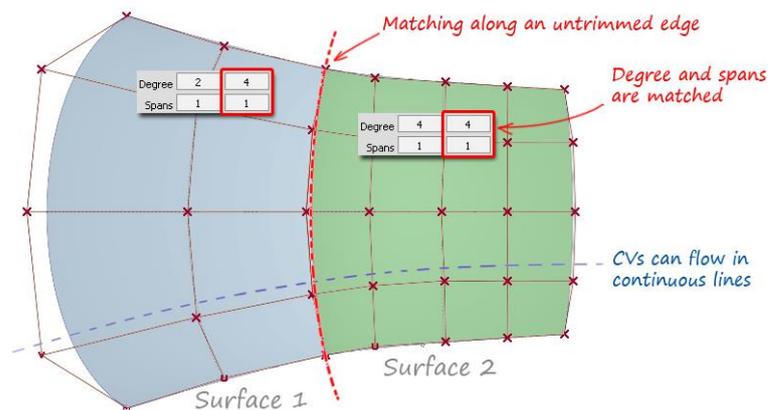


Figura 28. Ejemplo de superficies alineadas [1]

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.

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.

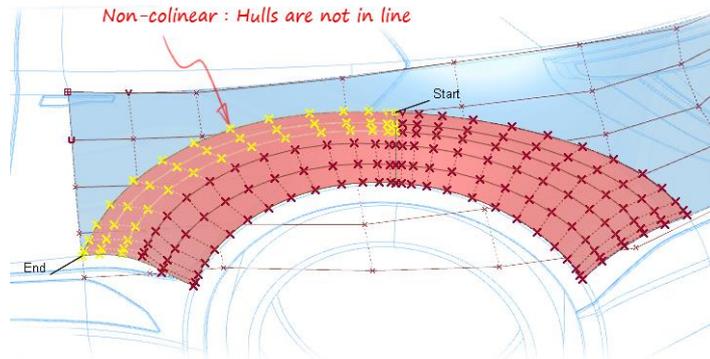


Figura 29. Ejemplo de superficies no alineadas [1]

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



Figura 30. 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.

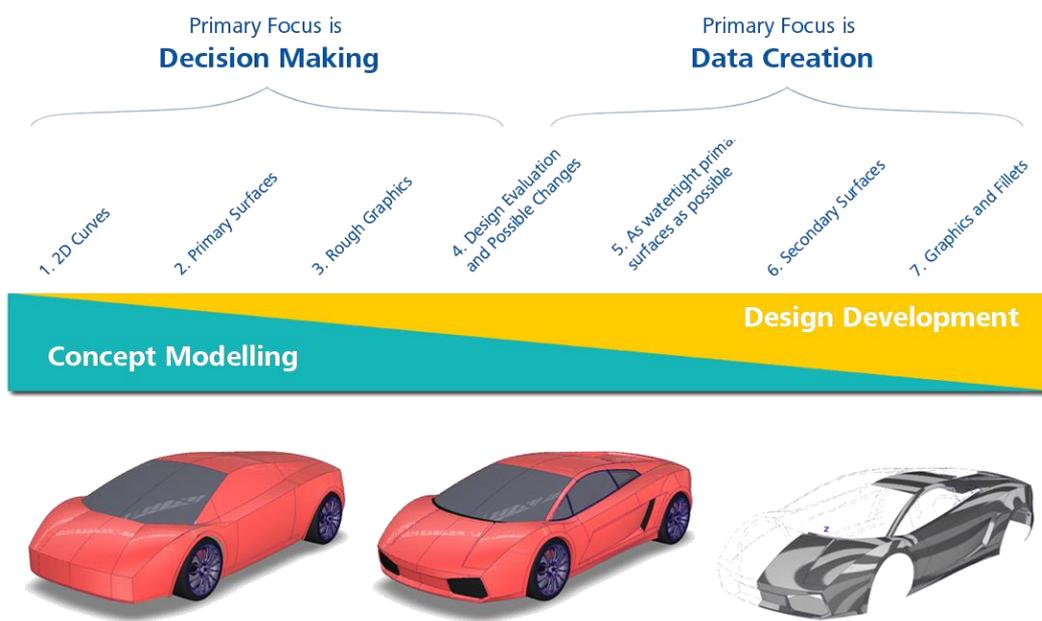


Figura 31. Esquema del proceso de modelado [1]

3.1.1. TOLERANCIAS DE DISEÑO

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta durante la preparación previa son las tolerancias. En el 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 está 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 GO (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 GO o en punto), ya que esto asegura que las superficies se encuentren unidas cuando se transfieren a un sistema de producción.

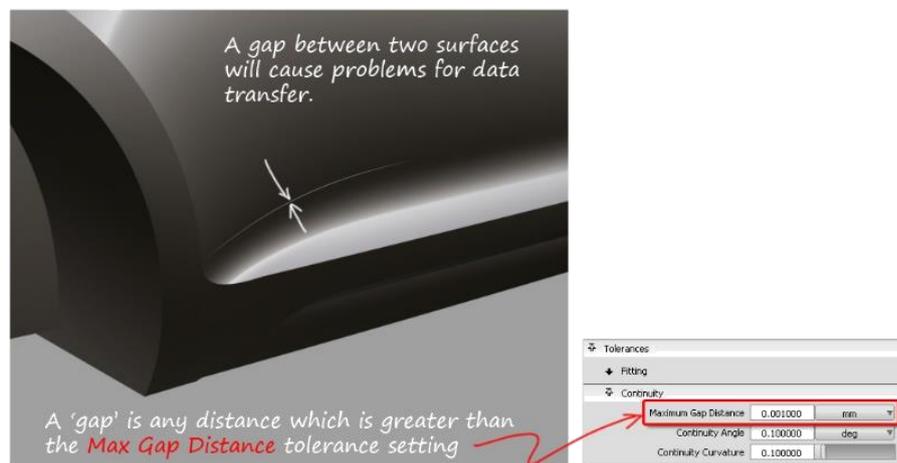


Figura 32. Tolerancia máxima de espacio o GAP [1]

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 especifica sus propias tolerancias de diseño en función al tipo trabajos que normalmente desarrollen.

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.

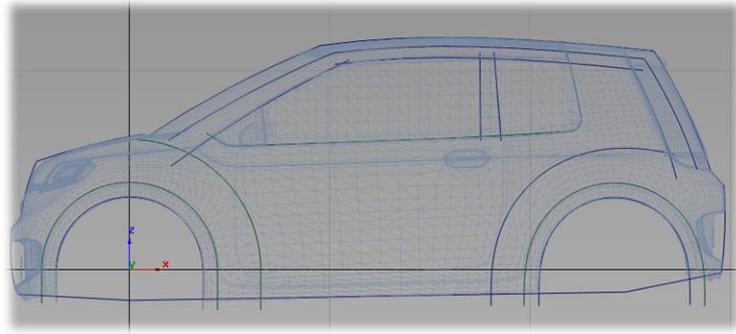


Figura 33. Ejemplo de curvas básicas de un vehículo [1]

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 de unión 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

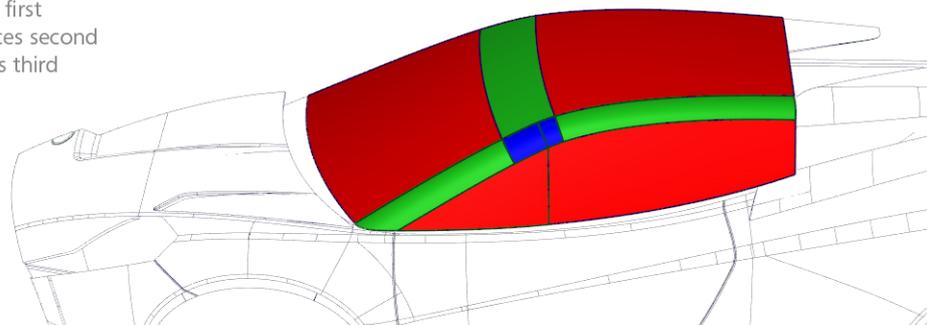


Figura 34. Descripción visual de los tipos de superficies [1]

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.

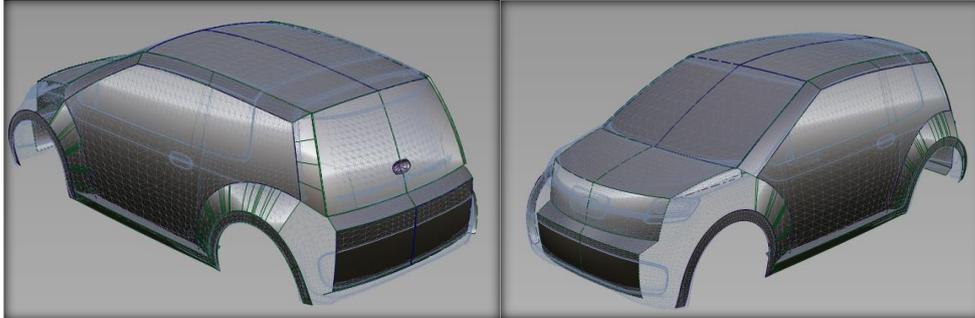


Figura 35. Superficies primarias de un vehículo [1]

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.

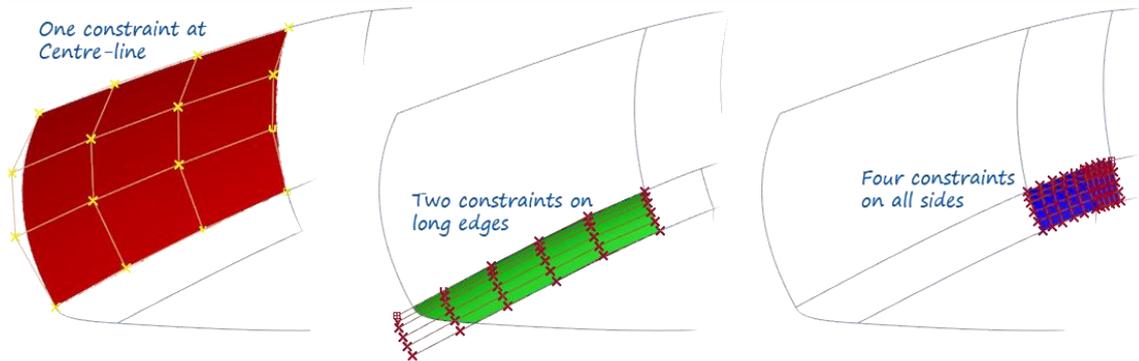


Figura 36. Descripción visual de los tipos de superficies [1]

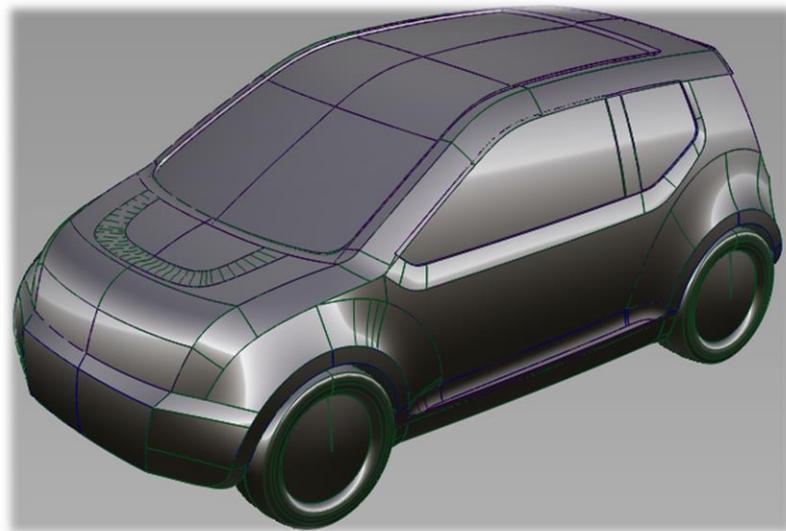


Figura 37. Ejemplo de modelo con los tres tipos de superficies [1]

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 una gran cantidad 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.

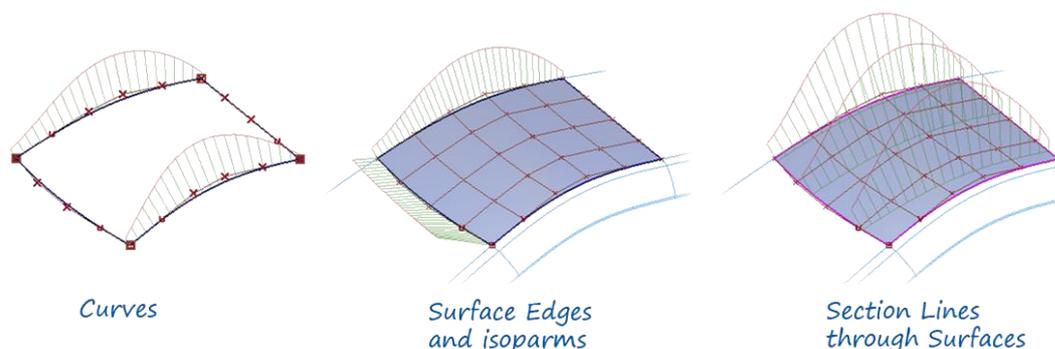


Figura 38. Diferentes diagramas de peine [1]

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.

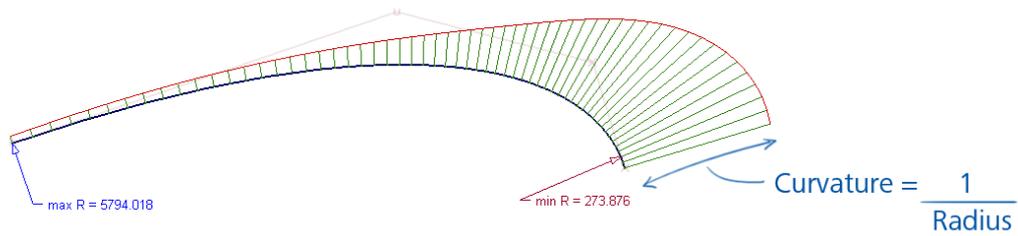


Figura 39. Definición de curvatura [1]

- 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.

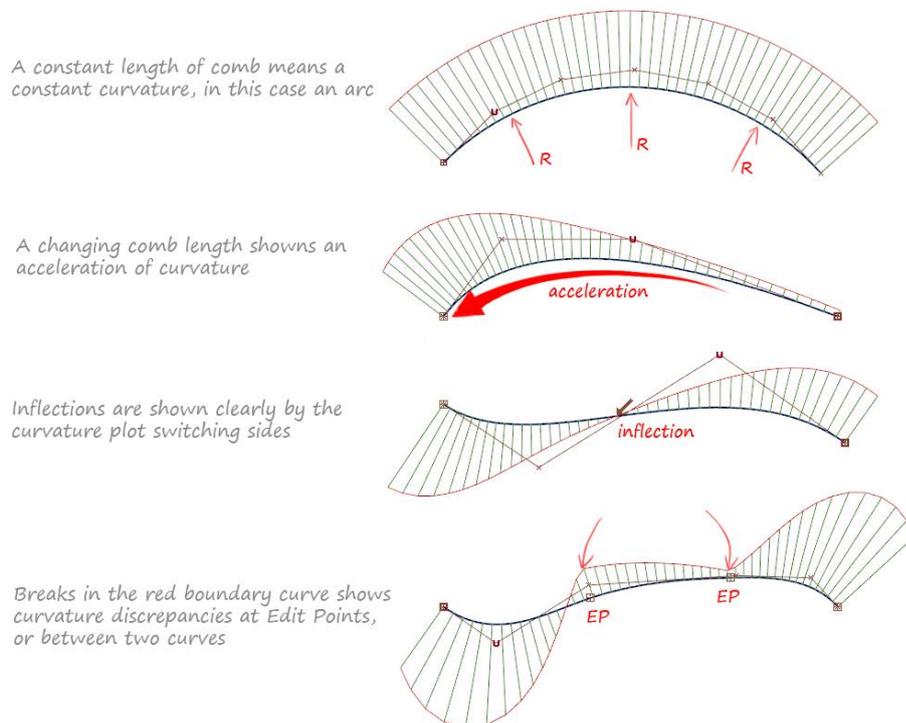


Figura 40. Diferentes diagramas de peine [1]

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.

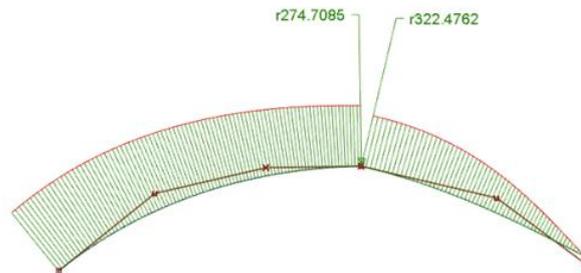


Figura 41. Diagrama de peine con continuidad en posición o G0 [1]

Continuidad G1

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

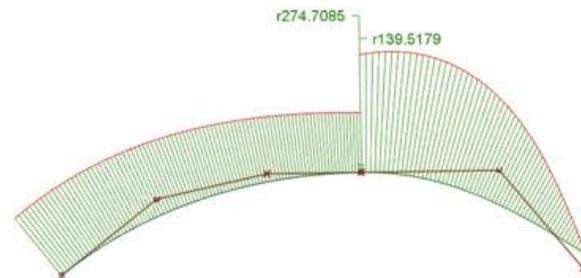


Figura 42. Diagrama de peine con continuidad en tangencia o G1 [1]

Continuidad G2

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

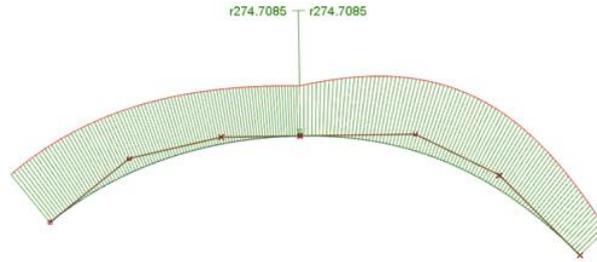


Figura 43. Diagrama de peine con continuidad en curvatura o G2 [1]

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*”

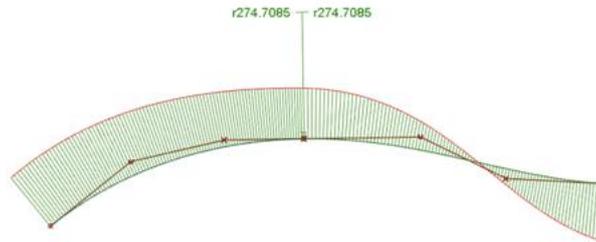


Figura 44. Diagrama de peine con continuidad en curvatura tangente o G3 [1]

3.6.2. EVALUACIÓN MEDIANTE LINEAS 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 (Figura 45) o variaciones irregulares que puedan indicar problemas estéticos o funcionales.



Figura 45. 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.

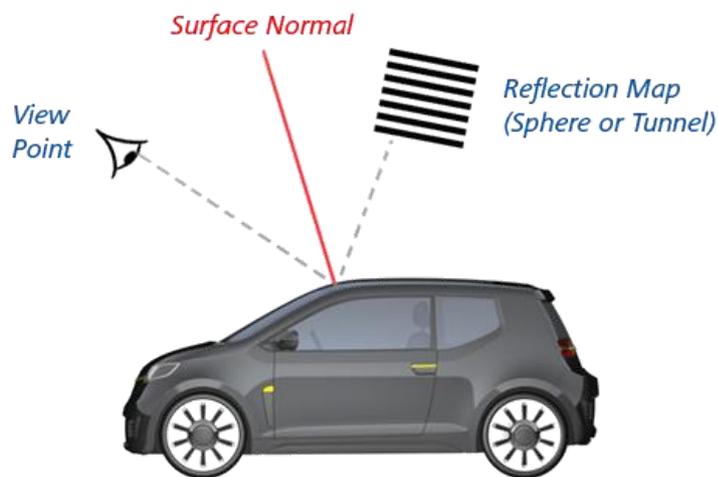


Figura 46. Representación de las líneas de reflexión [1]

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.

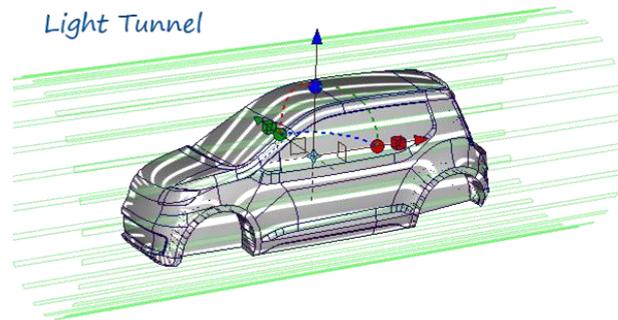
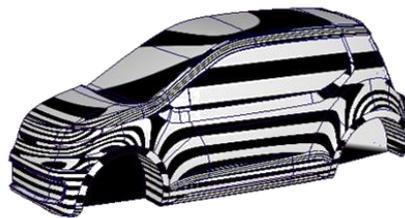


Figura 47. Análisis de túnel de luz [1]

- 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.



Horizontal/Vertical
(Zebra stripes)

Figura 48. 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.

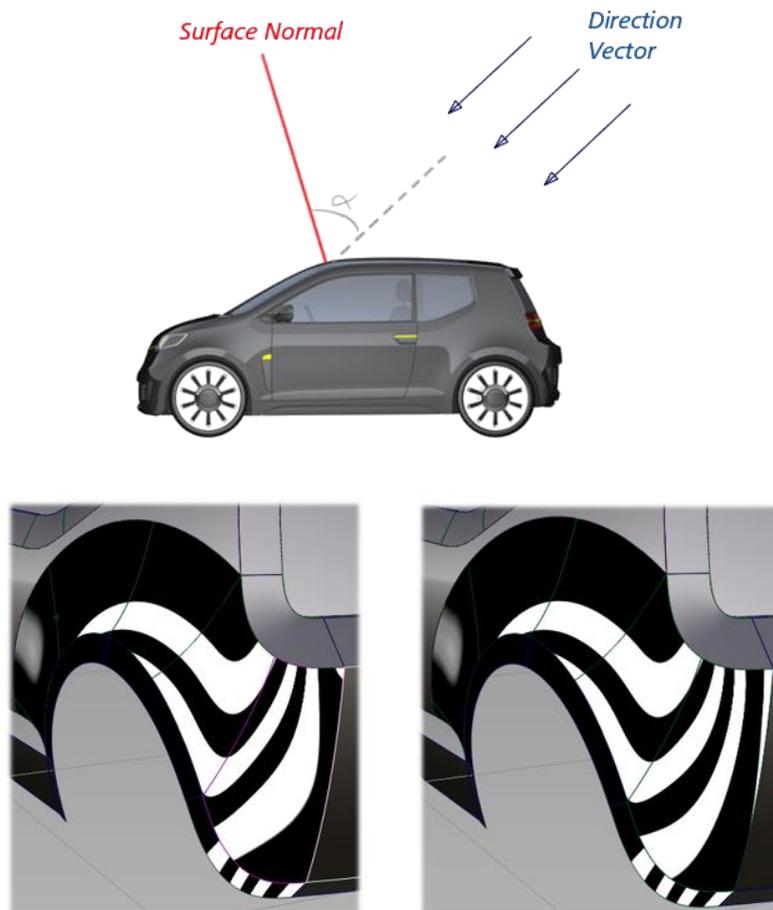


Figura 49. Análisis mediante iso-ángulos [1]

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.

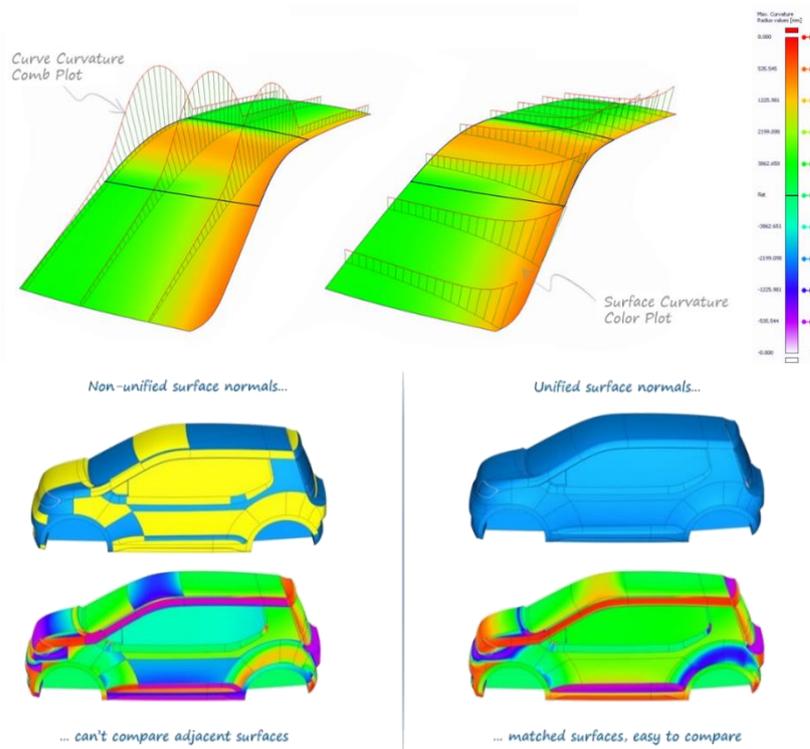


Figura 50. Análisis mediante mapas o diagramas de curvatura [1]

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.

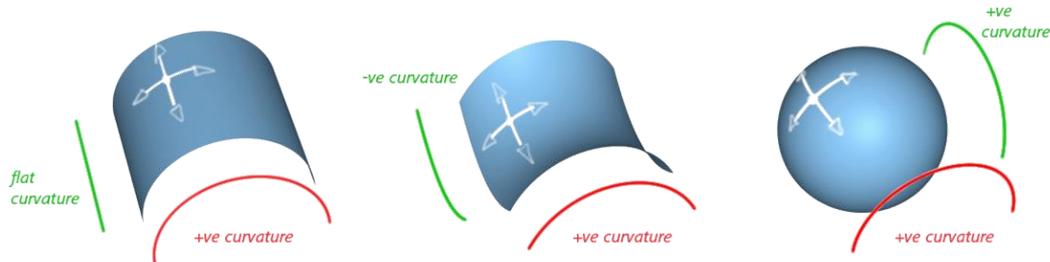


Figura 51. Tipos de curvatura en elementos geométricos básicos [1]

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.

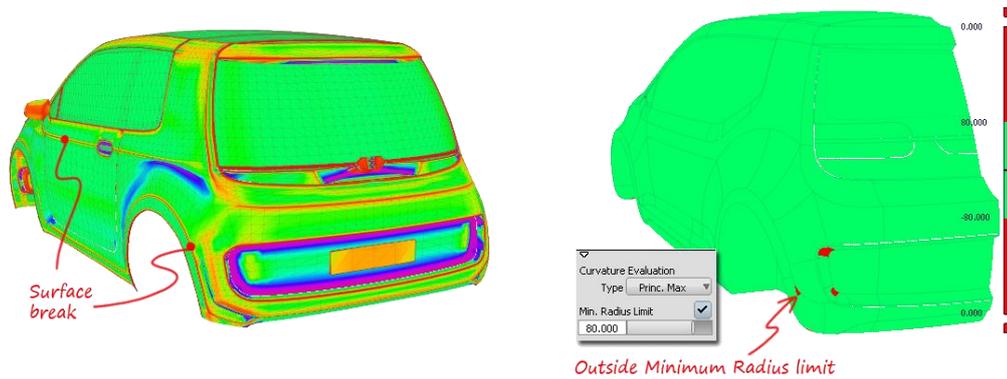


Figura 52. Curvatura de mínimo o máximo [1]

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.

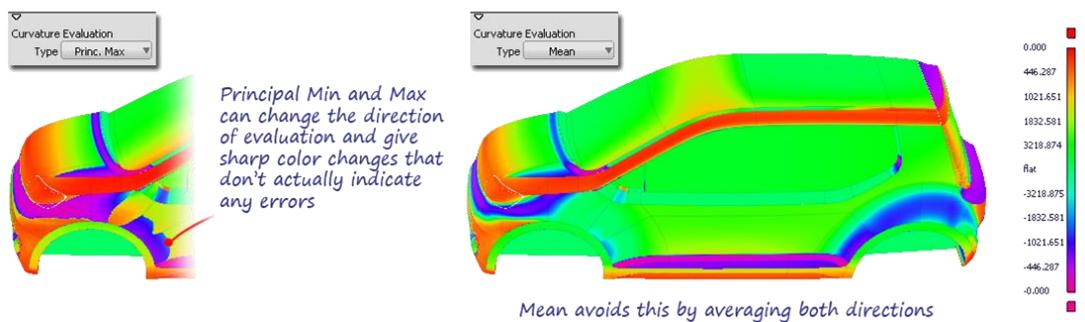


Figura 53. Curvatura media [1]

Gaussiano

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

$$\text{Gaussiano} = \text{Principal Max} * \text{Principal Min}$$

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.

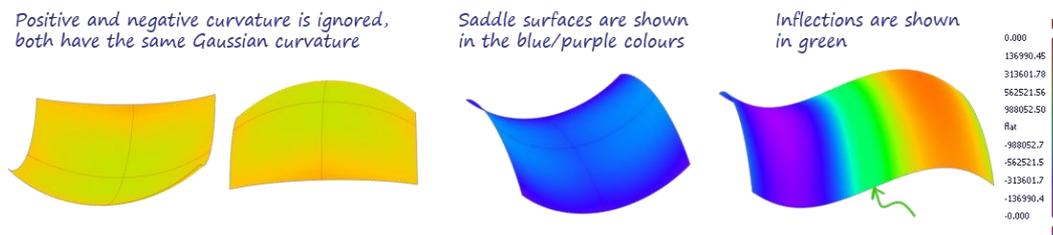


Figura 54. Identificación de superficies de silla o inflexiones [1]

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.

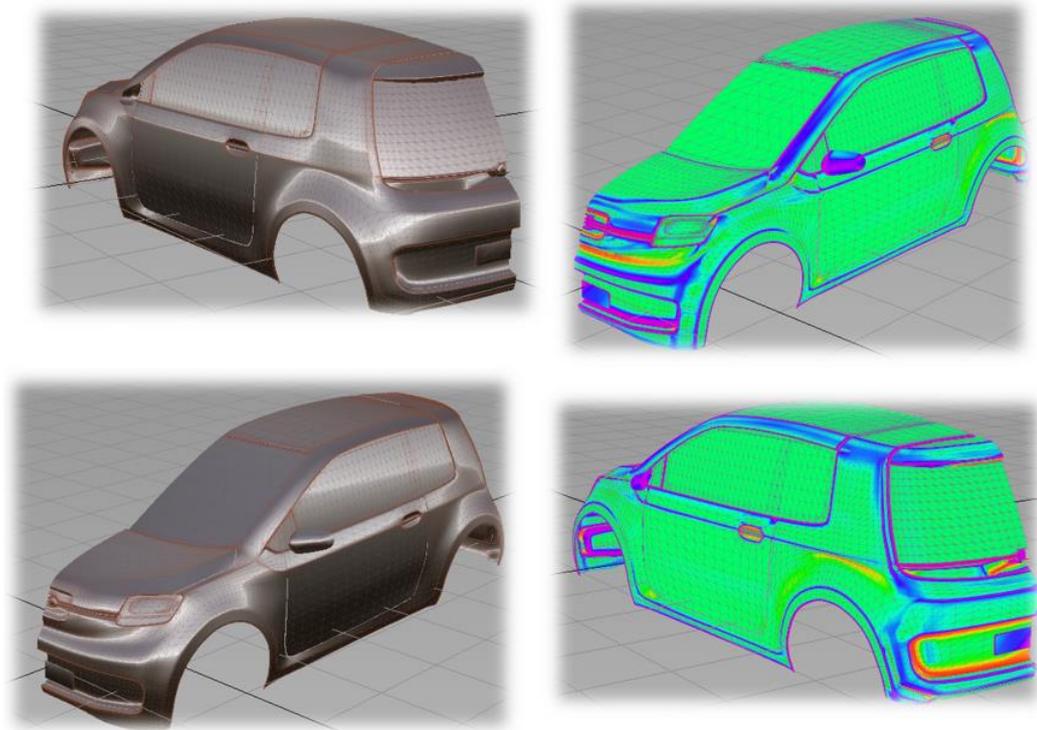


Figura 55. Identificación de bordes utilizando diagramas de curvatura [1]

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.

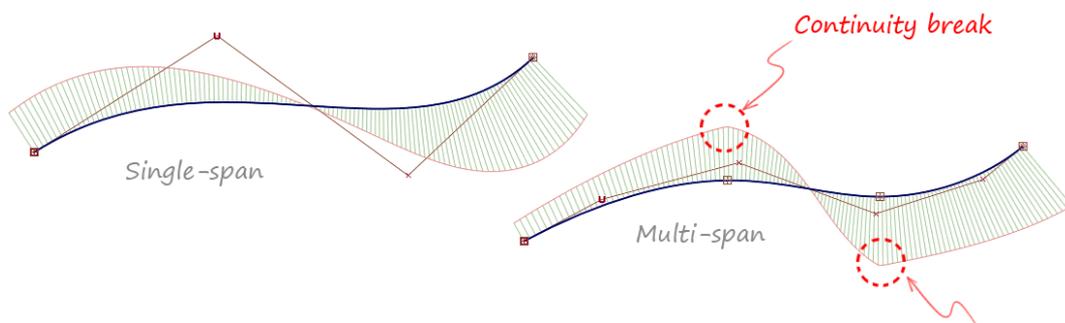


Figura 56. Diferencia entre curva Single-Span (izq.) y Multi-Span (dcha.) [1]

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).

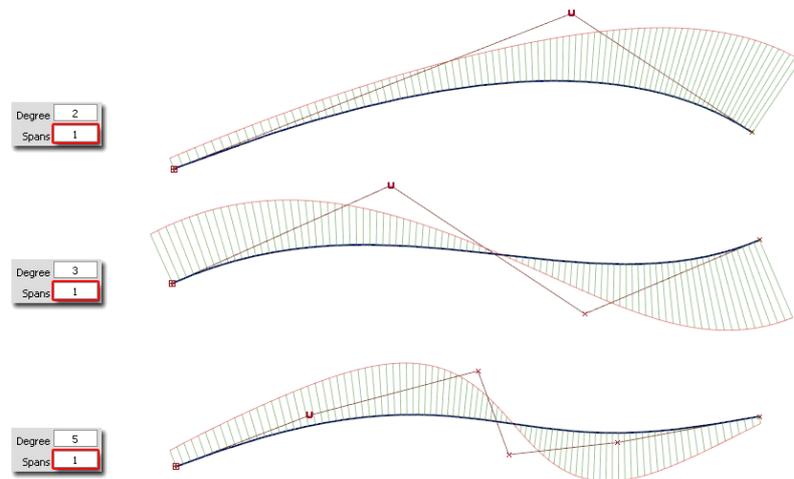


Figura 57. Diferentes grados de curvas [1]

- 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 determinadas condiciones de continuidad en los contornos, el programa, intrínsecamente, realiza un aumento del grado matemático para poder cumplir dichas condiciones.

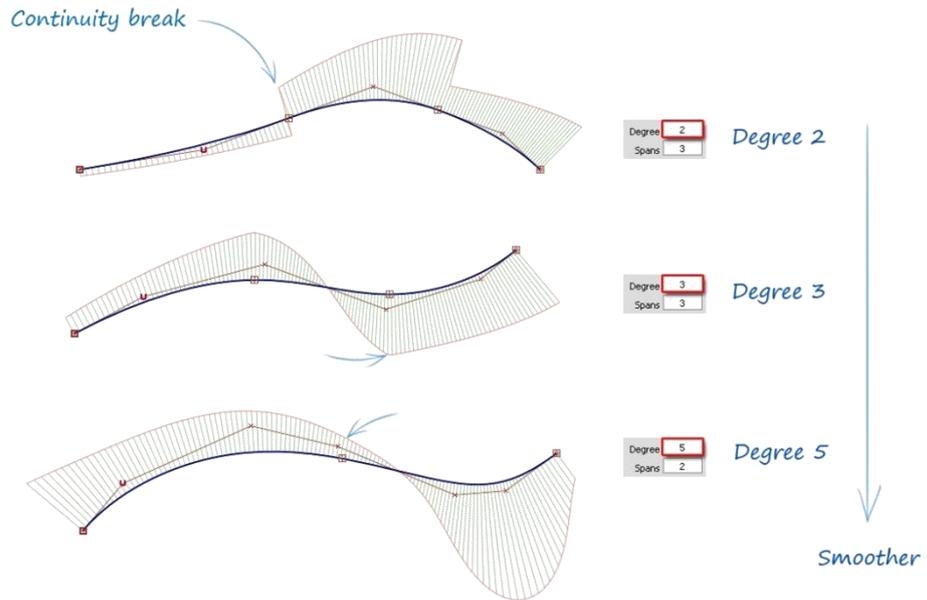


Figura 58. Resultado de un aumento del grado en condiciones de discontinuidad en una curva [1]

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.

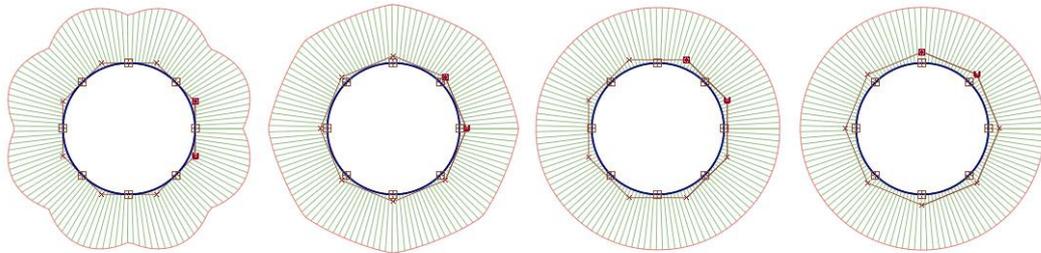


Figura 59. Círculos Multi-Span de grado matemático 2, 3, 4 y 5, de izq. a dcha. [1]

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 N° 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.

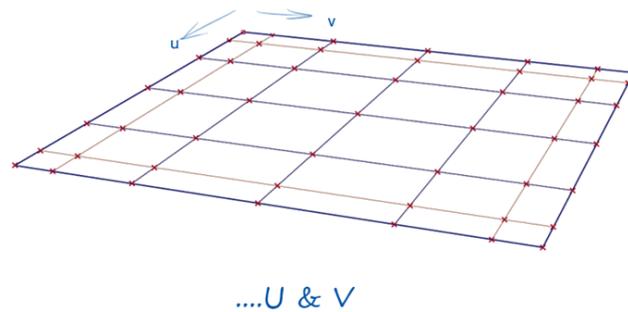


Figura 60. Superficie plana de cuatro lados [1]

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.

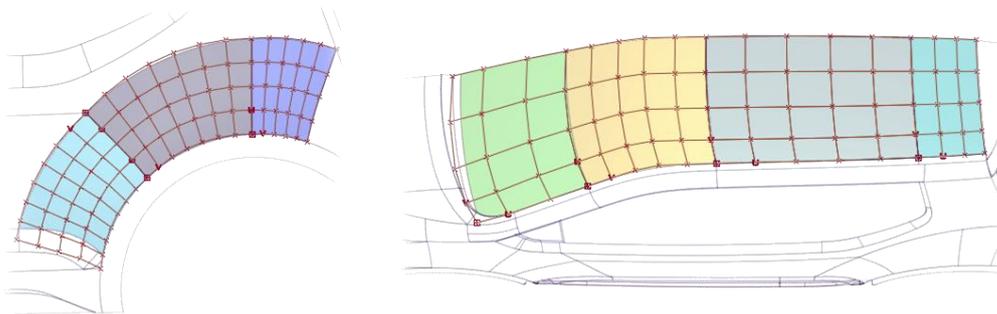


Figura 61. Superficies grandes formadas por sub-superficies de cuatro lados [1]

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:

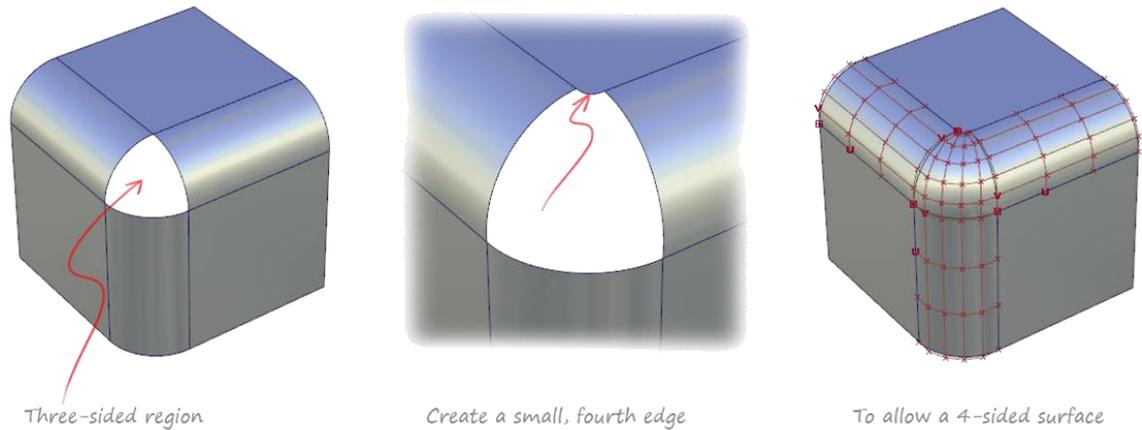


Figura 62. Procedimiento de creación mediante superficies de cuatro lados [1]

- 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.

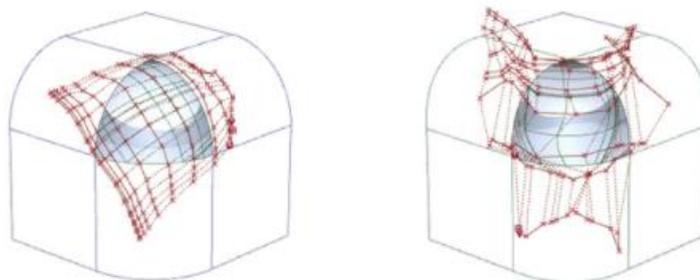


Figura 63. Distribución de los puntos de control para el caso de una superficie de tres lados. Continuidad G1 (izq.) y G2 (dcha.) [1]

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.

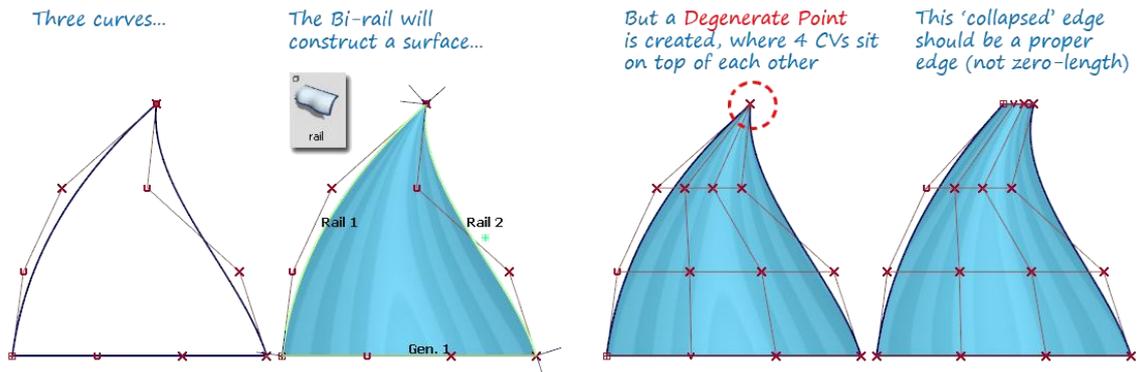


Figura 64. Concepto de punto degenerado [1]

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.

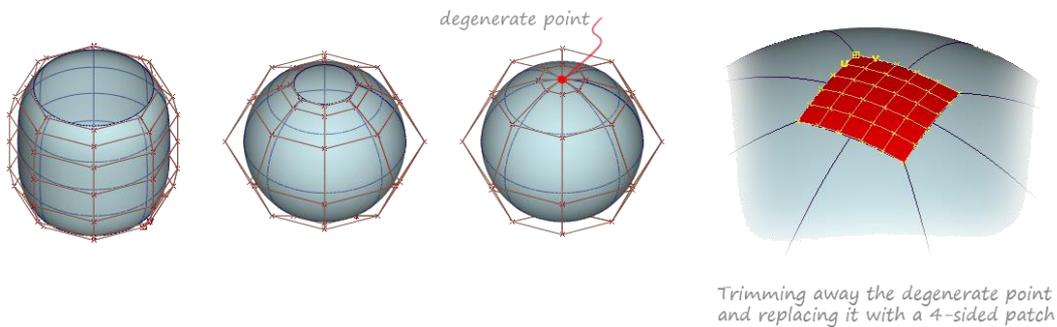


Figura 65. Sellado de una esfera a partir de una superficie plana [1]

4.2.2. SUPERFICIE DE CUATRO LADOS, DOS DE ELLOS TANGENTES ENTRE SÍ.

Algo parecido a lo anterior (*puntos degenerados*) 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.

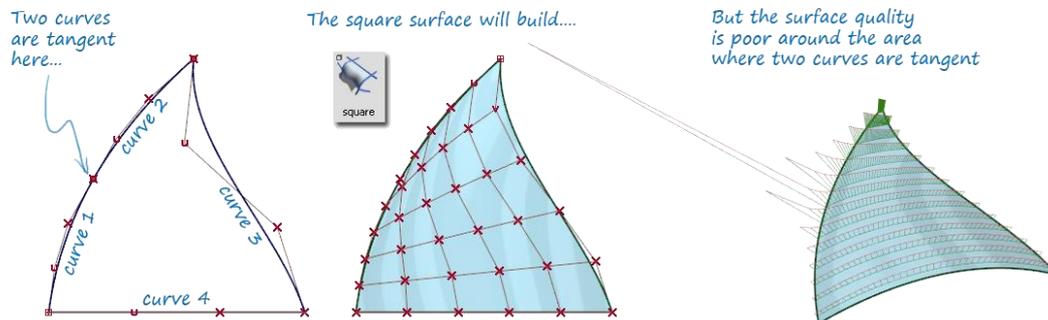


Figura 66. Superficie de cuatro lados con dos lados tangentes entre sí. [1]

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.

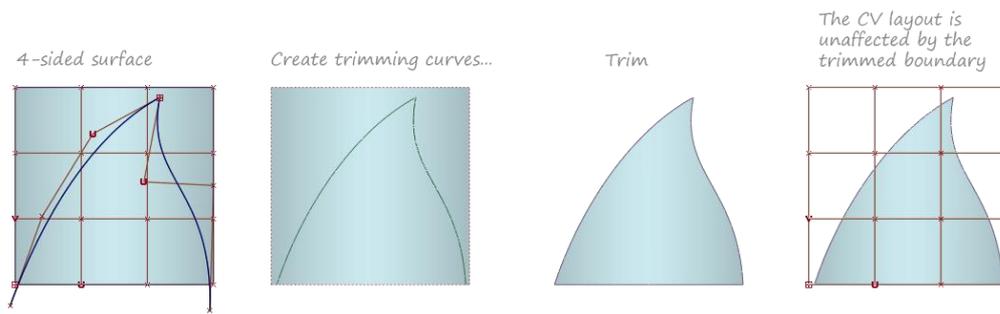


Figura 67. Superficie con la forma recortada. [1]

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.

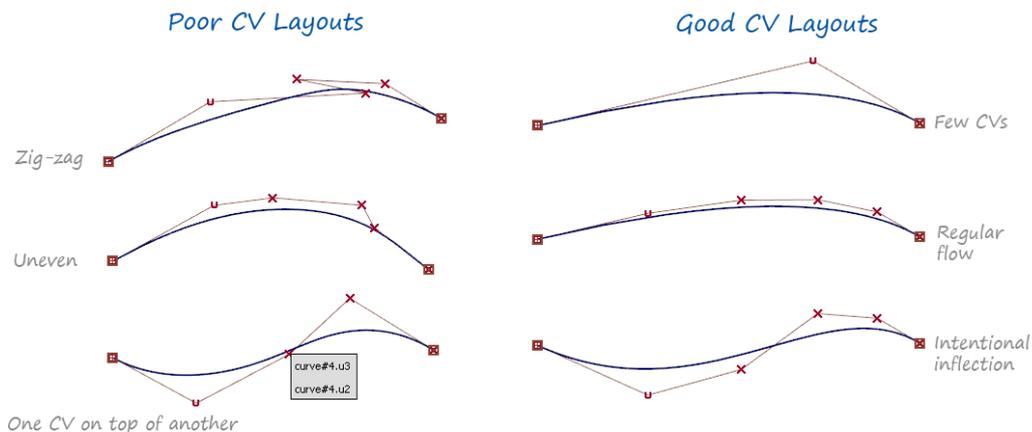


Figura 68. Diferentes ejemplos de flujo de puntos de control [1]

³ Cambio consistente en la curvatura de la curva.

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.

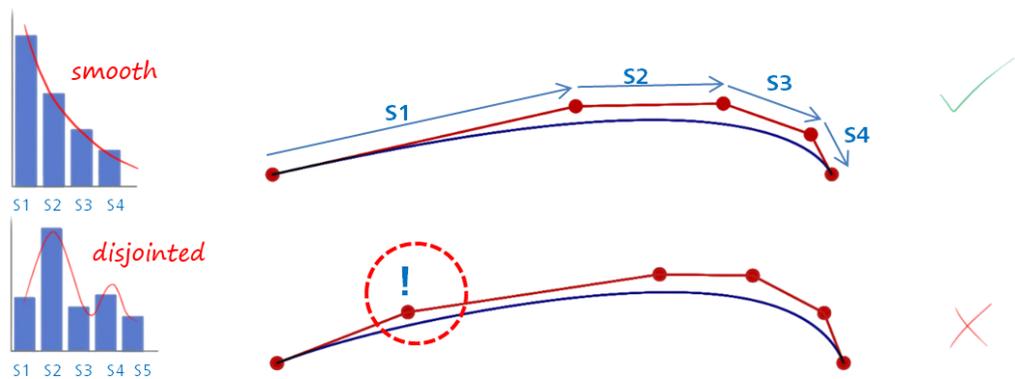


Figura 69. Espaciado de los puntos de control [1]

- 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.

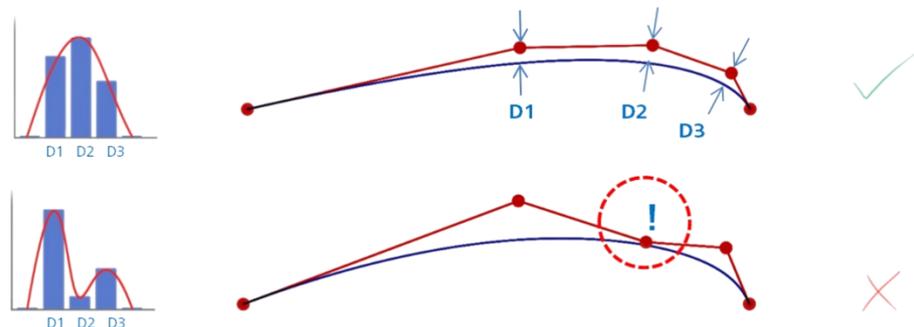


Figura 70. Distancia de los puntos de control a la curva [1]

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.

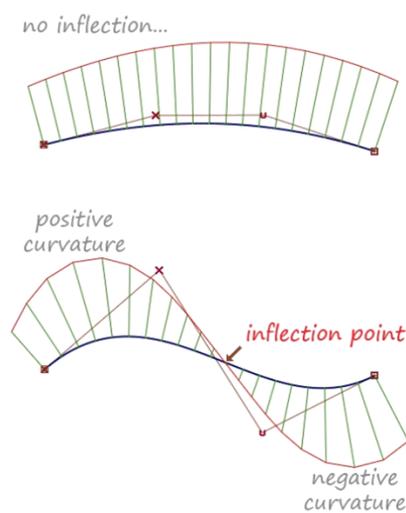


Figura 71. Puntos de inflexión [1]

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 automáticamente en torno a la forma de la curva.

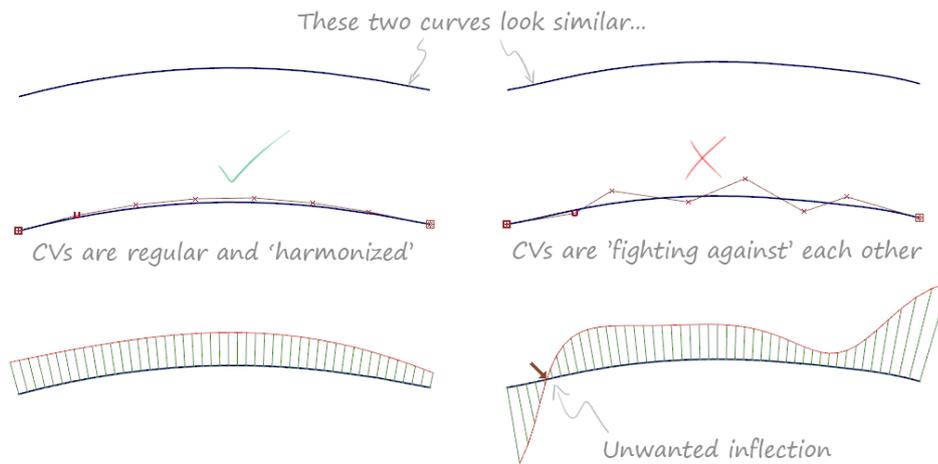


Figura 72. Diferentes flujos de puntos de control en una misma curva [1]

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.

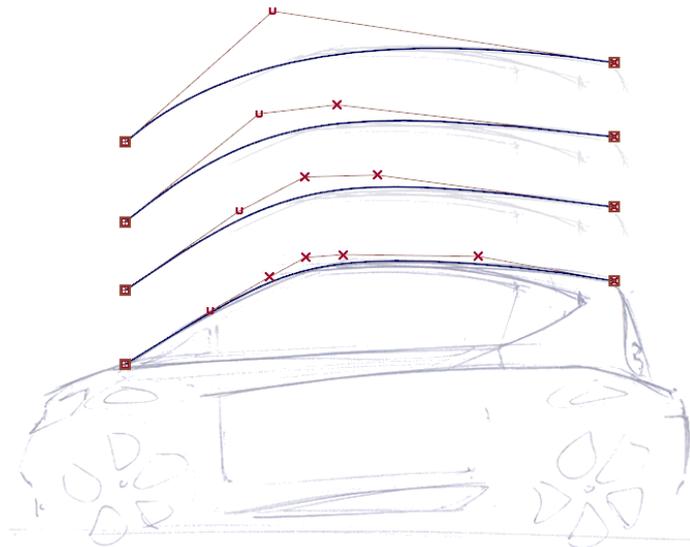


Figura 73. Proceso de creación y ajuste de una curva a una forma deseada. [1]

4.4. REGLA DE ORO N° 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.

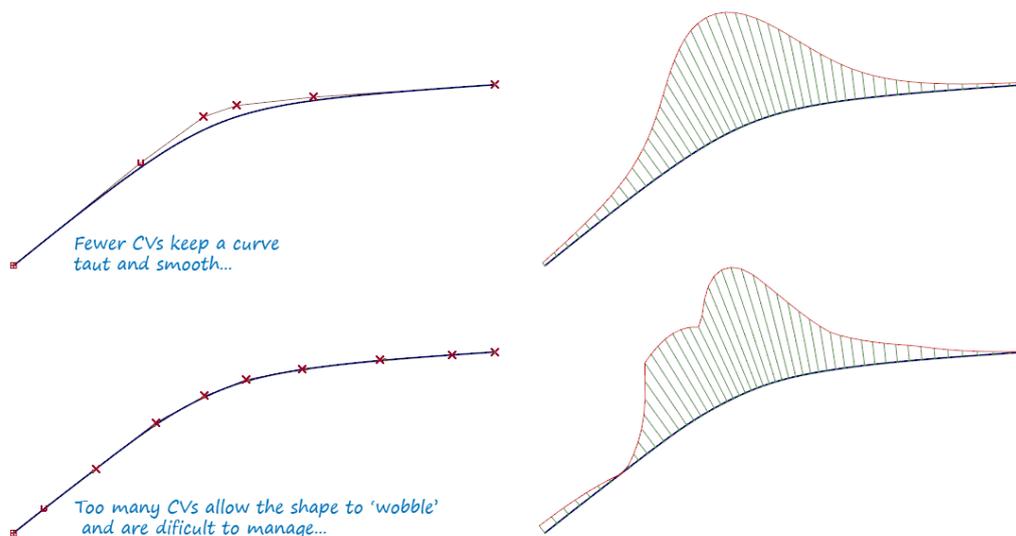


Figura 74. Diferencias en la curvatura de curvas con pocos y muchos puntos de control. [1]

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.

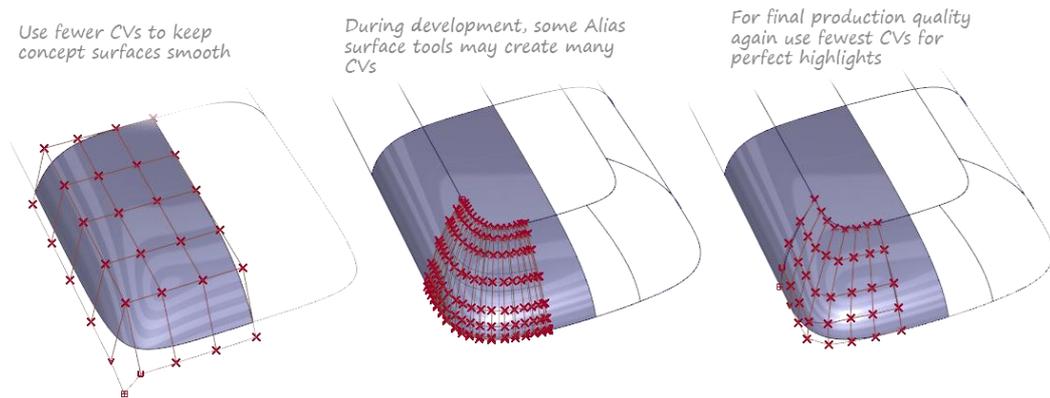


Figura 75. Diferentes soluciones para una misma superficie [1]

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.

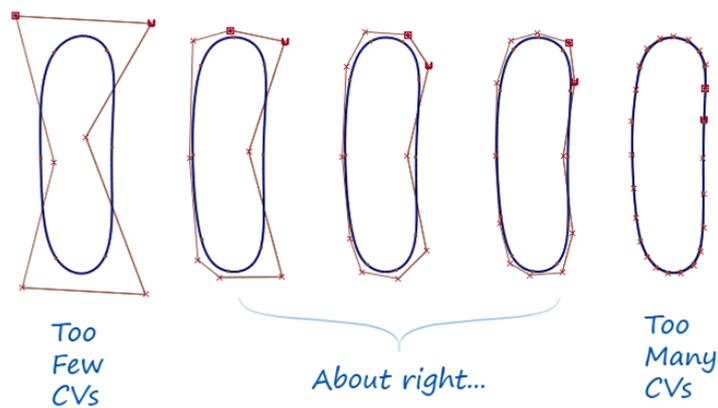


Figura 76. Esquema de cantidad de puntos de control [1]

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.

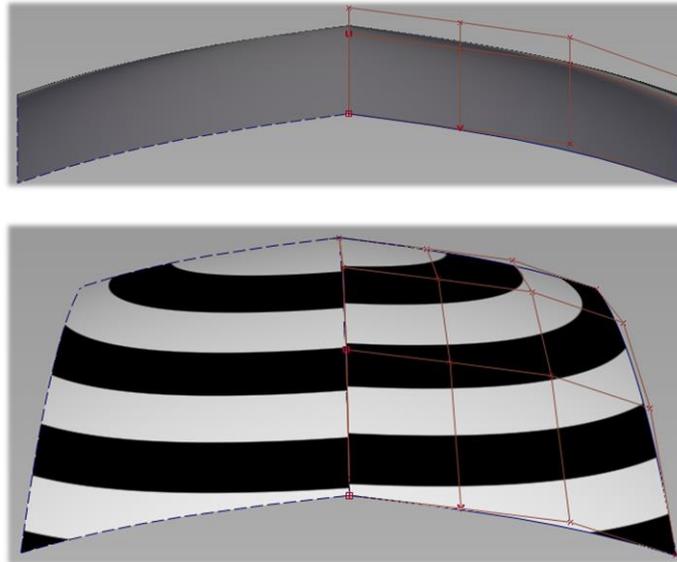


Figura 77. Problema de continuidad en simetría de tipo cresta

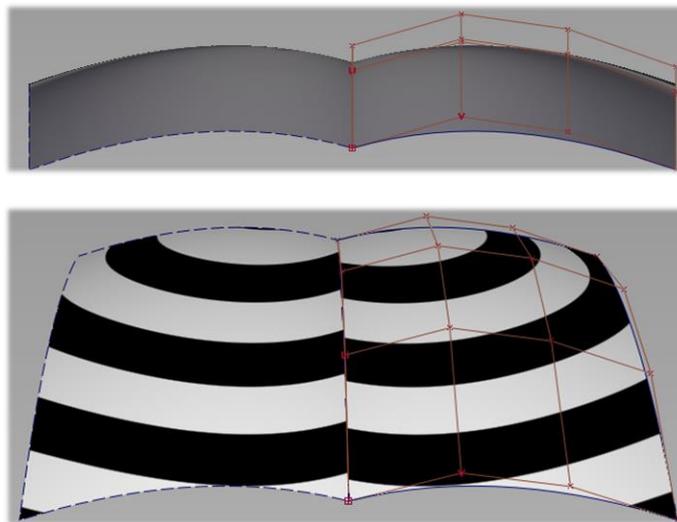


Figura 78. Problema de continuidad en simetría de tipo valle

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

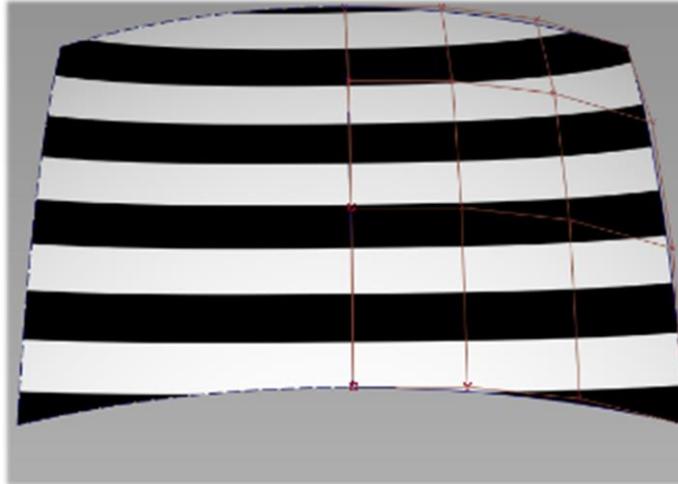


Figura 79. Continuidad en pieza simétrica

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.

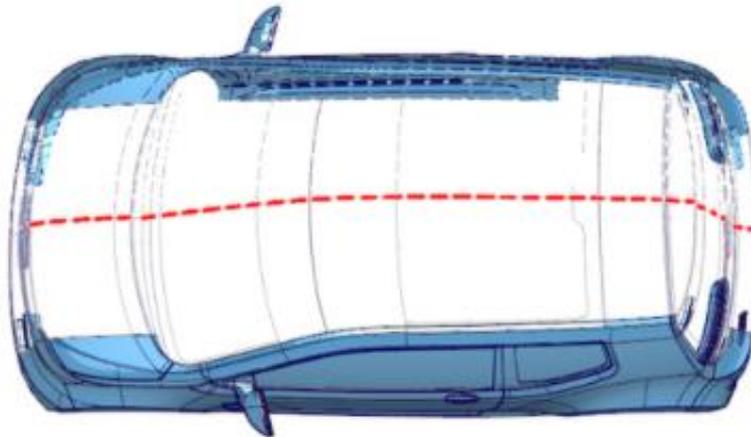


Figura 80. Superficies de un vehículo que no cortan el eje de simetría [1]

- 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. e. seleccionando los puntos de control simétricos antes de modificarlos. De esta manera nos aseguramos de que la solución es satisfactoria.

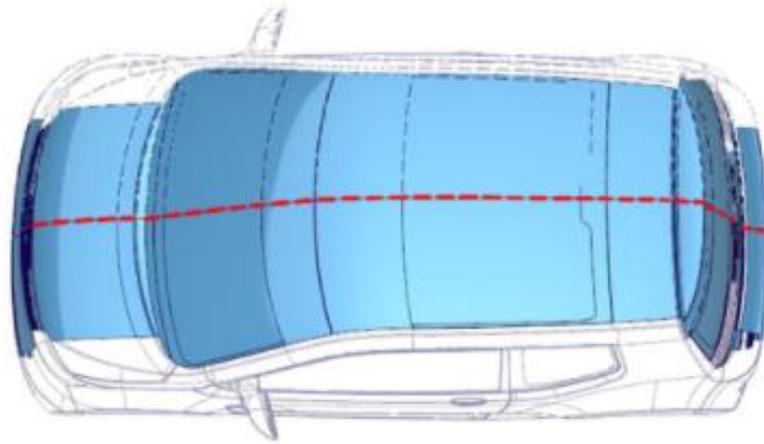


Figura 81. Superficies de un vehículo que cortan el eje de simetría [1]

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:

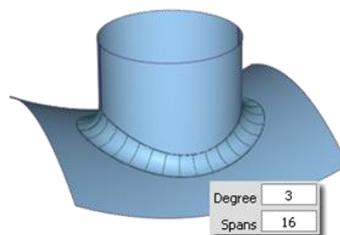


Figura 82. Superficie final deseada [1]

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.

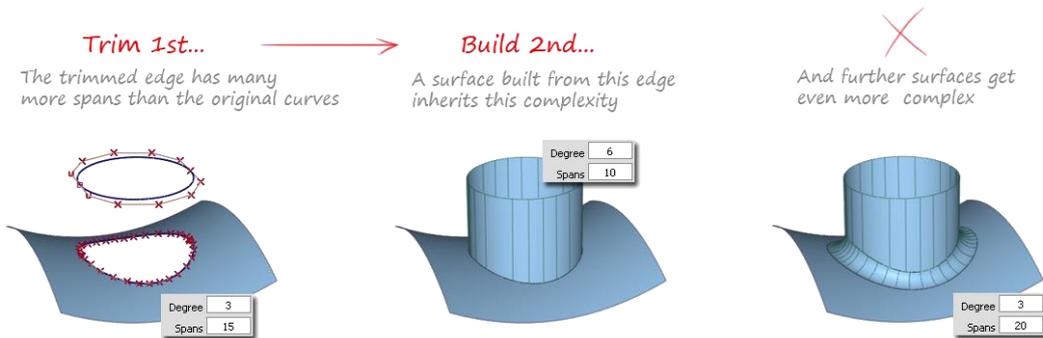


Figura 83. Proceso de creación de superficies a partir de aristas de recorte [1]

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:

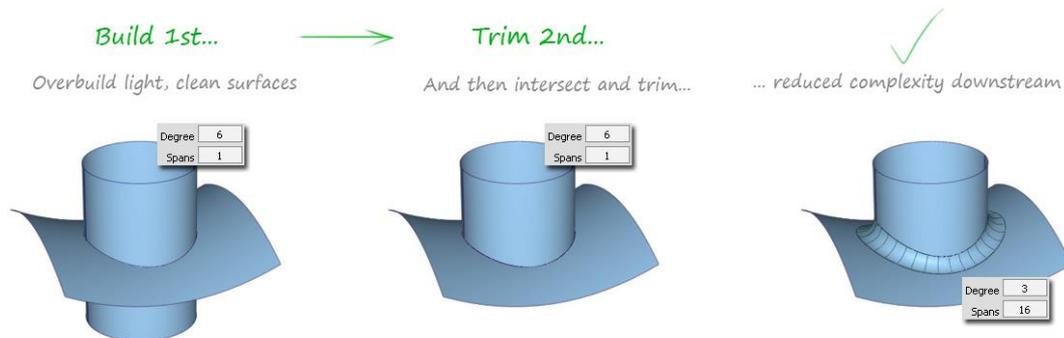


Figura 84. Proceso de creación de superficie aplicando la Regla de Oro N°6 [1]

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.

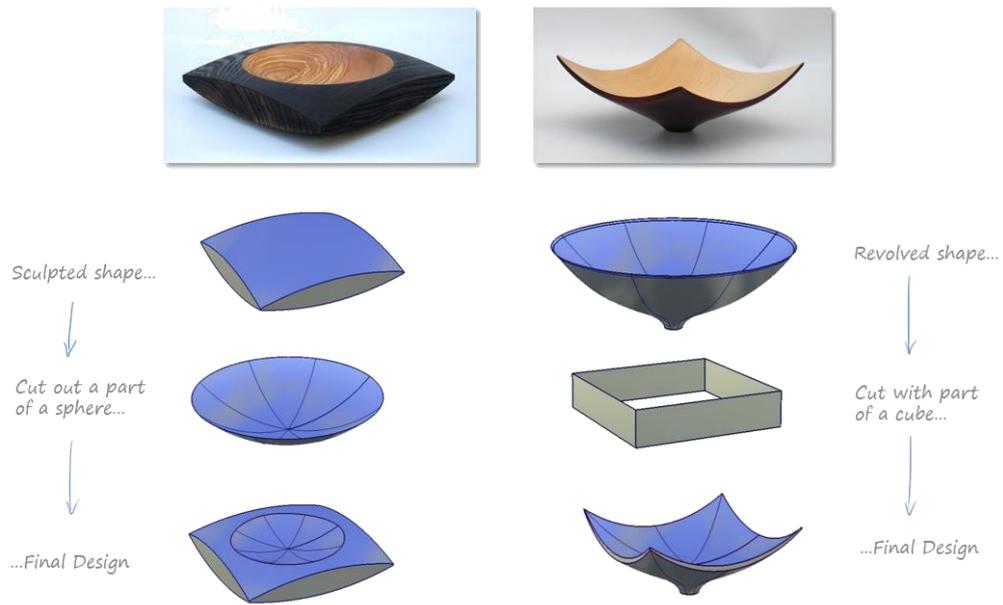


Figura 85. Obtención de formas complejas a través de intersección de superficies simples. [1]

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 86. 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.

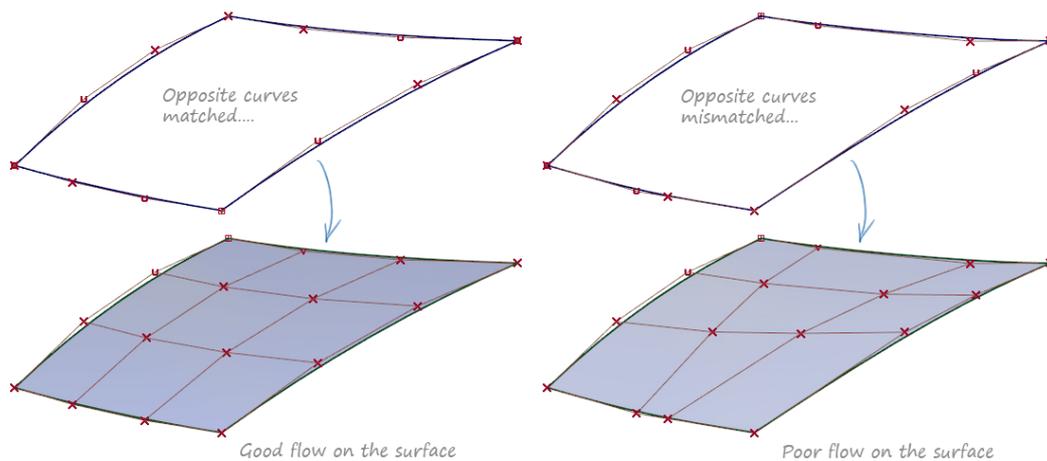


Figura 87. Ejemplos de distribución de filas de puntos de control. [1]

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

1. Crear las curvas básicas.

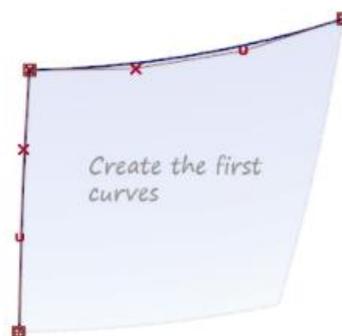


Figura 88. Creación de las curvas básicas [1]

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



Figura 89. Copiar arista [1]

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



Figura 90. Adaptar arista copiada [1]

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.



Figura 91. Arreglo de la malla de puntos de control con cuatro aristas preexistentes [1]

5. ANÁLISIS DE UN MODELO EXTRAÍDO DE UNA BIBLIOTECA ONLINE DE OBJETOS CAD.

En el presente apartado se analizará, aplicando las exigencias del modelado de superficies de clase A, un modelo de un vehículo Volkswagen Beetle (*Figura 92*), en España conocido como Volkswagen “Escarabajo”) extraído de una librería online de objetos CAD [2]. Se desconoce el fin con el que se realizó dicho modelo. Esto quiere decir que, aunque como resultado del análisis se obtenga que el modelo sufre de graves carencias de calidad superficial no conlleva a que el modelo sea malo, sino que no es adecuado de cara al concepto de modelado de superficies de clase A. Pero aun así puede ser perfectamente correcto si el objetivo del modelador era obtener un modelo conceptual para el desarrollo de prototipos en las fases intermedias del diseño del vehículo, por ejemplo.

Una vez realizado este inciso sobre la importancia de conocer en qué fase del diseño se encuentra el modelo a la hora de establecer que exigencias se han de imponer al evaluarlo se pasa al objetivo que se busca en el presente apartado. El objetivo aquí es analizar la calidad de las superficies (principalmente de la carrocería) de modo que se puedan ver ejemplificadas las herramientas de análisis con las que cuenta CATIA V5 ICEM SHAPE DESIGN y cómo interpretar los resultados que aportan.

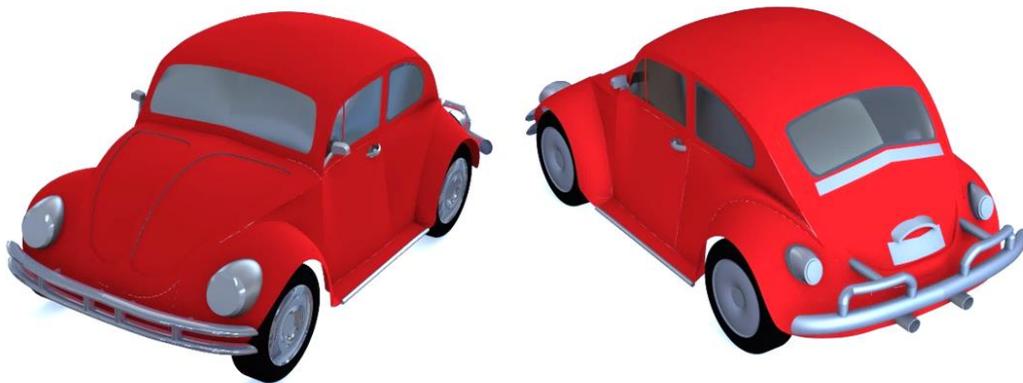


Figura 92. Modelo del vehículo Volkswagen Beetle [2]

Antes de nada, se va a dejar claro la nomenclatura que se va a seguir a lo largo del presente proyecto (*Figura 93*) para denominar las diferentes partes y superficies del vehículo.

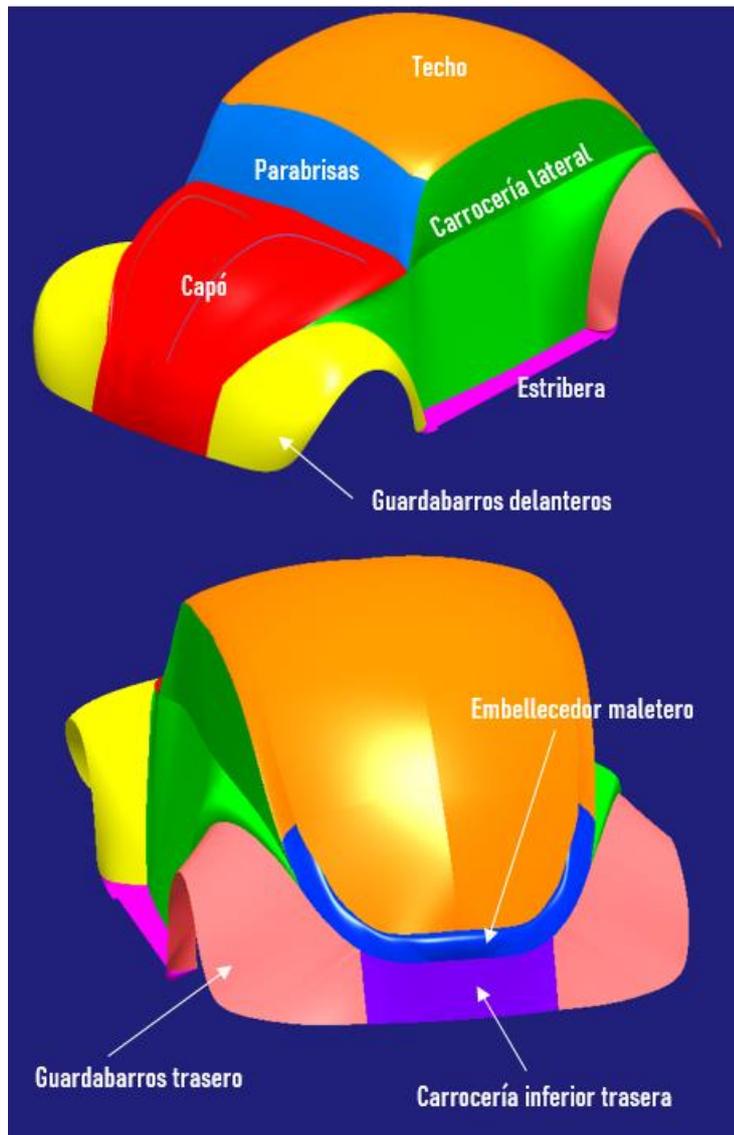


Figura 93. Nomenclatura tomada para las superficies de la carrocería

5.1. EVALUACIÓN VISUAL PREVIA

En primer lugar, antes de entrar al programa CAD, se analizará brevemente el coche desde el punto de vista estético haciendo uso de una imagen en la cual se muestra el vehículo al que se le ha aplicado una pintura metalizada que muestra bastante bien los reflejos de una luz (*Figura 94*).

Cabe destacar que en este apartado no se utilizarán conceptos de modelado de superficies de clase A ni de técnicas de modelado, sino que simplemente se analizará desde el punto de vista de cualquier persona que nunca ha diseñado, es decir, la primera impresión que aporta el vehículo al verlo.



Figura 94. Imagen del modelo del vehículo de Internet con carrocería en efecto metalizado [2]

Para ello, este apartado no lo he realizado en base a mis impresiones, sino que he pedido a mis padres y a alguno de mis amigos e incluso compañeros de la facultad que me diesen su opinión acerca del acabado superficial del vehículo que les mostraba. En todos los casos la opinión ha sido buena, diciendo que todo parece correcto y que además la forma del vehículo era igual a la real que todos conocemos. Todos ellos han mencionado la calidad de los guardabarros y del capó, que parecen bastante estéticos, agradables y realistas. Por otro lado, alguno de ellos ha mencionado el techo, en el cual dicen que “*puede verse como si fuesen dos mitades soldadas, no parece una chapa entera*”.



Figura 95. Resultado de las opiniones del análisis visual del modelo de Internet

Este apartado resultará interesante cuando se analice el modelo CAD más en profundidad, desde el punto de vista de superficies de clase A y se puedan comparar ambos resultados.

5.2. EVALUACIÓN MEDIANTE LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE CATIA V5 ICEM SHAPE DESIGN

En el anterior apartado se evaluó visualmente el acabado del vehículo presentando una imagen completa del mismo. Sin embargo, se pidió que centrasen su atención en la carrocería. Cabe destacar que en los posteriores apartados se aislará la carrocería del vehículo, dejando fuera del análisis elementos como ruedas, faros, protectores tubulares, etc. Son elementos sin importancia de cara al modelado de superficies que aquí se trata. De modo que en posteriores imágenes que se presenten solo aparecerá la carrocería del vehículo por comodidad del lector a la hora de visualizar los contenidos.

5.2.1. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA COMPLEJIDAD DE LAS SUPERFICIES.



Figura 96. Imagen del modelo con isoparamétricas visibles del modelo de Internet

Como se puede observar en la *Figura 96* el modelo está formado por superficies tipo NURBS. Una de las cosas que más llaman la atención es que las superficies son más complejas de lo que deberían (*Figura 97*), es decir, están formadas por excesivos parches. Zonas como el techo, parabrisas y carrocería lateral son superficies grandes (superficies primarias) que no tienen

una complejidad excesiva, caracterizadas por formas suaves de modo que con muchos menos puntos de control se podrían haber formado perfectamente.

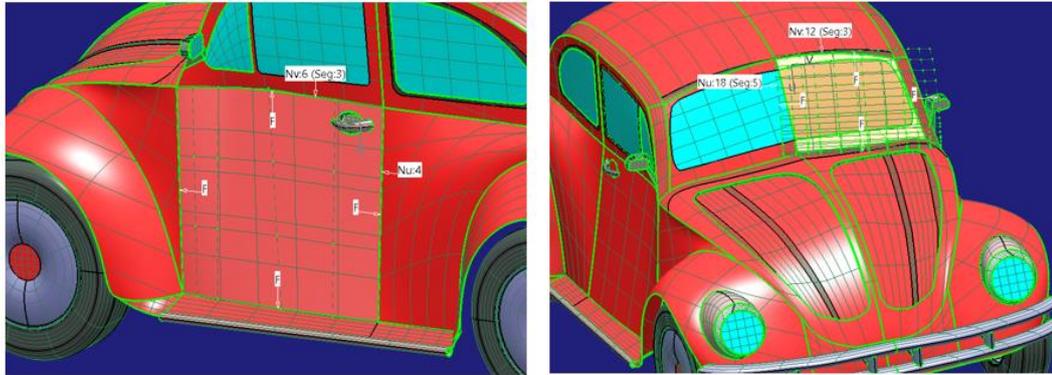


Figura 97. Detalle de la complejidad de superficies primarias (puerta en imagen izquierda y parabrisas en imagen derecha) del modelo de Internet

Se pueden apreciar también abolladuras en la parte posterior del vehículo, en la zona del embellecedor de maletero y en la parte más posterior del guardabarros trasero (Figura 98). Se presenta solo una de las mitades simétricas para mayor claridad.

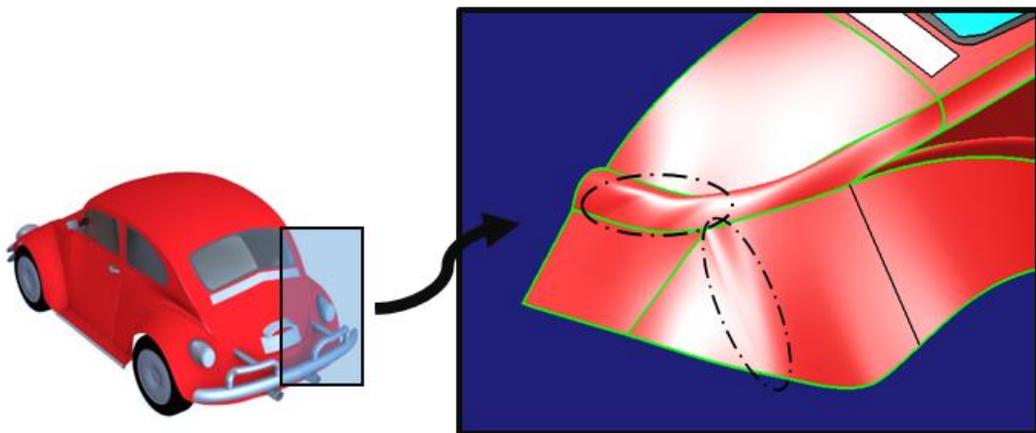


Figura 98. Abolladuras en la parte trasera del vehículo del modelo de Internet

Estas abolladuras son debidas a una mala distribución de los puntos de control, en los que en vez de presentar un flujo con los puntos equiespaciadas o de una forma más progresiva presenta una zona de evidente mayor densidad de puntos de control (Figuras 99 y 100), lo que hace que la superficie se vuelva más inestable ya que un leve cambio en uno de los puntos de control que haga

que se desalinee del resto provoca un gran cambio superficial en poco espacio.
(Recuérdese: **Regla de Oro N°3**, Apartado 4.3.).

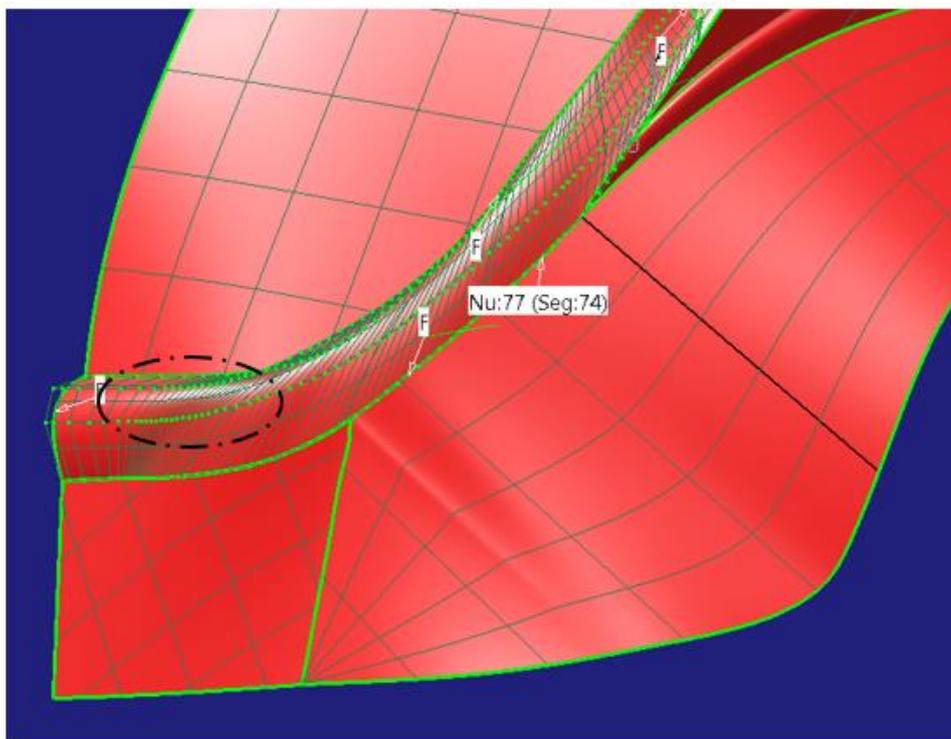


Figura 99. Detalle de los puntos de control en la zona abollada del embellecedor del maletero del modelo de Internet

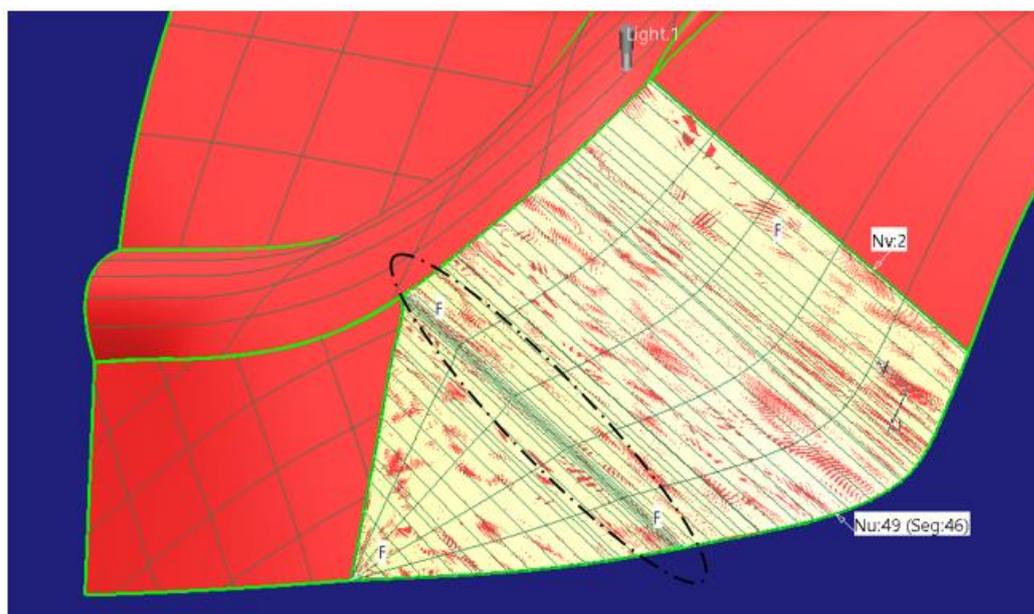


Figura 100. Detalle de los puntos de control en la zona abollada del guardabarros trasero del modelo de Internet

En la parte inferior del capó se puede apreciar el mismo problema de abolladuras (*Figura 101*).

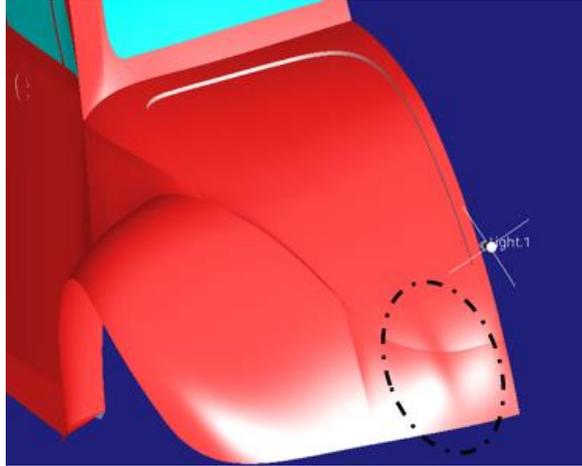


Figura 101. Abolladura en la parte inferior del capó del modelo de Internet

Y como se puede apreciar en la siguiente imagen (*Figura102*), la causa del problema es la misma que se comentaba anteriormente.

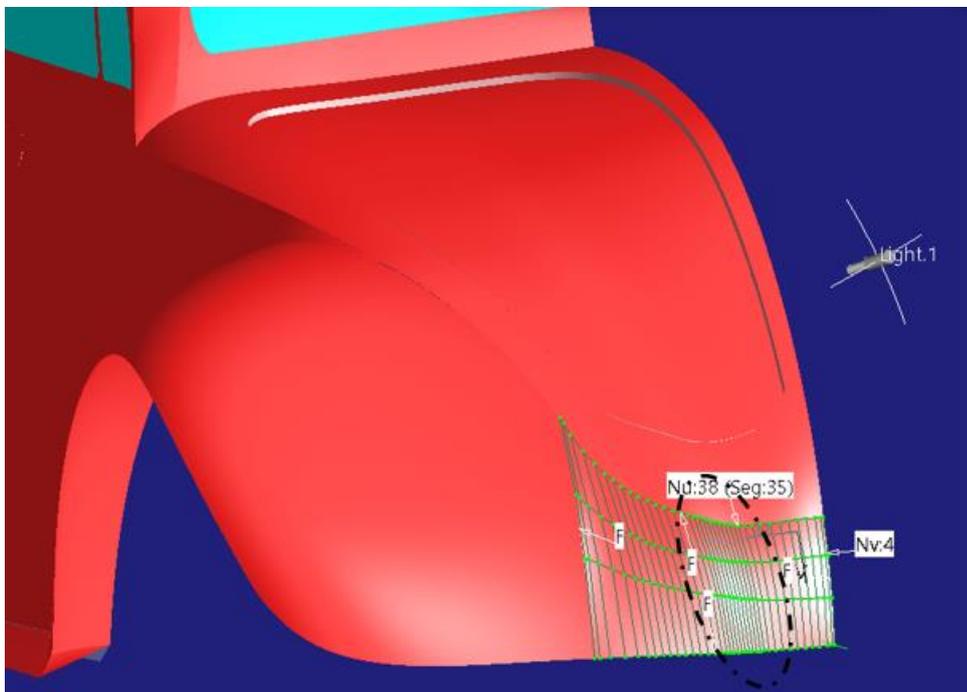


Figura 102. Detalle de los puntos del control en la zona abollada del capó del modelo de Internet

5.2.2. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LOS REFLEJOS

Este análisis permite evaluar los reflejos de la luz sobre las superficies del modelo. A grandes rasgos lo que este tipo de análisis aporta es una simulación de cómo se observaría el reflejo de los objetos en la carrocería del vehículo. Esto se puede entender mejor con la siguiente imagen (*Figura 103*).

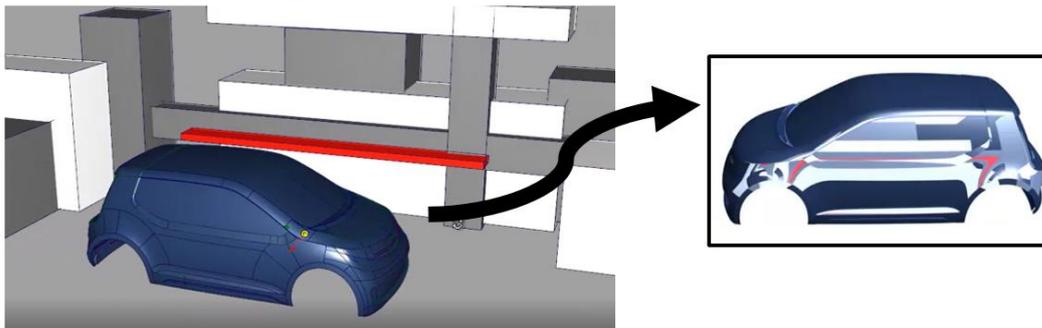


Figura 103. Analogía con la realidad del resultado del análisis de reflejos [1]

En ella se presenta un modelo de vehículo pudiendo estar aparcado junto con una simulación de un paisaje de bloques de diferentes colores. Lo que la simulación de reflejos muestra es lo que vería una persona del paisaje de bloques observándolo a través del lateral del coche.

En CATIA V5 ICEM SHAPE DESIGN esta herramienta la encontramos en *Highlight Analysis* dentro de la barra de herramientas o paleta *Shape Analysis*.



Figura 104. Localización de la herramienta Highlight Analysis en ICEM Shape Design

Esta herramienta muestra líneas de igual luminosidad sobre las superficies. Estas líneas conectan puntos dónde el ángulo de incidencia de un haz de luz es constante.

Como se vio anteriormente en el apartado sobre análisis de superficies (*Apartado 3.6.2*) se trata de una herramienta muy útil para poder observar

irregularidades y discontinuidades superficiales de una forma muy rápida y visual.

Hay multitud de configuraciones posibles, desde el color con el que mostrar los reflejos hasta los tipos de proyección, así como la densidad de líneas que se desean, etc. Por otro lado, la posición del haz de luz puede ser variada en el espacio dando lugar a infinitas formas de visualización posibles.

Para más información acerca del manejo de esta herramienta consúltese [3].

El resultado obtenido, con la configuración que a mi parecer muestra unos resultados más ilustrativos, es el presentado en la *Figura 105*.

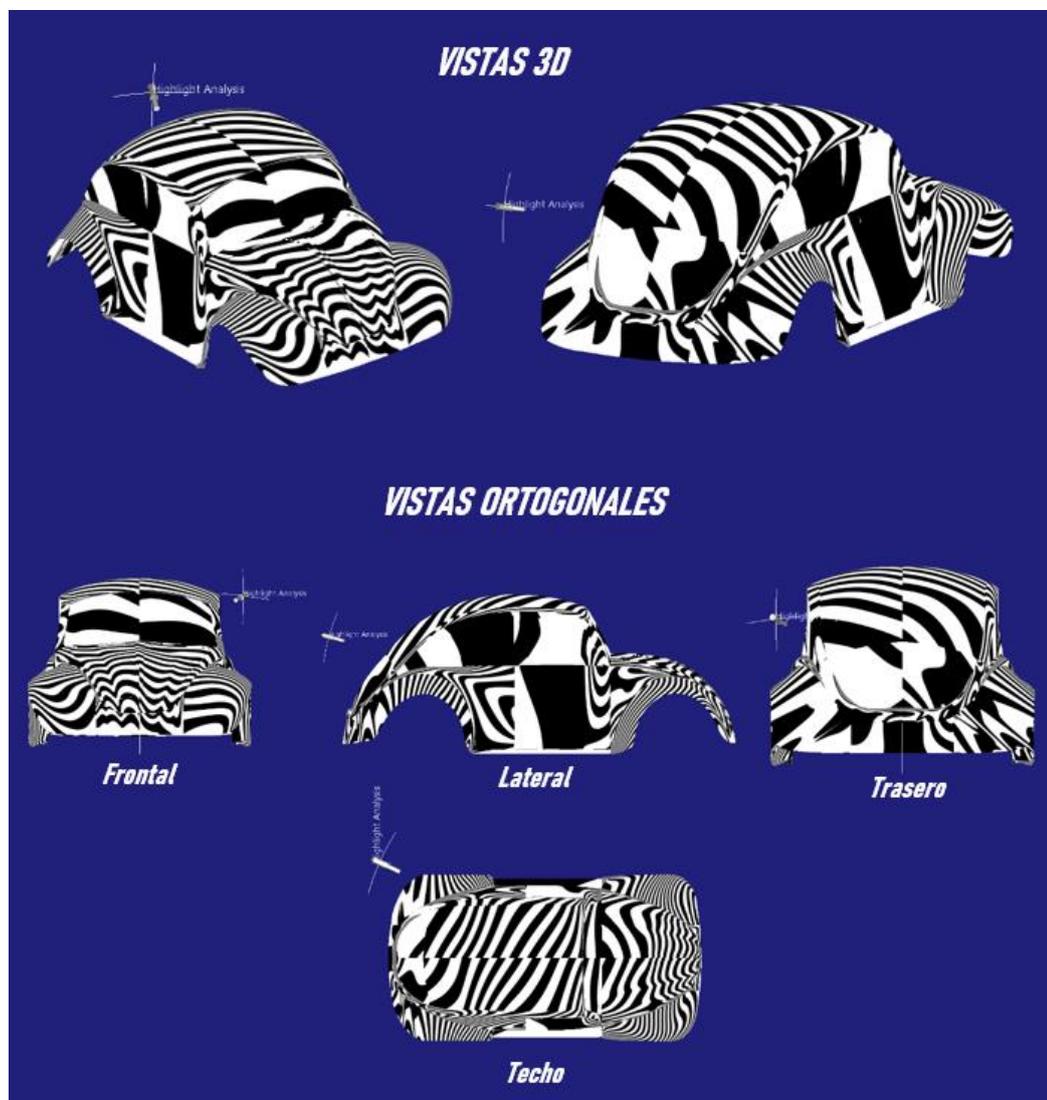


Figura 105. Resultado del análisis del modelo de Internet mediante reflejos

Como se puede observar (*Figura 105*) los resultados son muy deficientes en cuanto a la calidad estética puesto que la mayoría de las superficies presentan discontinuidades entre ellas (se obvia la unión entre los cristales y la carrocería ya que son superficies que no han de presentar continuidad).

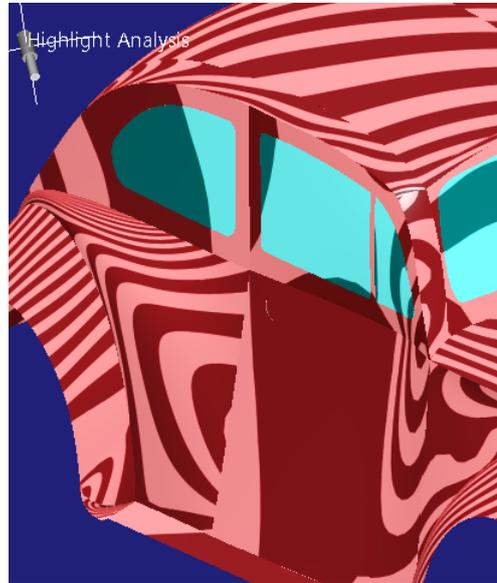


Figura 106. Detalle de los reflejos en el lateral de la carrocería del modelo de Internet

Como se puede ver (*Figura 106*) todas ellas presentan continuidad de tipo G0 de modo que el modelo es estanco, pero ninguna de ellas va más allá y presenta continuidades de tipo G1 o G2, ni mucho menos G3 por supuesto, como se puede ver en la discontinuidad de las líneas representadas.

A continuación, se observa un mal uso de la simetría al modelar (*Figura 107*). Como se explicó en la **Regla de Oro N°5 (Apartado 4.5.)** es muy importante que si se usa la herramienta de simetría al modelar hay que asegurar que las superficies que corten el plano de simetría presenten una buena continuidad. Este rasgo ya se vio que saltaba a la vista sobre la superficie del techo en el análisis visual previo que se realizó.

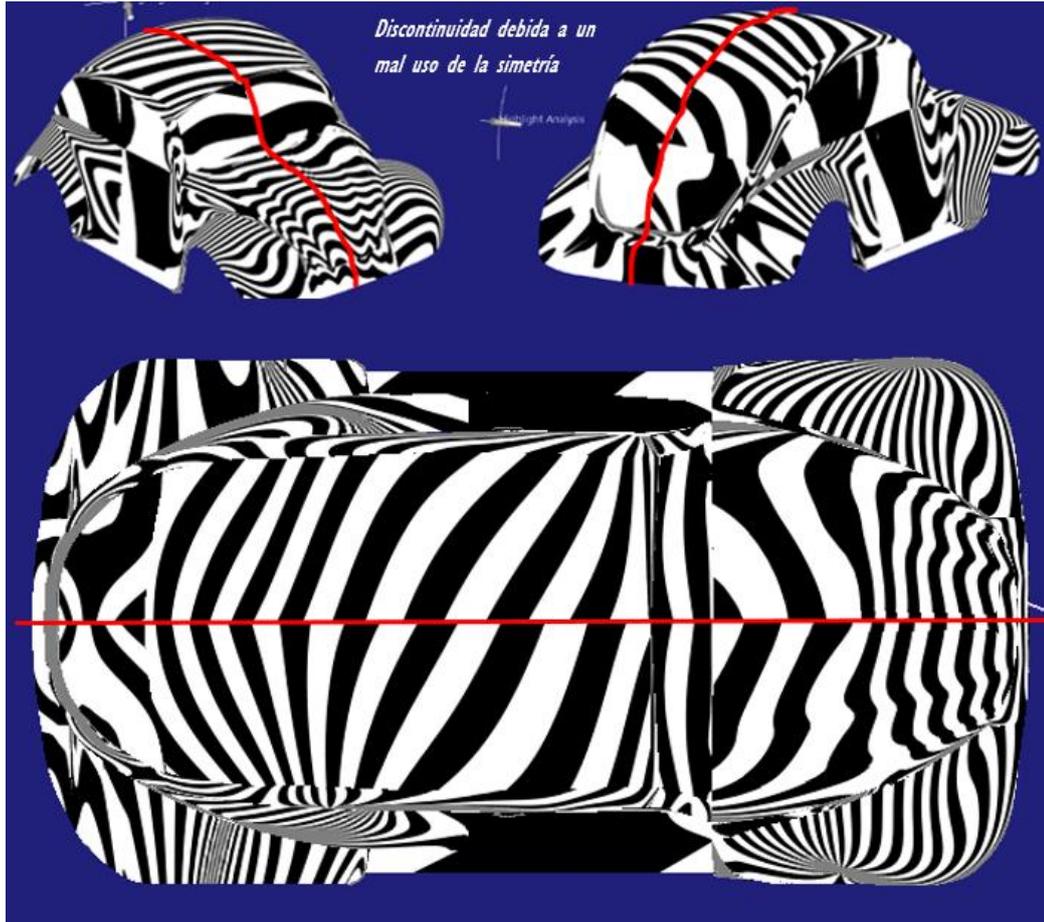


Figura 107. Detalle de las discontinuidades en el eje de simetría del modelo de Internet

Como se verá ejemplificado en apartados posteriores esto puede ser solucionado de una manera muy sencilla: se aplicará simetría en superficies que no corten el plano de simetría, en cambio, en superficies que sí lo corten serán modeladas completas de modo que así aseguramos una buena continuidad interna entre ellas. (**Regla de Oro N° 5, Apartado 4.5.**)

Por otro lado encontramos en el capó una zona con una muy evidente deformación de los reflejos (*Figura 108*).

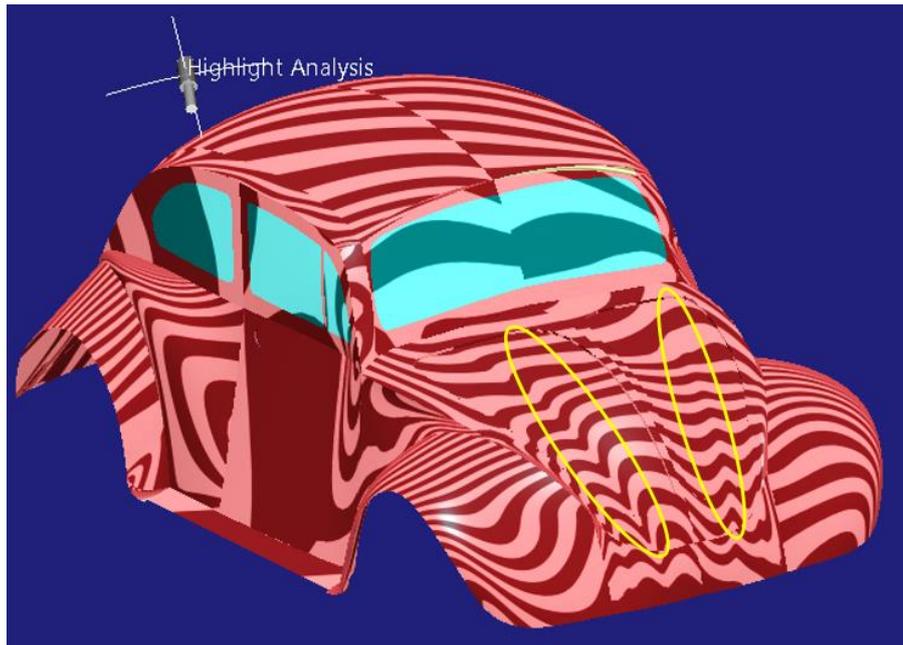


Figura 108. Irregularidades observadas en la zona del capó del modelo de Internet

Estas irregularidades son debidas a una mala creación o manipulación de las superficies en las que no se controla lo que está ocurriendo con el modelo. Como podemos ver en la imagen posterior (Figura 109), la superficie del capó del vehículo debería ser, al menos a cada lado del eje simétrico, un solo parche gobernado por una única ecuación matemática; en cambio, esta superficie presenta varios parches incrustados en ella con diferentes características y parametrización, lo que hace que a simple vista no se aprecien fallos pero en un análisis más profundo evidencie una forma irregular en la distribución de reflejos.

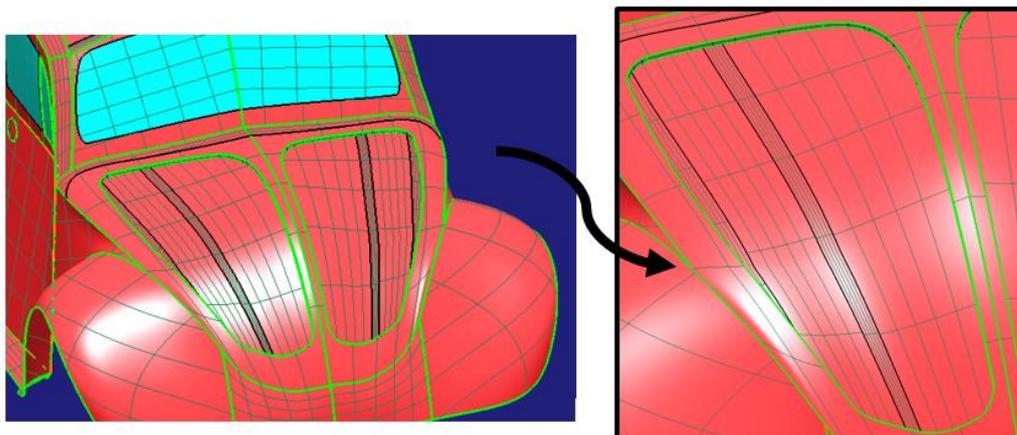


Figura 109. Detalle de las superficies NURBS del capó del modelo de Internet

Anteriormente se mencionó el problema que acarrea el construir con un mal flujo de puntos de control, en el que estos no están equiespaciadas quedando evidenciado en zonas como el maletero y el guardabarros trasero y en la parte inferior del frontal. Aquí se verán los reflejos que estas zonas deficientes aportan claramente en la *Figura 110*.

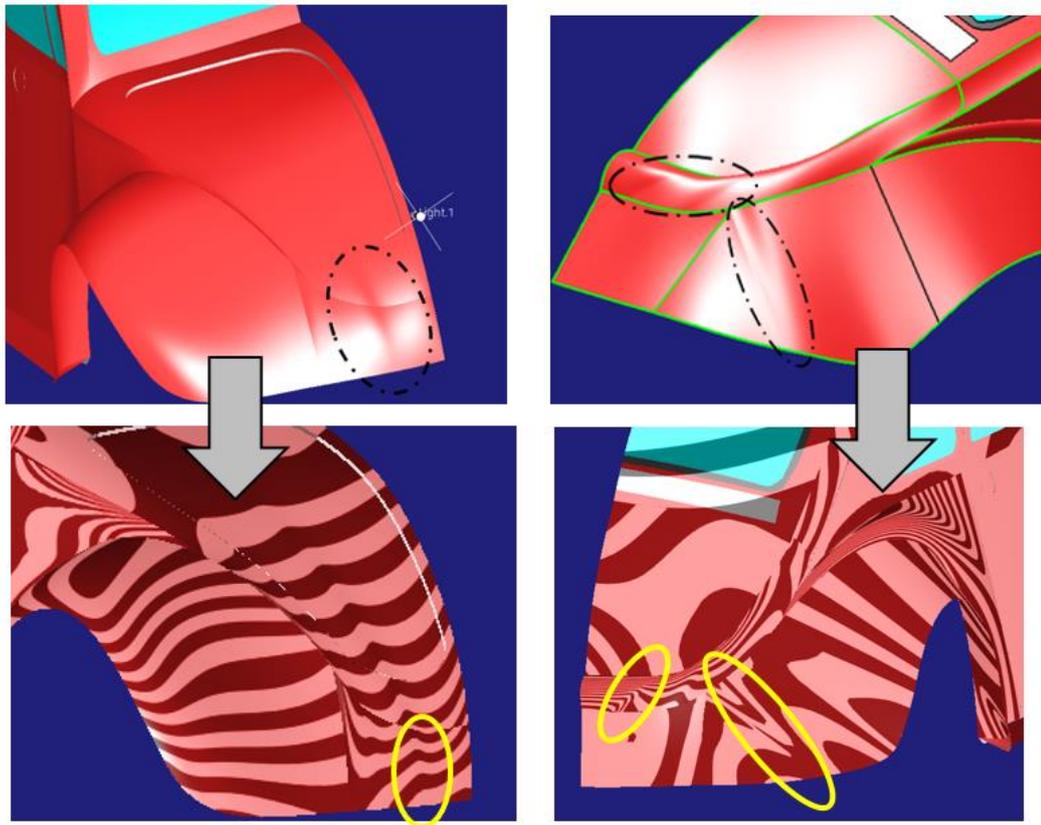


Figura 110. Correlación entre las abolladuras y las deficiencias de calidad de los reflejos

Como se aprecia en la figura anterior, el diagrama de reflejos presenta irregularidades en dichas zonas de abolladura. Estas irregularidades se caracterizan por la aparición de ondulaciones en las líneas de reflejos donde debería ser un flujo suave.

5.2.3. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN ENTRE CURVAS Y SUPERFICIES

En este apartado se utilizará la herramienta *Connect Checker Analysis* de CATIA V5 ICEM SHAPE DESIGN dentro de la barra de herramientas o paleta *Shape Analysis*.



Figura 111. Localización de la herramienta *Connect Checker Analysis* en *ICEM Shape Design*

Esta herramienta nos permite comprobar el grado de conexión que poseen dos superficies o dos curvas. Con grado de conexión se entiende grado de continuidad (G0, G1, G2, G3). Se podrán escoger dos curvas o dos superficies en las que se alberguen dudas acerca del tipo de continuidad que poseen y ver numéricamente la discontinuidad que poseen.

Para más información sobre el manejo de esta herramienta consúltese [3].

En primer lugar, se mostrará el análisis entre curvas haciendo uso de la opción *Between Curves* (Análisis de continuidad entre curvas) dentro del comando anteriormente mencionado (*Figura 112*).

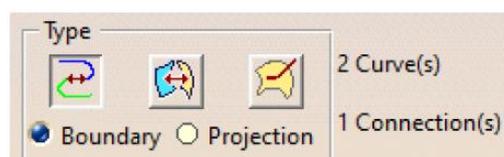


Figura 112. Selección del análisis de conexión entre curvas en el comando *Connect Checker Analysis*

En primer lugar, se evaluarán las curvas transversales que constituyen la unión entre el marco superior del parabrisas y el techo (*Figura 113*). De este modo se evidenciarán las carencias de continuidad que se han comentado debido al uso inadecuado de la simetría.

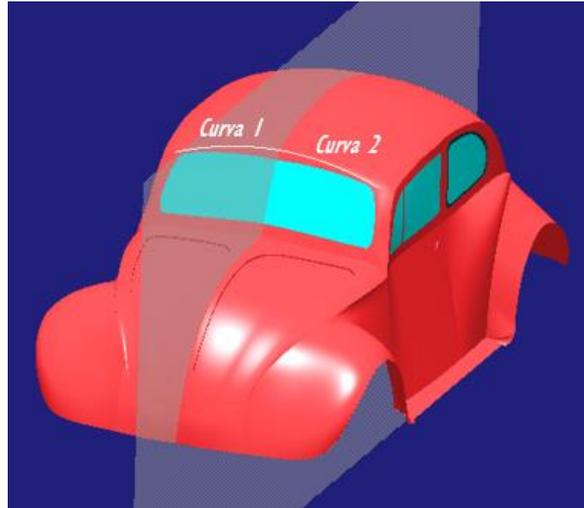


Figura 113. Contornos del techo a analizar la continuidad entre ellos

El resultado que se obtiene es el siguiente (Figura 114):

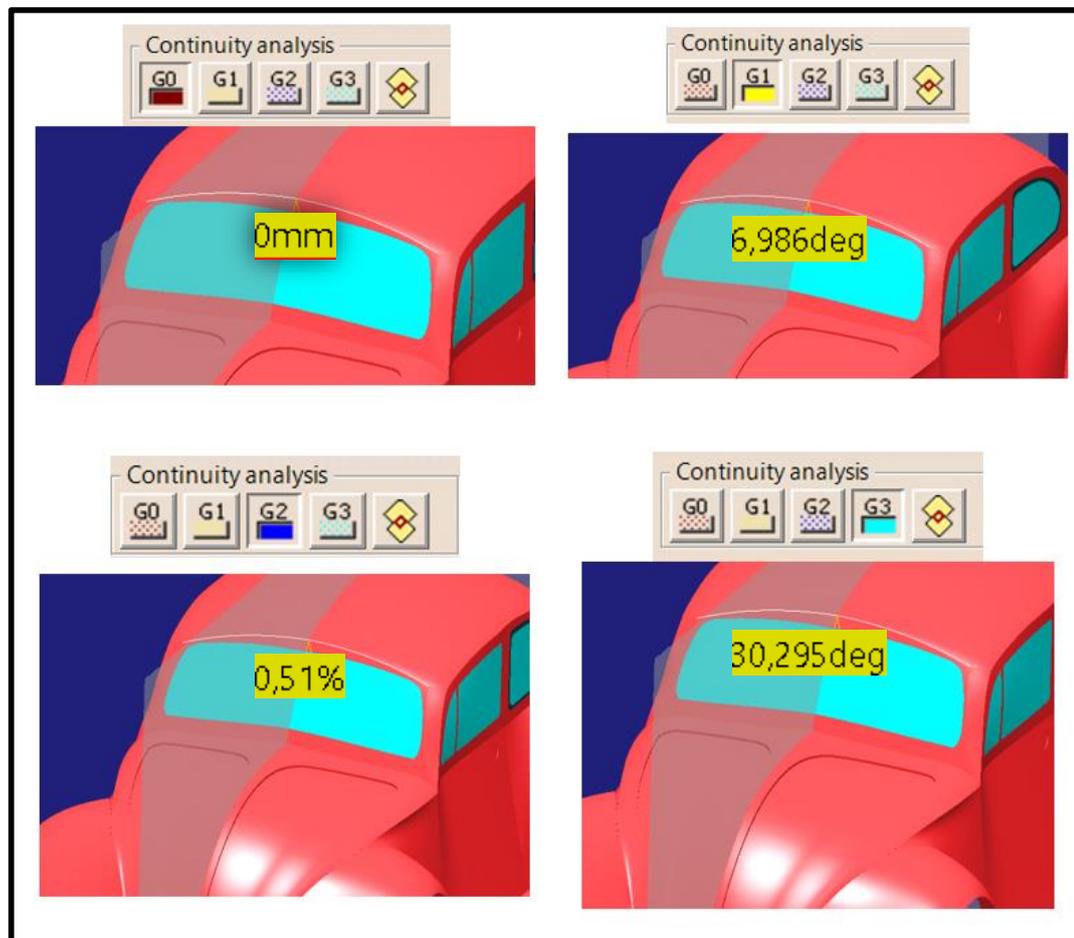


Figura 114. Resultado del análisis de conexión entre curvas

Como se puede apreciar (*Figura 114*) existe continuidad en posición (G0) entre ambos contornos (curvas), pero no hay continuidad en tangencia, ni en curvatura ni en curvatura tangente (G1, G2, G3 respectivamente).

En el caso anterior parecía bastante claro el resultado, puesto que se había visto en el análisis de las superficies mediante reflejos cuando se analizó el uso de la simetría. Ahora se analizarán dos curvas que a simple vista es complicado dictaminar su continuidad y que gracias a esta herramienta es sencillo (*Figura 115*). Se trata de los contornos exteriores de la zona anterior y posterior de los guardabarros traseros.



Figura 115. Contornos del guardabarros trasero a analizar la continuidad entre ellos

El resultado que se obtiene es el siguiente (*Figura 116*):



Figura 116. Resultado del análisis de conexión entre curvas

En este caso (Figura 116) se ha obtenido como máximo una continuidad en tangencia (G1), pero no alcanza para continuidad en curvatura ni en curvatura tangente (G2 y G3 respectivamente).

A continuación, se analizará la unión entre superficies, una acción más interesante desde el punto de vista de modelado de superficies de clase A. Esto se consigue seleccionando la opción *Between Surfaces* (Análisis de conexión entre superficies) dentro del comando *Connect Checker Analysis* (Figura 117).

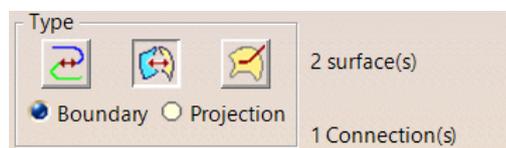


Figura 117. Selección del análisis de conexión entre superficies en el comando *Connect Checker Analysis*

En este caso, en el que analizamos unión entre superficies, se obtiene una gráfica cuyo dominio es la curva de unión entre ambas superficies donde se obtiene el valor de discontinuidad para cada punto siendo posible obtener los

valores mínimos y máximos de dicha discontinuidad en pantalla. De este modo se puede apreciar a simple vista qué zona es la más crítica en cuanto a cumplir exigencias de continuidad.

Se analizará en primer lugar la unión entre dos de las superficies que forman la carrocería lateral para ejemplificar lo anterior (*Figura 118*).

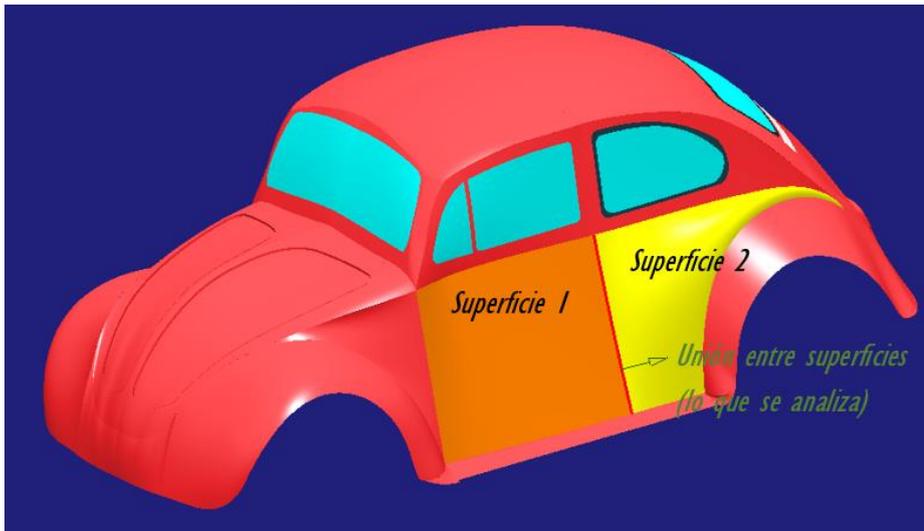
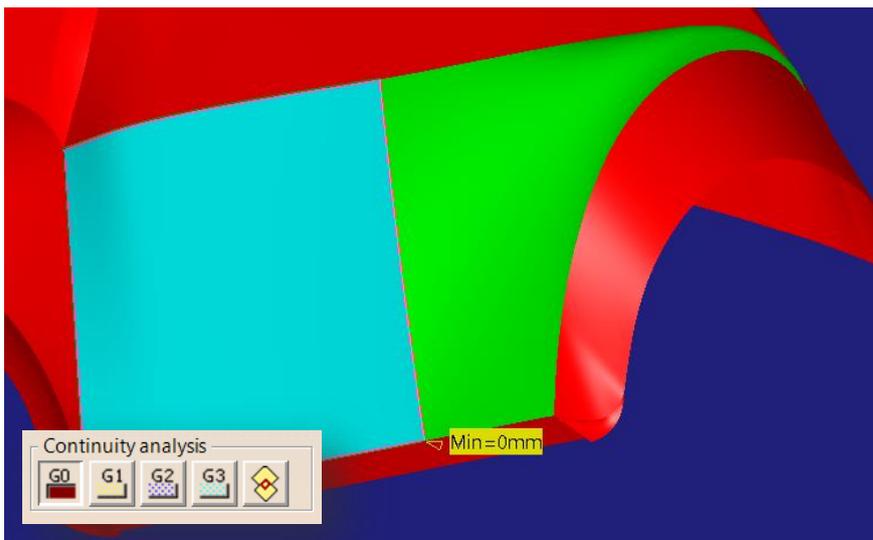


Figura 118. Superficies de la carrocería lateral a analizar la continuidad entre ellas

El resultado del análisis obtenido es el siguiente (*Figura 111*):



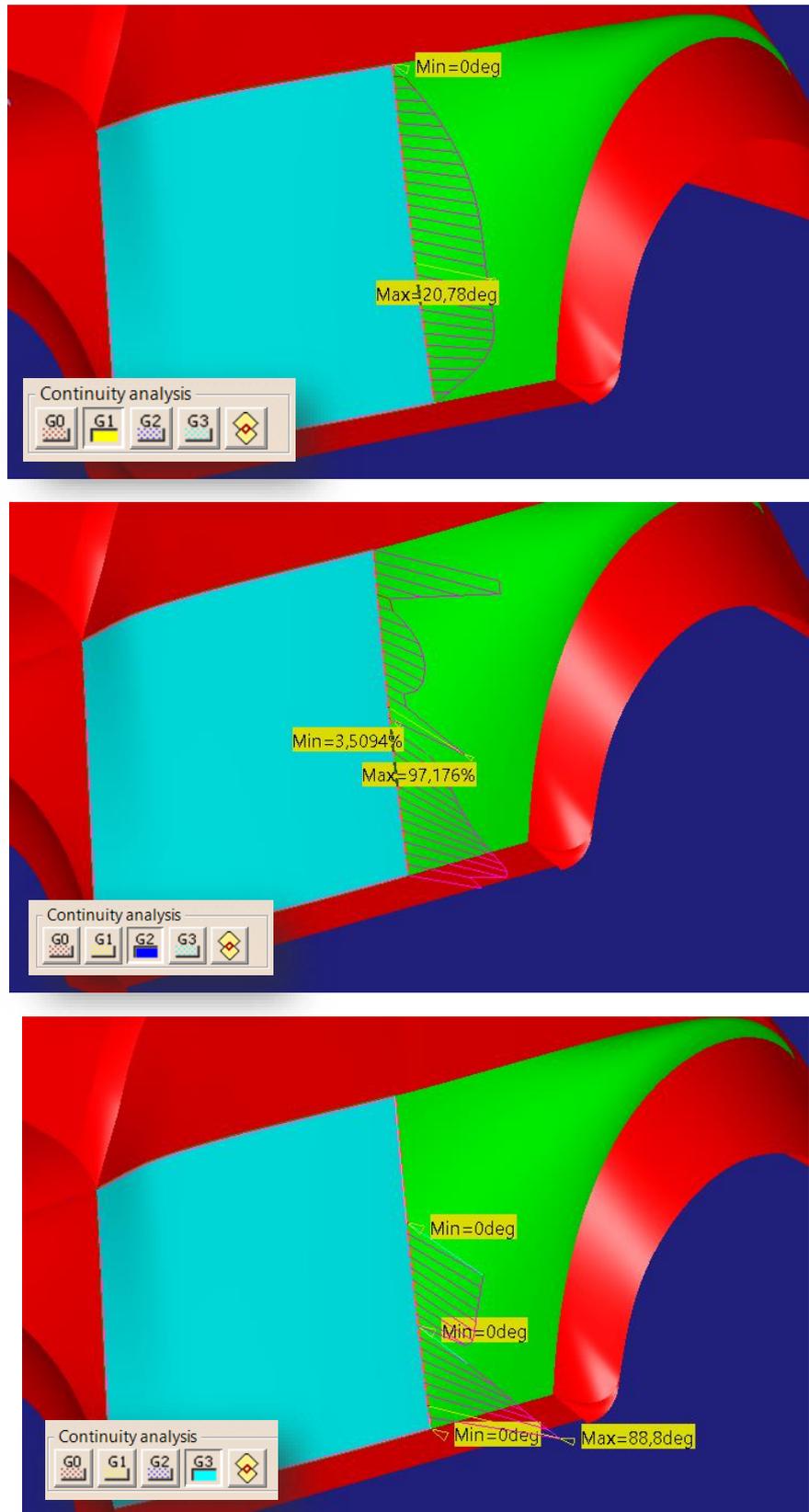


Figura 119. Resultados del análisis de conexión entre las superficies de la carrocería lateral

Como se puede observar (*Figura 119*) se consigue continuidad tipo G0 (posición) a lo largo de toda la curva de unión entre superficies, pero no se alcanza continuidad en tangencia, curvatura ni en curvatura tangente (G1, G2 y G3 respectivamente) a lo largo del borde de unión, alcanzándose elevados niveles de discontinuidad a la vista de los diagramas.

A continuación, se analizará la unión entre tres superficies que, aparentemente y a simple vista, guardan una buena continuidad entre ellas. Se trata de las superficies que forman la parte anterior y posterior del guardabarros trasero y la carrocería inferior trasera (*Figura 120*). Cabe destacar que, como se hará aquí, es posible realizar la evaluación de la conexión entre varias superficies, lo que se obtendrá será un diagrama como el del ejemplo anterior para cada línea de unión entre dos superficies.

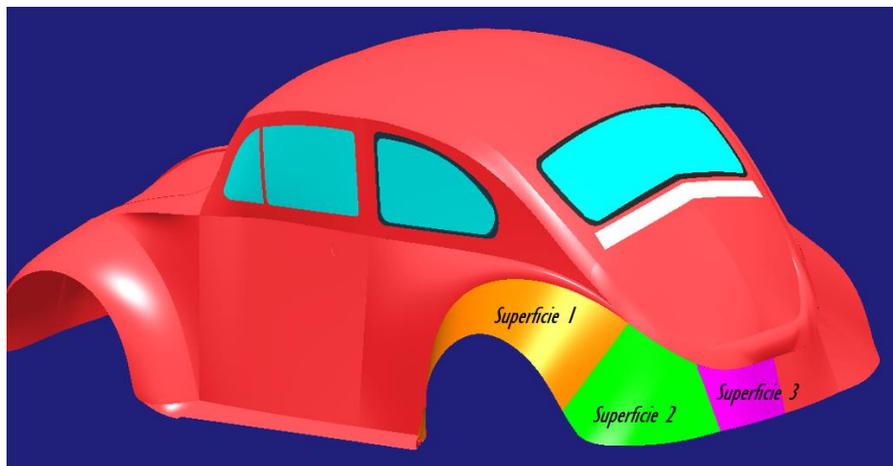
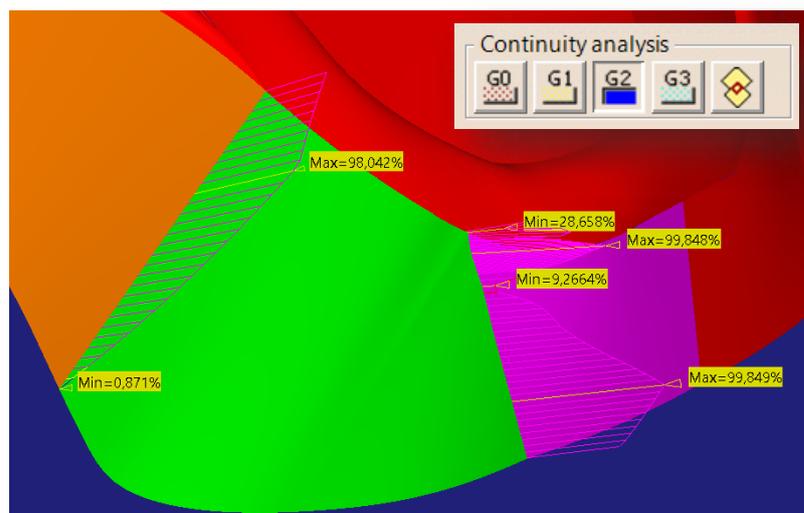
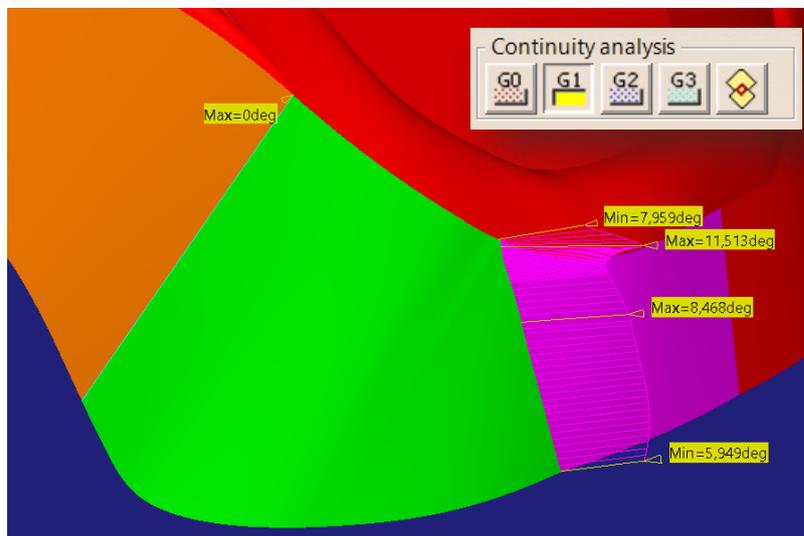
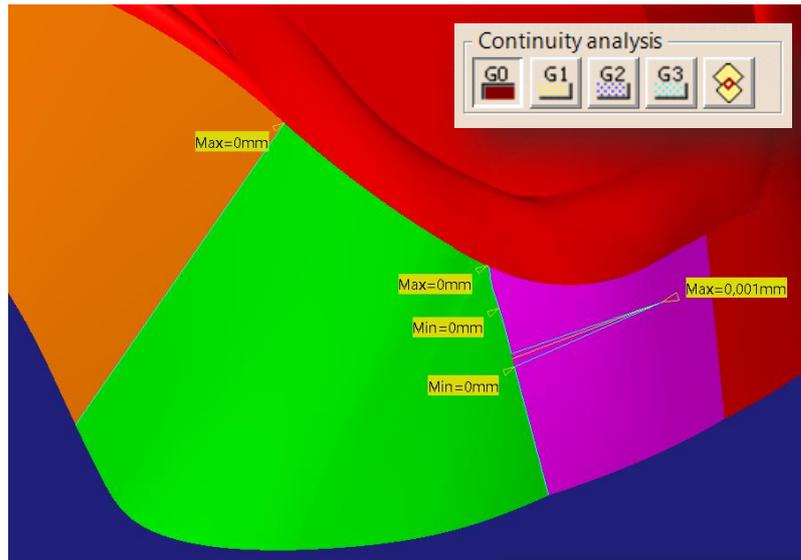


Figura 120. Superficies de guardabarros y carrocería inferior trasera a analizar continuidad entre ellas

El resultado obtenido es el siguiente (*Figura 121*):



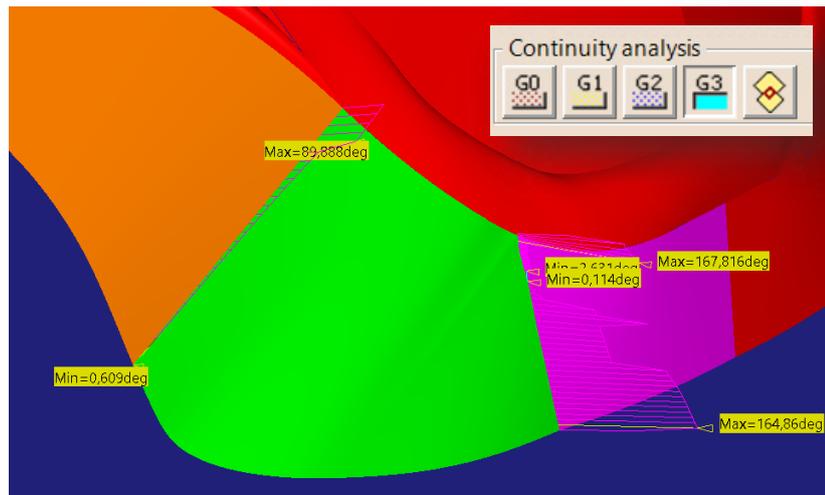


Figura 121. Resultados del análisis de conexión entre guardabarros trasero y carrocería inferior trasera

Lo que en este caso llama la atención, en vista de la primera representación de la *Figura 121*, es que la unión entre las superficies 2 y 3 no es estanca, sino que presenta una discontinuidad en posición o GAP (separación) entre las dos superficies de 0.001mm. Es decir, hay una pequeña zona en la que ambas superficies no se tocan.

Por otro lado, en la misma figura, se observa que las superficies 1 y 2 poseen continuidad en tangencia (G1) a lo largo de toda la curva de unión entre ellas. Anteriormente comprobamos que el borde exterior de ambas superficies lo cumplían (*Figura 122*). En dicha figura se podría decir que obtenemos el primer valor aislado de la gráfica que se muestra en la segunda representación de la *Figura 121*.

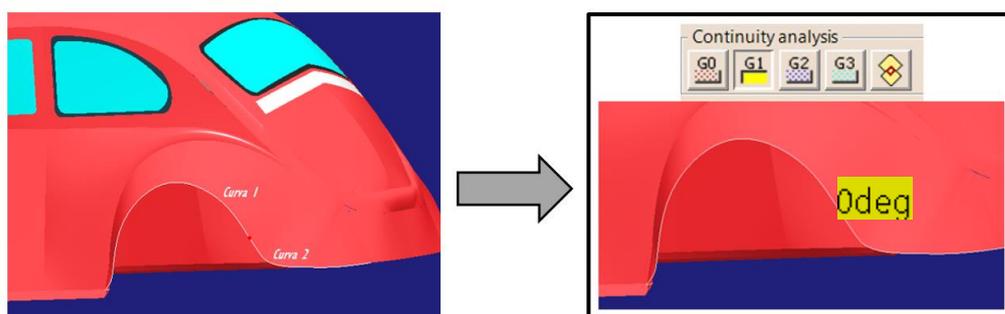


Figura 122. Comprobación del resultado obtenido con análisis anteriores

Con esto se comprueba que no solo existía continuidad en tangencia en el punto inferior, sino a lo largo de toda la curva de unión entre las superficies.

5.2.4. EVALUACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CURVATURA SUPERFICIAL

En este apartado se presentará la herramienta de análisis *Surfacic Curvature Analysis* de CATIA V5 ICEM Shape Design dentro de la barra de herramientas *Shape Analysis*.



Figura 123. Localización de la herramienta *Surfacic Curvature Analysis* de ICEM Shape Design

Dicha herramienta nos muestra un mapa coloreado de iso-curvatura (muestra cada valor de curvatura en un color sobre la superficie) sobre las superficies que queremos evaluar.

Lo que esta herramienta permite en la práctica es evaluar de una forma muy gráfica la evolución de la curvatura de una o varias superficies, siendo lo más interesante a veces ver como evoluciona esta al pasar de una superficie a otra para dictaminar el nivel de buena o mala continuidad que posee el modelo.

Para ilustrar el uso de esta herramienta se aplicará a las superficies que forman el guardabarros trasero y la parte inferior de la carrocería en la parte trasera.

Se analiza en primer lugar la superficie que forma el guardabarros trasero (Figura 124). Se puede apreciar que en la zona superior presenta un buen flujo de curvatura, bastante suave y controlado. Por otro lado, se observa en la parte inferior un flujo más agresivo de curvatura que denota la posibilidad de un acabado superficial indeseable.

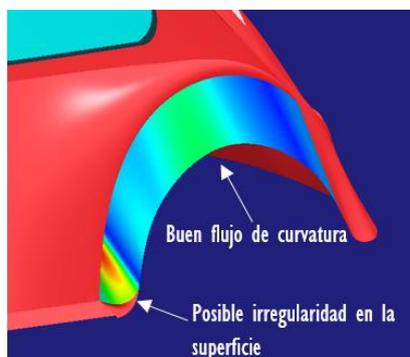


Figura 124. Análisis de diagrama de iso-curvatura en el guardabarros trasero

Se comprobará a continuación qué ocurre con esa zona de posible irregularidad superficial. Se hará uso de una inspección visual y de un análisis de reflejos de dicha zona (*Figura 125*).



Figura 125. Comprobación de la irregularidad obtenida en el guardabarros trasero

Efectivamente, en la *Figura 125* se observa una abolladura en la zona que presentaba un flujo con fuertes cambios de curvatura muy localizados. Comprobando el análisis de reflejos se aprecia que el detalle había pasado desapercibido en dicho análisis pero que con el mapa de iso-curvatura ha “salido a la luz”.

A continuación, se analizarán las dos superficies que forman la parte posterior del guardabarros trasero y la carrocería inferior trasera (*Figura 126*), que ya fueron evaluadas mediante el análisis de conexión arrojando un resultado de muy mala continuidad. De este modo se podrá comprobar la coherencia entre ambos resultados.

El resultado obtenido es el siguiente:

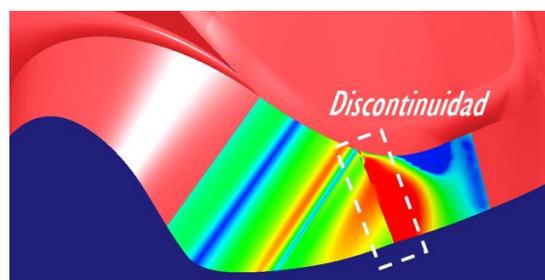


Figura 126. Discontinuidad detectada con el análisis de iso-curvatura

Efectivamente, en la *Figura 126* se aprecia una discontinuidad muy clara en las curvaturas, lo cual se corresponde con resultados obtenidos anteriormente.

Para terminar de ejemplificar esta herramienta se aplicará este análisis a la superficie embellecedora del maletero (*Figura 127*), la cual se vio en análisis mediante reflejos que presentaba abolladuras.

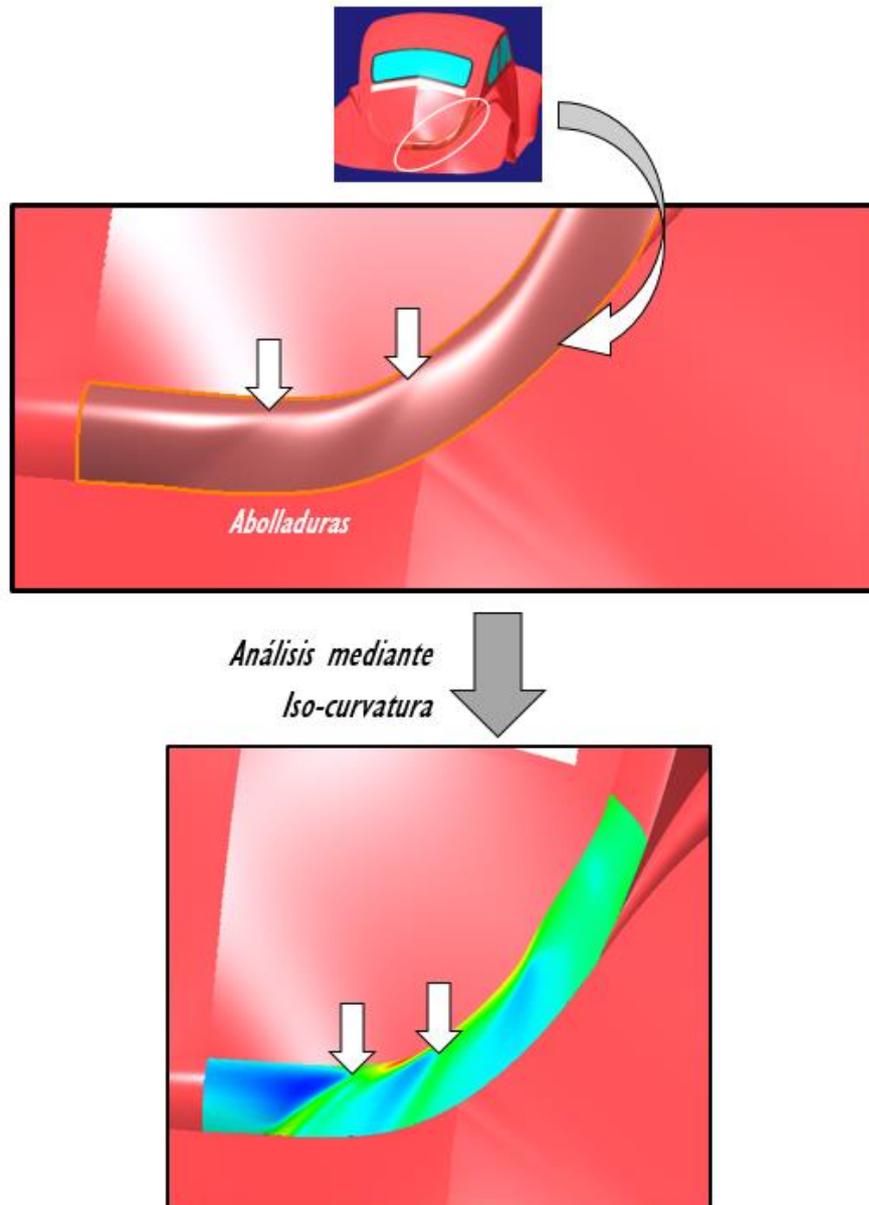


Figura 127. Comprobación de las abolladuras que presenta el embellecedor del maletero

5.2.5. EVALUACIÓN MEDIANTE DIAGRAMAS DE CURVATURA EN PLANOS DE CORTE (PEINES DE CURVATURA)

En este apartado se hará uso de la herramienta *Cutting Plane Analysis* de CATIA V5 ICEM Shape Design dentro de la barra de herramientas *Shape Analysis*.



Figura 128. Localización de la herramienta *Cutting Plane Analysis* de ICEM Shape Design

Esta herramienta permite obtener diagramas de curvatura (también denominados “peines de curvatura”) a lo largo de una superficie en la dirección que se desee (definida por planos de corte).

Analizando, por ejemplo, la superficie del guardabarros trasero (Figura 129) se puede ver la tendencia de la curvatura.

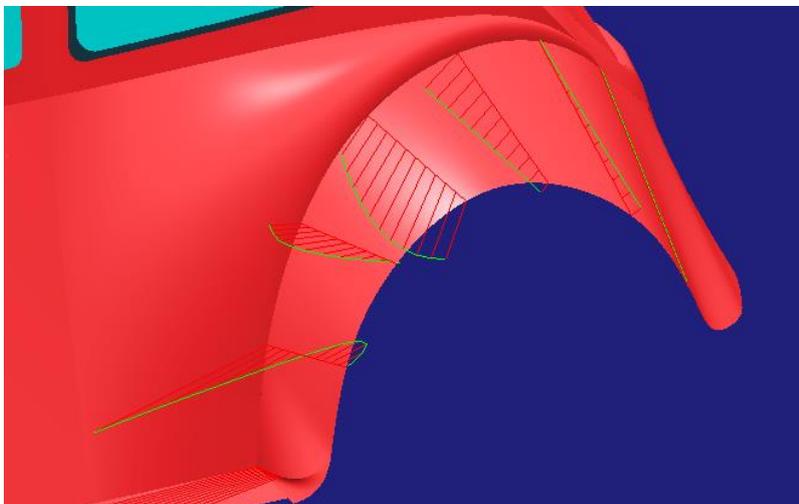


Figura 129. Análisis de peines de curvatura del guardabarros trasero

En la parte inferior del guardabarros (Figura 129) presenta un cambio en el sentido de la curvatura (probablemente indeseada puesto que genera la abolladura ya vista anteriormente). En secciones centrales la tendencia es de empezar con una curvatura suave para ir acrecentándose y acabar

suavizándose. Finalmente, en secciones superiores podemos ver un crecimiento o decrecimiento prácticamente lineal pero muy suave y progresivo.

A continuación, se presenta de igual modo el análisis del guardabarros delantero (*Figura 130*) pudiendo sacar conclusiones razonando análogamente a la fotografía anterior.

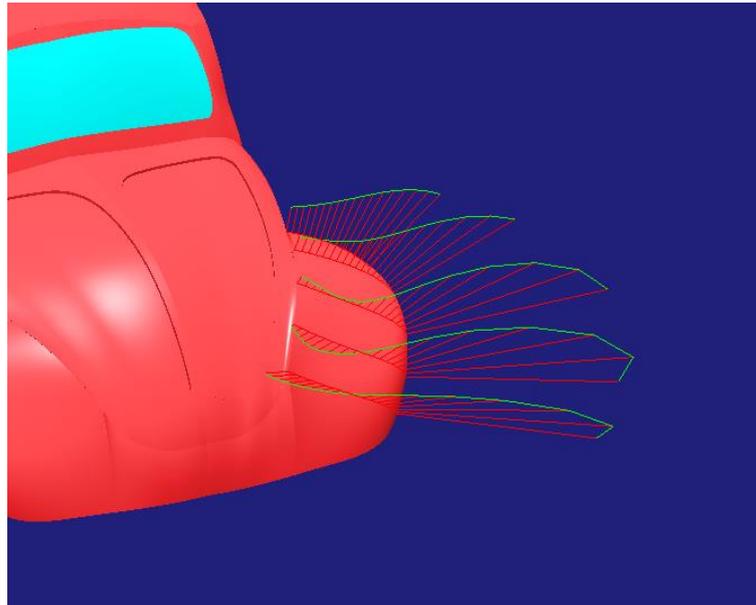


Figura 130. Análisis de peines de curvatura del guardabarros delantero

6. MEJORA DEL MODELO APLICANDO TÉCNICAS DE TRABAJO CON SUPERFICIES DE CLASE A

En el presente apartado se mejorará el modelo analizado anteriormente aplicando técnicas de modelado de clase A con *CATIA V5 ICEM Shape Design*. Para ello se partirá del modelo de Volkswagen Beetle extraído de Internet [2] como modelo conceptual previo en el que apoyar la construcción de la nueva geometría para conseguir adaptarla a la forma que ha de tener. A lo largo del apartado se explicarán ciertas herramientas y técnicas de trabajo sobre el modelo, de modo que todas explicaciones sean prácticas a medida que se consigue el objetivo de lograr un modelo de mayor calidad superficial.

Es preciso destacar que a pesar de que el objetivo de este proyecto y del presente apartado en particular es dar a conocer como se trabaja con el módulo *ICEM Shape Design* en ocasiones se recurrirá a alguna herramienta perteneciente al módulo *Generative Shape Design* (un módulo similar disponible en *CATIA V5* para la creación de superficies). Este módulo puede ser de gran ayuda en situaciones concretas donde podemos encontrar en él herramientas muy útiles que en el módulo *ICEM Shape Design* no aparezcan o simplemente sean más sencillas de utilizar y arrojen buenos resultados. Aquí se añade otra importante regla de oro en el modelado con *CATIA*: ***“Si puedes encontrar dentro del programa una herramienta de otro módulo que haga más cómoda la labor del modelado asegurando un buen resultado úsala”***.

6.1. PASO 0 – PREPARAR EL MODELO CONCEPTUAL

Es muy común, por no decir que siempre ocurre, partir de un modelo conceptual previo a la hora de desarrollar un modelo más desarrollado con superficies de clase A.

En ocasiones puede ocurrir que el modelo previo no se adapte dimensionalmente al que se pretende crear. La adaptación dimensional del modelo se consigue escalando el modelo previo a las medidas reales que se quiere obtener.

Para ello se hace lo siguiente:

1. Conseguir planos del vehículo real en vistas ortogonales con las principales cotas.

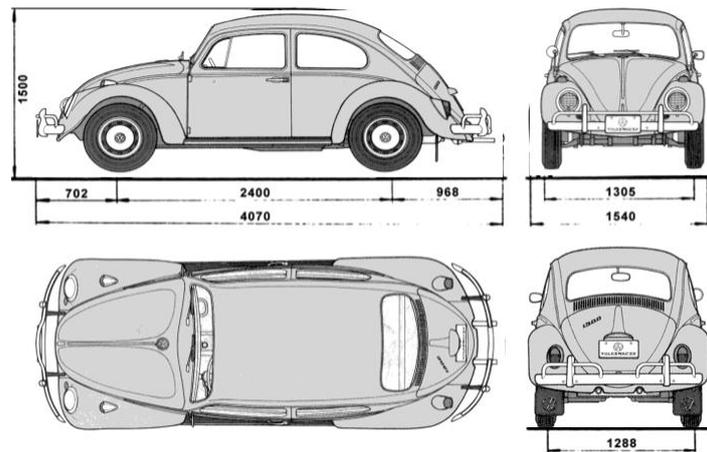


Figura 131. Vistas ortogonales del vehículo real con cotas [2]

De las cotas anteriores (*Figura 131*) serán de utilidad las siguientes: longitud total del vehículo (4070 mm), anchura total del vehículo (1540 mm) y altura total del vehículo (1500 mm).

Cabe destacar que, en este caso, se cuenta con un modelo conceptual previo (modelo CAD en 3D) para apoyar el modelado en él. De modo que las vistas ortogonales presentadas en la *Figura 131* se utilizan exclusivamente para la toma de medidas del vehículo. Si, por el contrario, no se dispone de un modelo en 3D y sólo se dispone de las vistas ortogonales es muy útil recurrir al módulo *Sketch Tracer* de *CATIA V5* para realizar el modelo en base a estas vistas.

2. A continuación, se crea una superficie con las dimensiones anteriores en la que se encierre el vehículo.

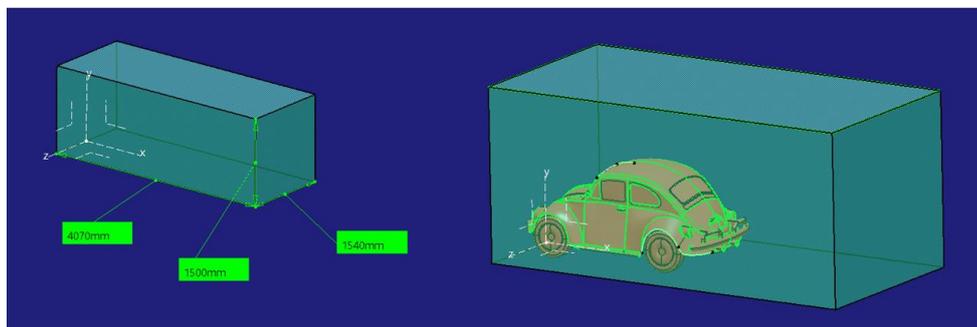


Figura 132. Caja de dimensiones y modelo original dentro

Como se puede apreciar en la *Figura 132*, efectivamente, el modelo conceptual previo no tiene las medidas reales del vehículo a diseñar, de modo que hay que escalarlo.

3. Escalar el vehículo hasta conseguir encerrarlo estrechamente en la superficie límite establecida.

La herramienta que permite escalar geometría es el comando *Scaling*, dentro de la paleta *Transformations* de *Generative Shape Design* de *CATIA V5*.

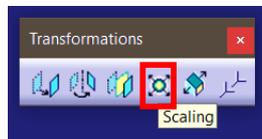


Figura 133. Localización de la herramienta Scaling de Generative Shape Design

Tras la operación de escalado el resultado es el siguiente (*Figura 134*):

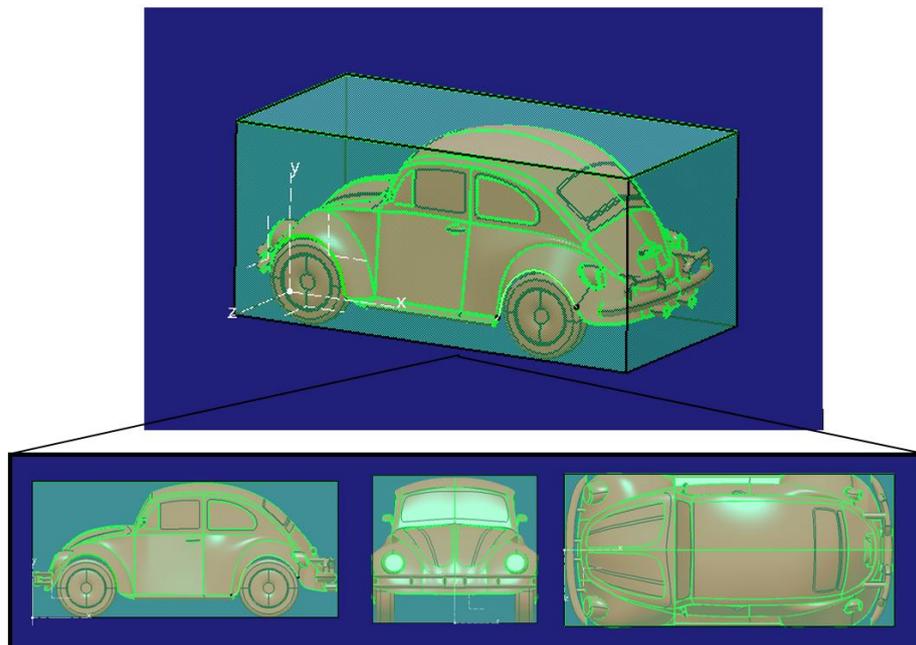


Figura 134. Escalado del modelo hasta encajar en la caja de dimensiones

Una vez se ha conseguido esto ya se tiene un modelo conceptual previo con unas dimensiones reales en el que apoyar la construcción del nuevo modelo.

Una vez se ha conseguido un modelo con las medidas adecuadas para empezar a construir con fidelidad dimensional se ha de conseguir otro punto importante: trabajar con comodidad.

Aquí se presentarán dos consejos a la hora de preparar el modelo conceptual previo.

En primer lugar, resulta muy recomendable hacer el modelo no seleccionable, es decir, aparecerá como una forma 3D con la que no se puede interactuar. Esto es muy útil a la hora de crear geometría como curvas 3D, puesto que si se tiene el modelo como seleccionable la nueva geometría que se cree tratará de ajustarse a la geometría que hay a través de vértices o aristas, cosa que resulta muy tediosa ya que todo el rato se tratará de que deje trabajar libremente y no vaya hacia la geometría previa, de modo que ya posteriormente se verá dónde se quiere que se adapte o donde no a través de la modificación de los puntos de control (*Figura 135*).

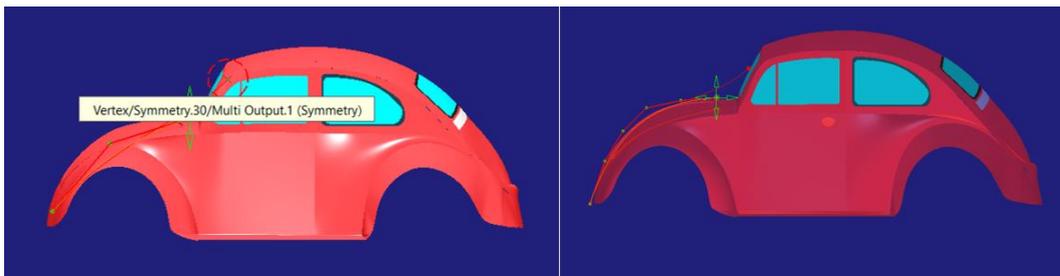


Figura 135. Operar con modelo seleccionable (izquierda) o con el modelo no seleccionable (derecha)

Por otro lado, también resulta recomendable dar transparencia al modelo para poder visualizar mejor la nueva geometría que se cree (*Figura 136*).

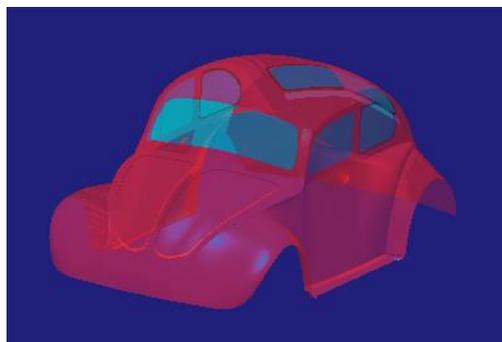


Figura 136. Modelo transparente

Ambos puntos (modelo no seleccionable y transparente) se consiguen modificar en la ventana de propiedades gráficas del modelo conceptual deseleccionando la opción “Pickable” y aumentando en la barra de transparencia su valor (Figura 137).

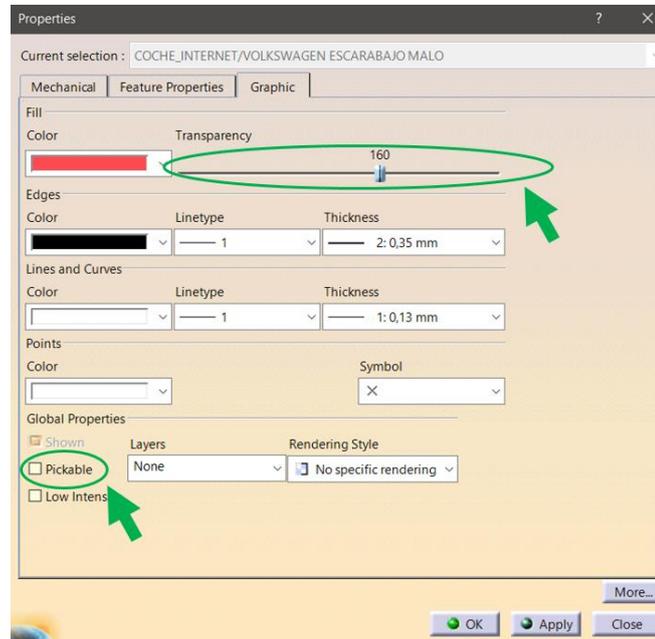


Figura 137. Cuadro de propiedades gráficas del modelo conceptual

Una vez se ha preparado el modelo (escalado adecuado, impedir la selección de geometría y aplicación de transparencia) se puede pasar a la creación de la nueva geometría.

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → PREPARAR EL MODELO CONCEPTUAL.

- Escalar el modelo hasta las medidas necesarias.
- Hacer transparente el modelo.
- Hacer el modelo no seleccionable.

6.2. PASO 1 – MODELADO DE CURVAS. PASO 2 – MODELADO DE SUPERFICIES PRIMARIAS

Antes de nada, es preciso destacar algo importante: como se vio en el flujo de trabajo presentado en apartados anteriores, en primer lugar, se crean las curvas y posteriormente las superficies en base a las anteriores. Pues bien, hay que aclarar algo: que el paso anterior sea el de creación de curvas donde apoyen las superficies no quiere decir que haya que trazar todas las curvas en dicho apartado y posteriormente crear todas las superficies. Esto se debe a que, hasta que no se sepa cómo se van a trazar las superficies, no se sabe qué curvas son necesarias. Lo que se hace es crear las curvas a medida que las superficies las requieren, pero siguiendo ese orden: curva – superficie (*Figura 138*). Esto es importante puesto que en primera instancia se puede tener una idea de cómo va a ir todo que luego puesta en práctica da fallos y en el momento de construir la primera superficie se tiene toda una red de curvas que puede ser inservible. Es mejor crearlas para satisfacer las necesidades que el comando de creación de superficie que se haya decidido usar requiera.

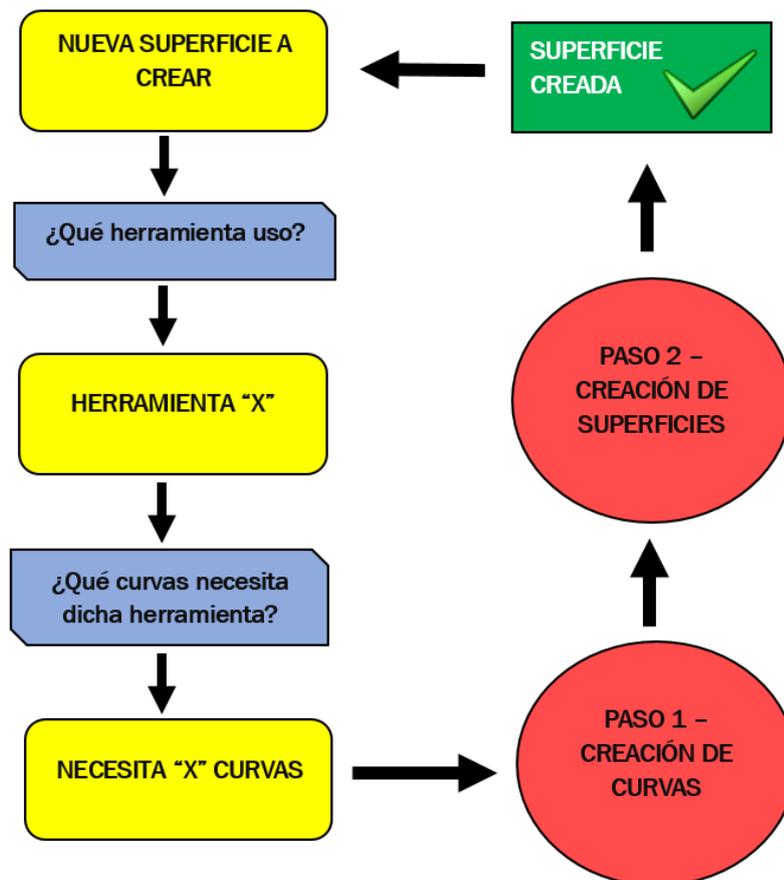


Figura 138. Flujo de trabajo para la creación de superficies en base a curvas

En primer lugar, hay que familiarizarse con la creación de curvas puesto que es la geometría básica en la que se apoyan las superficies, más concretamente con las curvas 3D, que, como se verá, serán las que se utilicen constantemente en el modelado de superficies de clase A, así pues es importante tener soltura con ellas para tener un modelado fluido y cómodo. De modo que en primer lugar se darán las nociones básicas del trabajo, consejos y recomendaciones con estas curvas.

Esta herramienta la encontramos en el comando *3D Curve* dentro de la paleta *Curve Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

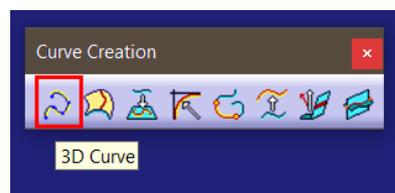


Figura 139. Localización de la herramienta *3D Curve* de *ICEM Shape Design*

Esta herramienta permite crear curvas en el espacio bien a través de puntos de paso o bien a través de puntos de control principalmente. De cara al modelado de superficies de clase A es recomendable construir en base a puntos de control, de modo que toda curva que se construya en el presente proyecto será de tal modo.

Esta herramienta funciona simplemente construyendo la curva a través de los sucesivos puntos que vamos marcando en el espacio. Parece simple, pero de cara a un modelado cómodo y seguro hay que seguir una serie de recomendaciones acerca de la orientación con la que construimos para que el resultado no se descontrola.

En primer lugar, es importante comprobar que el compás que aparece en la parte superior derecha del espacio de trabajo de CATIA corresponda con la orientación dada a los ejes principales para tener una coherencia con lo que se está haciendo (*Figura 140*). Esto simplemente hace más fácil el trabajo puesto que un sistema de ejes se corresponde con el otro.

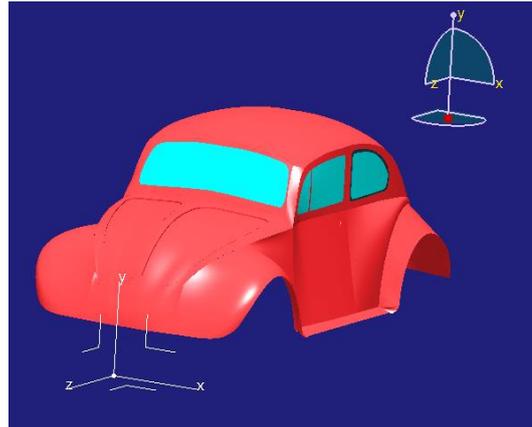


Figura 140. Correspondencia entre la orientación del compás y el sistema de ejes

Una mala costumbre a la hora de crear curvas en 3D es en primer lugar no tener visible la paleta de control del compás (“Quick Compass Orientation”). En segundo lugar, tener activa la vista isométrica y colocar con el ratón el modelo conceptual en una posición aparentemente favorable. A simple vista, parece que el modelo queda en una buena posición y que se puede crear la curva con facilidad y comodidad (Figura 141).



Figura 141. Espacio de trabajo para crear curva 3D con orientaciones mal configuradas

Como consecuencia de esta mala acción no se controla la orientación de la curva 3D y el resultado erróneo salta a la vista al girar ligeramente el modelo para observar que ocurre (Figura 142): la geometría creada está

completamente descontrolada, lo cual puede hacer muy tediosa la creación de curvas si no se aprende a controlar esto.

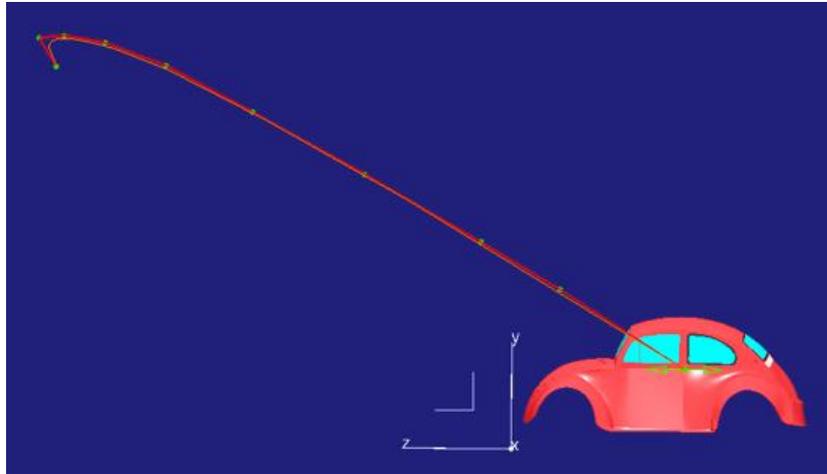


Figura 142. Resultado de curva 3D trazada en la Figura 131

La solución pasa por conseguir una coherencia entre todas las partes que intervienen en la orientación a la hora de crear la curva 3D.

En primer lugar, es recomendable crear la curva plana, que se adapte a la geometría que se quiere conseguir en ese plano y posteriormente modificar los puntos de control en dirección perpendicular al plano inicial de la curva para conseguir una buena adaptación en esa dirección también, para eso es una curva en 3D.

Ahora se explicará cómo crear una curva 3D controlada en un plano.

Por ejemplo, se quiere construir una curva 3D que se adapte a la forma del techo del vehículo visto desde el lateral (*Figura 143*). En primer lugar, se coloca el modelo en la vista ortogonal con la que se desea trabajar. Hay que fijarse en la orientación del sistema de ejes que hay esa disposición. A continuación, se habilita la paleta de orientación del compás, la cual gobierna en qué plano se creará la curva 3D, por ello es importante seleccionar el mismo plano que el de la vista ortogonal, para que la creación de la geometría sea coherente.

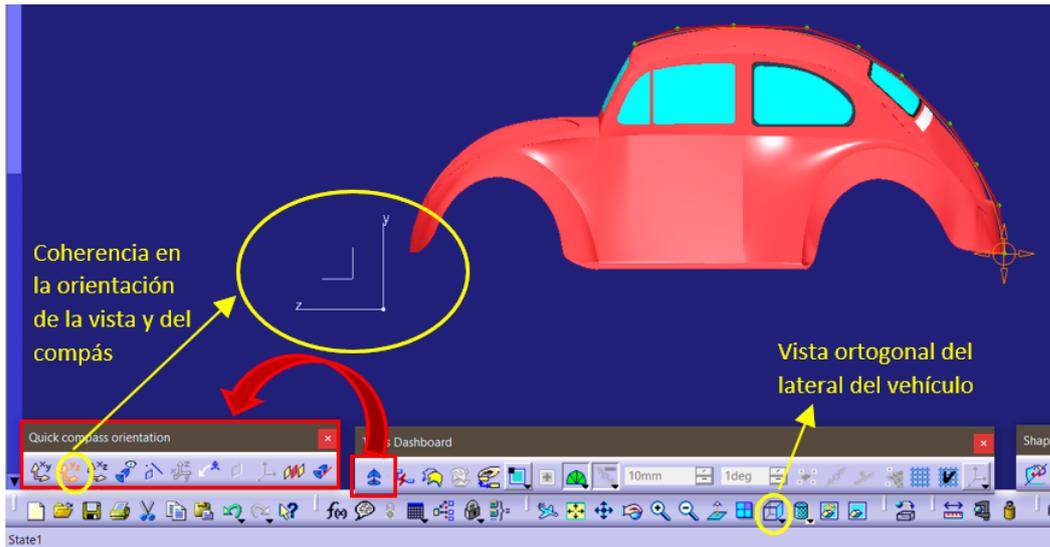


Figura 143. Espacio de trabajo con orientaciones bien configuradas

De este modo cuando se gire la vista (Figura 144) el resultado está controlado en el plano de creación.

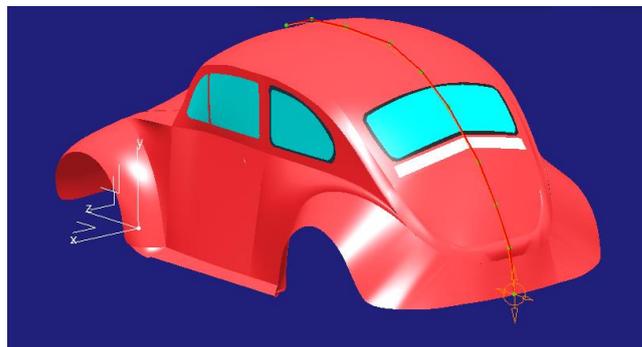


Figura 144. Curva 3D resultante con orientaciones bien configuradas

Posteriormente se podrá modificar la curva si es necesario en dirección perpendicular al plano, en este ejemplo, en dirección X, gracias a herramientas para modificar los puntos de control en las tres direcciones que se explicarán posteriormente.

Otra ventaja de colocar la vista del lateral del vehículo en ortogonal en vez de en isométrica y posteriormente colocarlo a conveniencia es que si la orientación del compás no coincide con la de la vista no permite empezar a colocar puntos de control (Figura 145). Se queda un punto rojo bloqueado en la vista, de este modo se puede advertir que la orientación del compás no es correcta.

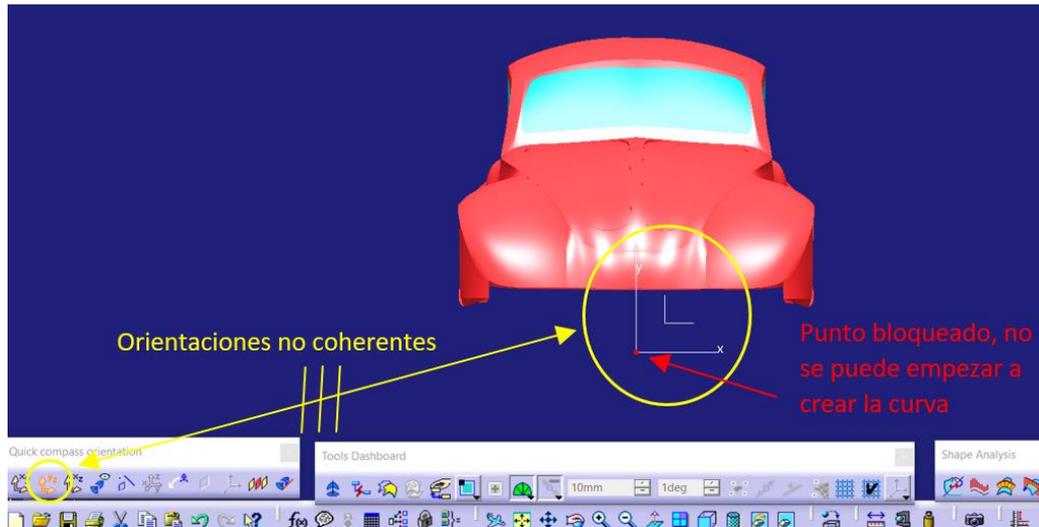


Figura 145. Imposibilidad de operar con Curvas 3D con orientación mal configurada

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que cuando se construyen las curvas 3D controladas en un plano, éstas se crean en el plano definido por el sistema de ejes (Figura 146).

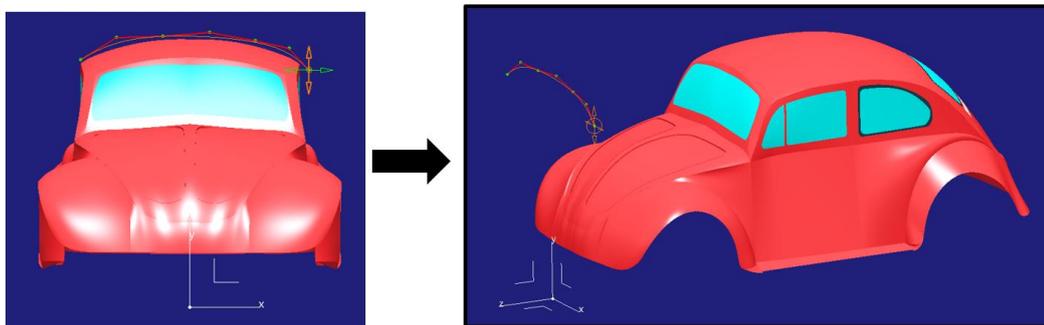


Figura 146. Resultado de la curva 3D en el plano formado por sistema de ejes

De modo que simplemente para colocarla en otro plano se traslada la curva hasta la posición deseada. Esto puede realizarse a través del comando *Translate* (no recomendable) (Figura 147), disponible tanto en *ICEM Shape Design* como en *Generative Shape Design*. Este creará una nueva curva idéntica desplazada la distancia deseada a través de una dirección. Otra opción es a través de la herramienta *Control Points* de la paleta *Shape modification* de *ICEM Shape Design* (recomendable) que se explicará en profundidad más adelante.

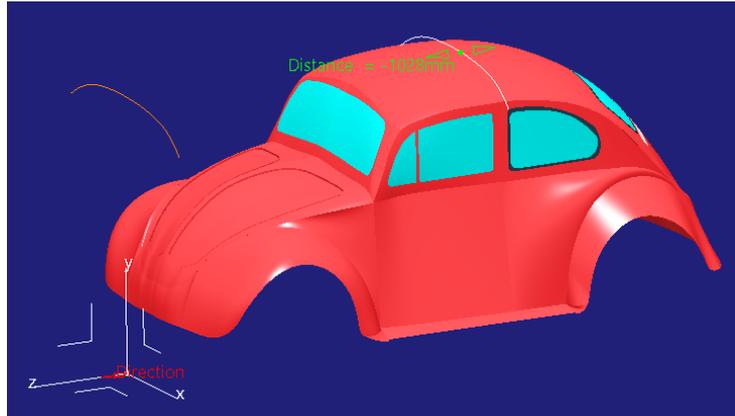
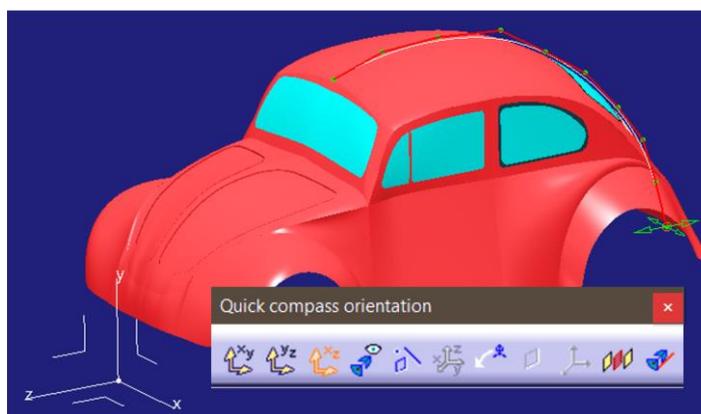
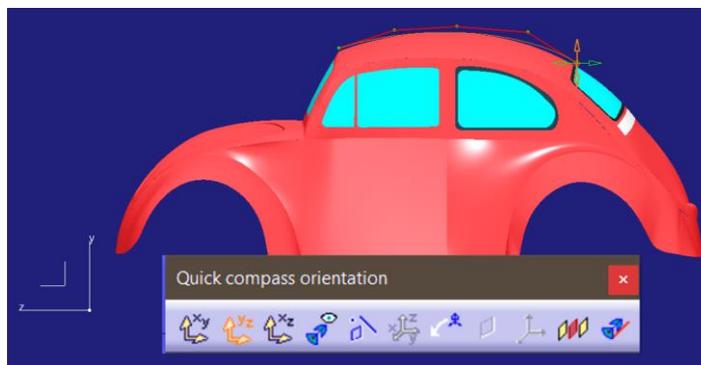


Figura 147. Traslado de una curva a través del comando Translate

En cuanto a la modificación de puntos de control hay dos formas de realizarlo igualmente válidas teniendo en cuenta los resultados y la complejidad de realización. Una de ellas es a través del propio comando de *3D Curve* y otra a través del comando *Control Points*. En primer lugar, se hablará de la modificación a través del comando *3D Curve*. En este tipo de modificación es necesario controlar la orientación del compás para que nos permita mover el punto en las direcciones del plano marcadas por el compás (Figura 148).



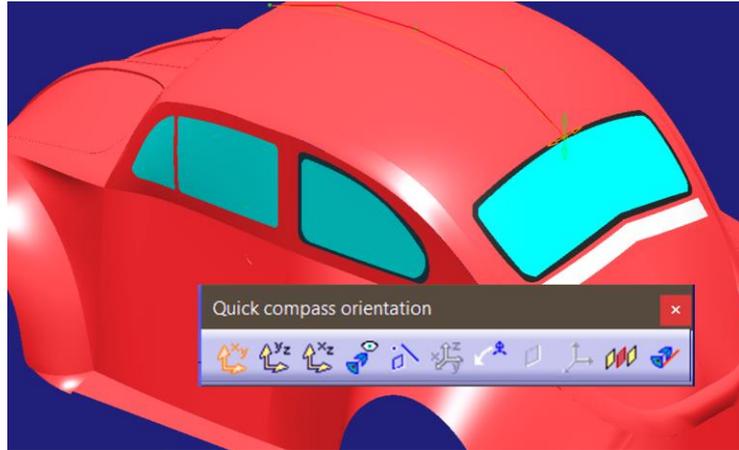


Figura 148. Posibilidades de modificación de los puntos de control de una curva dentro del mismo comando a través de la orientación del compás

De este modo (utilizando el comando *3D Curve*) también es posible acceder a las opciones de añadir y quitar puntos de control si a medida que se modifican se observa que son necesarios más o menos de ellos para controlar la forma de la curva (Figura 149).



Figura 149. Opciones de añadir (izquierda) o quitar (derecha) puntos de control en el comando *3D Curve*

Tal y como se ha anticipado, la otra posibilidad de modificación de puntos de control es a través de la herramienta *Control Points* de la paleta *Shape Modification* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*. Esta herramienta, como se verá más adelante (cuando se llegue al modelado de superficies) permite el manejo de los puntos de control tanto de curvas como de superficies.

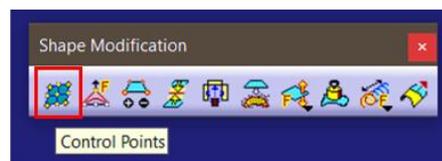


Figura 150. Localización de la herramienta *Control Points* de *ICEM Shape Design*

Pese a haberse presentado la herramienta para la modificación de puntos de control a través del comando *3D Curve* es recomendable simplemente utilizarla para crear la curva y añadir o quitar puntos de control, dejando la modificación de estos para la herramienta que aquí se presenta puesto que como se verá en las líneas siguientes tiene una mayor versatilidad adaptándose a todas las necesidades que se tengan.

Esta herramienta permite multitud de opciones que a continuación se detallarán.

- En cuanto a la forma de modificar los puntos de control permite realizarlo en dirección perpendicular al plano definido por la orientación del compás (*Figura 151*), a través de las líneas de control (*Figura 152*) (rectas que unen los puntos de control, también denominado *Mesh*), a través de la normal a la tangente de la curva en el punto de control seleccionado (*Figura 153*), a través del plano definido por la orientación del compás (*Figura 154*), a través de la tangente a la curva en el punto de control seleccionado (*Figura 155*) y a través del plano de la pantalla (*Figura 156*).

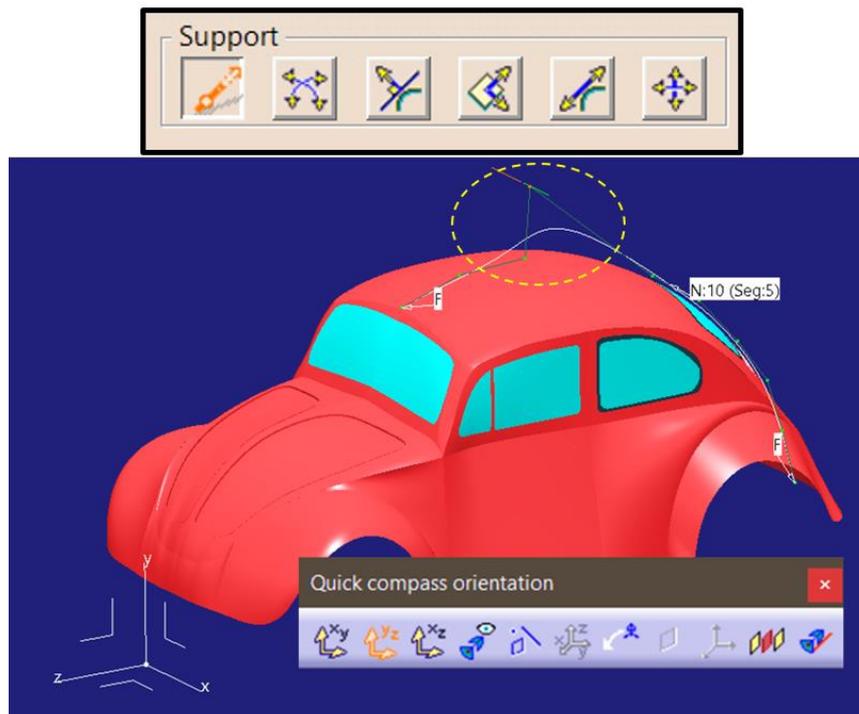


Figura 151. Modificación en dirección perpendicular al plano del compás

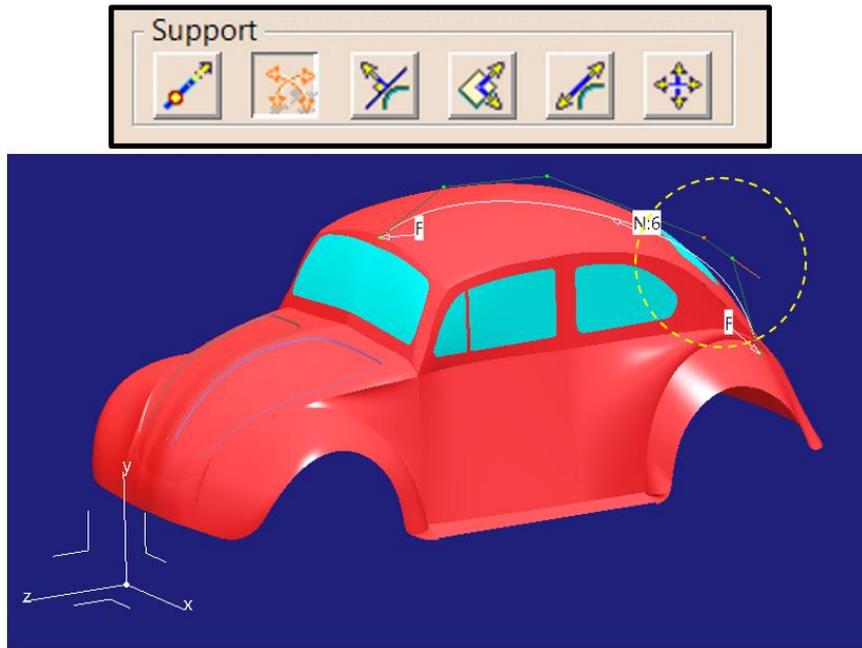


Figura 152. Modificación en dirección de las líneas Mesh

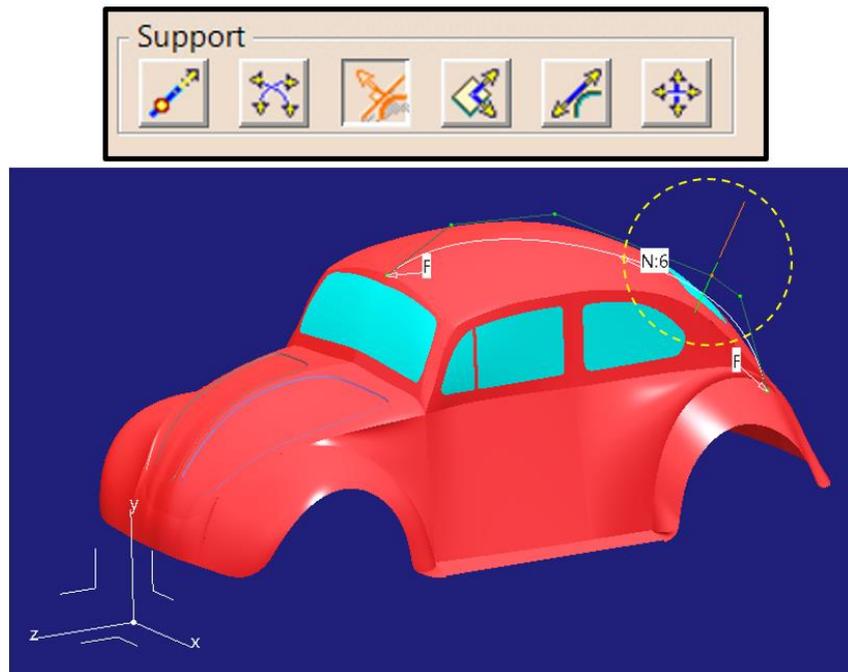


Figura 153. Modificación en dirección perpendicular a la tangente a la curva

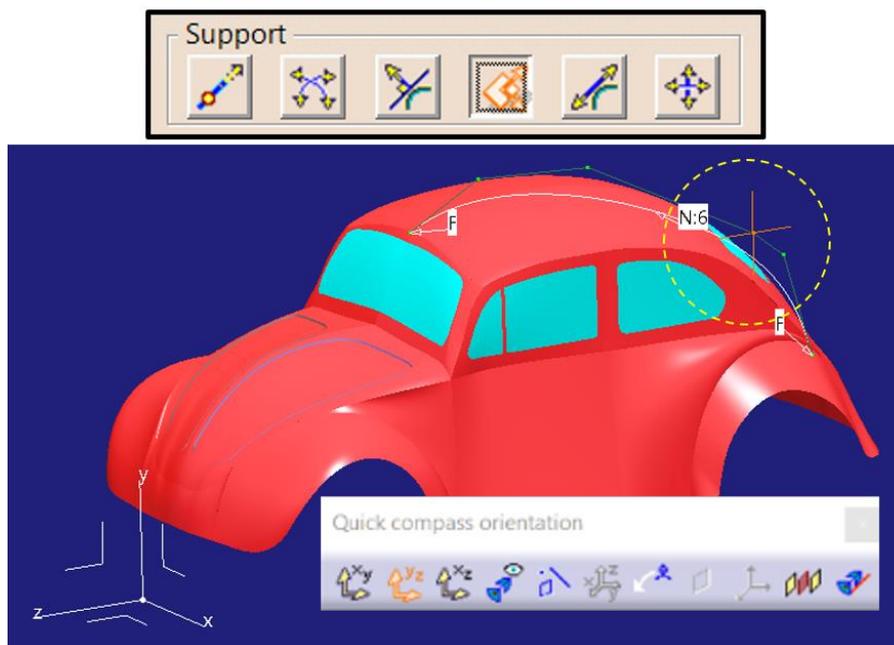


Figura 154. Modificación en el plano definido por el compás

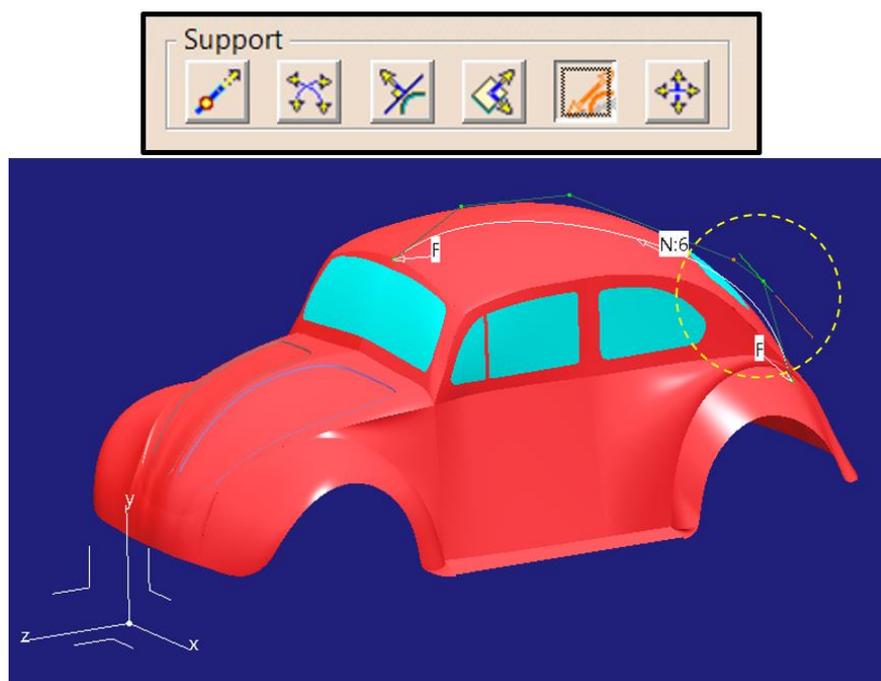


Figura 155. Modificación en dirección de la tangente a la curva

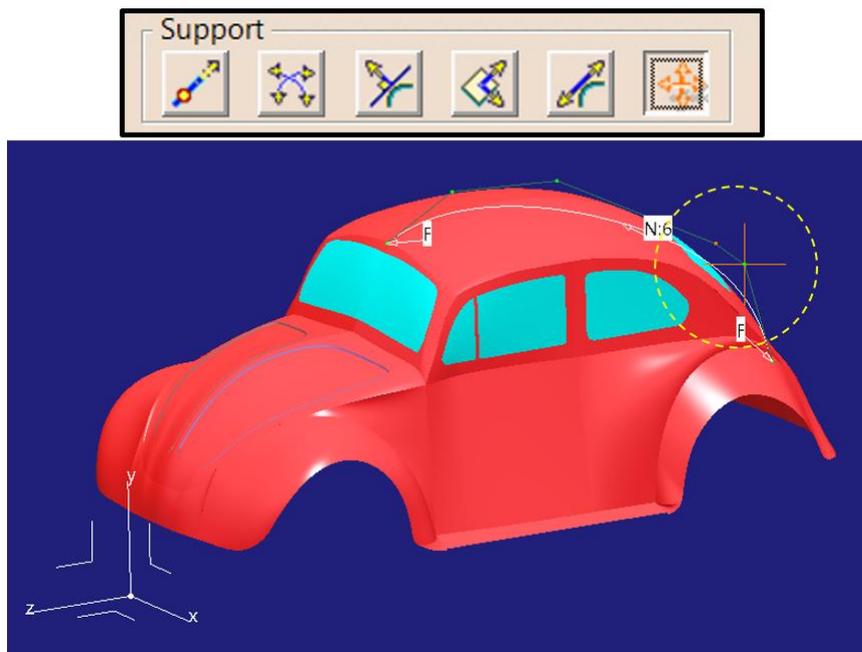


Figura 156. Modificación en el plano de la pantalla (no recomendable por falta de control)

- Por otro lado, permite modificar la posición de los puntos de control o modificar la posición de toda la curva entera (Figura 157). Esta será la opción recomendable a la hora de trasladar una curva hasta la posición deseada.

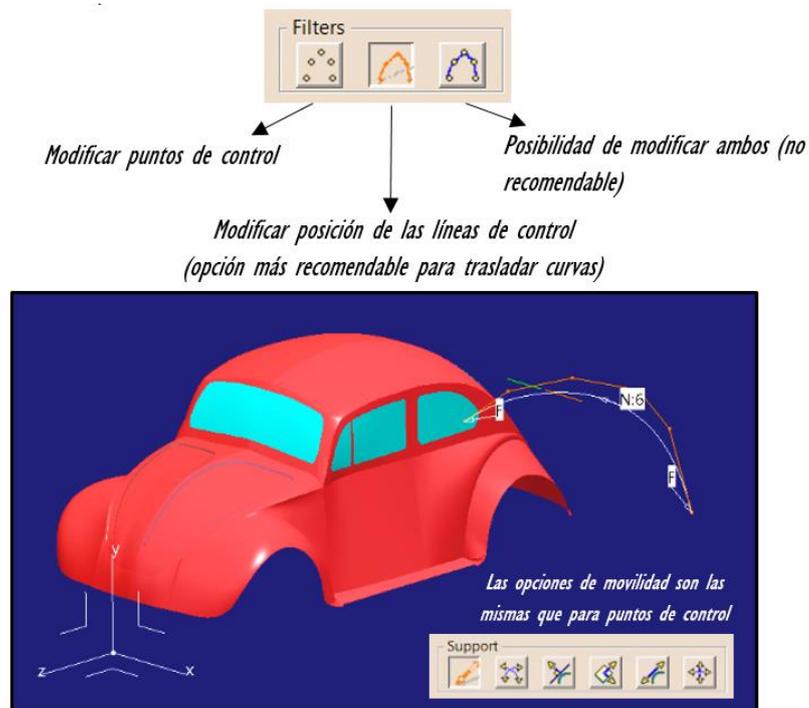


Figura 157. Traslado de curva entera en una determinada dirección con el comando Control Points

- Otra opción fundamental es la de poder definir un plano de simetría (Figura 158).

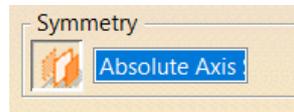


Figura 158. Opción de simetría en el comando Control Points

Esta opción permite modificar un punto de control y que se modifique su simétrico de igual manera. Esto es imprescindible puesto que como se dijo en la **Regla de Oro N°5** (*Apartado 4.5.*) es recomendable construir la geometría que corte un eje de simetría entera en vez de una mitad y aplicar simetría posteriormente. De este modo se asegura una buena continuidad, pero se ha de asegurar simetría también obviamente. Esta simetría de la curva se consigue a través de la simetría de los puntos de control por medio de esta opción que aquí se comenta.

Se presenta en la *Figura 159* un sencillo ejemplo de la modificación de una curva con la opción de simetría seleccionada.

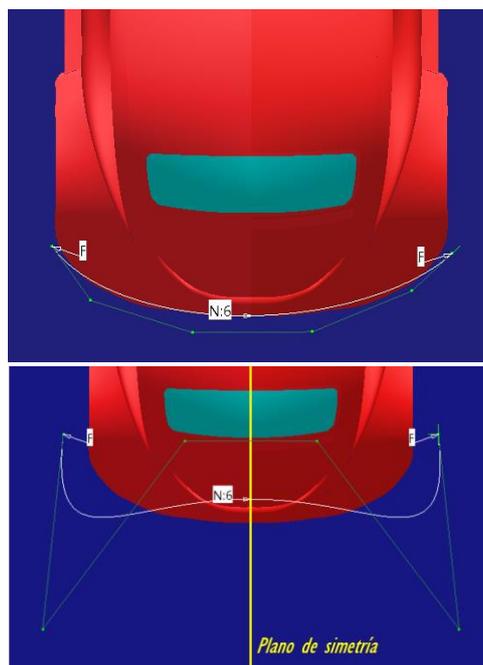


Figura 159. Operación con puntos de control con simetría

Otro tema importante a tratar es la segmentación de las curvas, es decir, en cuantas partes están divididas. Programas de diseño CAD como Autodesk Alias presenta problemas de continuidad interna cuando las curvas están formadas por varios segmentos (Spans en la nomenclatura ALIAS), de modo que para

conseguir continuidad interna se necesita una curva de un único tramo a costa de aumentar el grado del mismo (*Figura 160*).

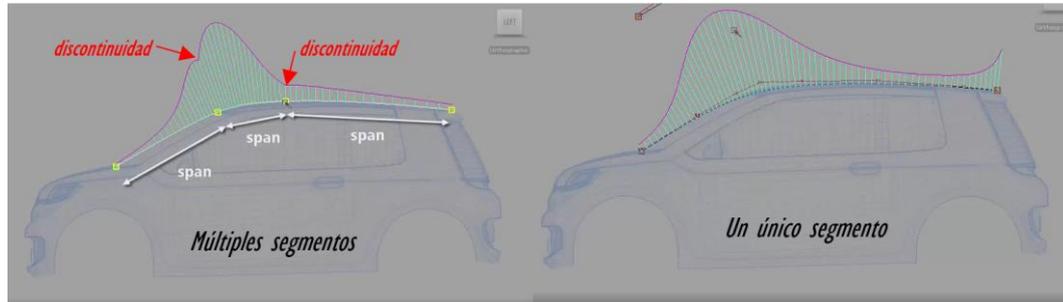


Figura 160. Análisis de continuidad en curvas multi-segmento con Autodesk Alias [1]

En CATIA V5 ICEM Shape Design no se aprecia esta falta de continuidad interna pese a que la curva esté formada por varios segmentos (*Figuras 161 y 162*).

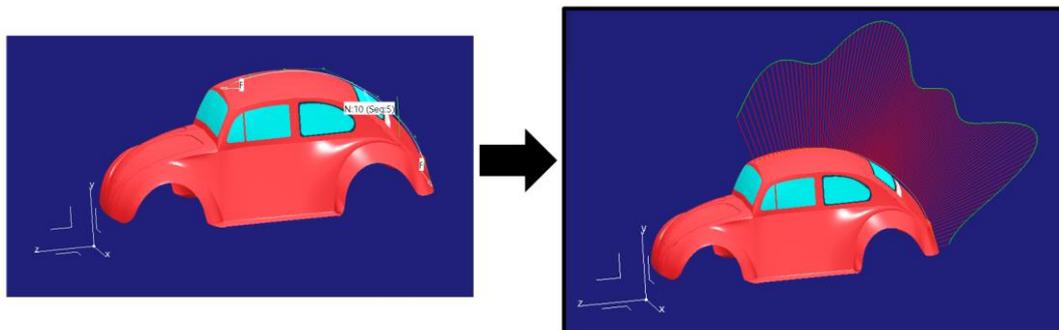


Figura 161. Análisis de peines de curvatura en curva con 5 segmentos

Como se aprecia en la imagen anterior (*Figura 161*) la curva está formada por 5 segmentos y la gráfica de curvatura no muestra ninguna discontinuidad interna de la curvatura.

Lo que sí se produce es un aumento en el descontrol e irregularidad de la curvatura a medida que se incrementa el número de puntos de control y por lo tanto los segmentos. Se vuelve a ejemplificar a continuación (*Figura 162*), donde se presenta la misma curva de la *Figura 161* pero formada por 40 segmentos.

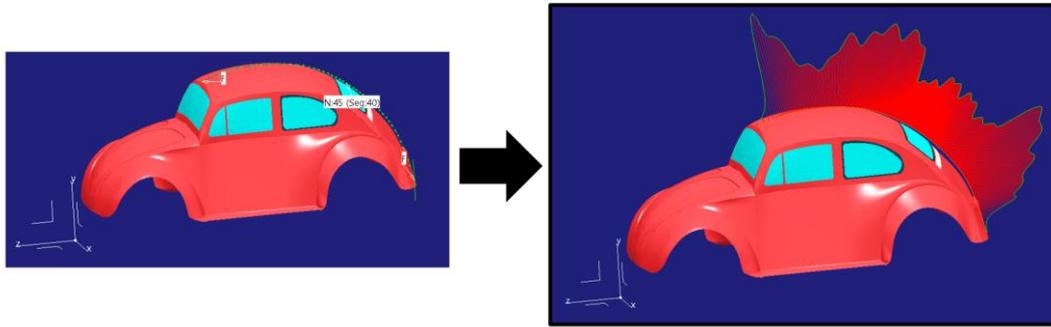


Figura 162. Análisis de peines de curvatura en curva con 40 segmentos

Por este motivo, pese a que el número de segmentos no afecte a la continuidad interna, es recomendable construir curvas lo más sencillas posibles, de modo que se consiga una forma suave, controlada y con una gráfica de curvatura sin grandes picos ni valles.

Otro de los motivos para crear curvas sencillas es que estas a su vez influyen en la complejidad de las superficies que se forman a partir de ellas. Esto es especialmente relevante en superficies grandes (primarias), las cuales se caracterizan por formas suaves y que permiten ser controladas por pocos puntos de control.

A continuación, en las Figuras 163 y 164 se puede observar las superficies resultantes de extrudir las curvas anteriormente presentadas (5 segmentos y 40 segmentos).

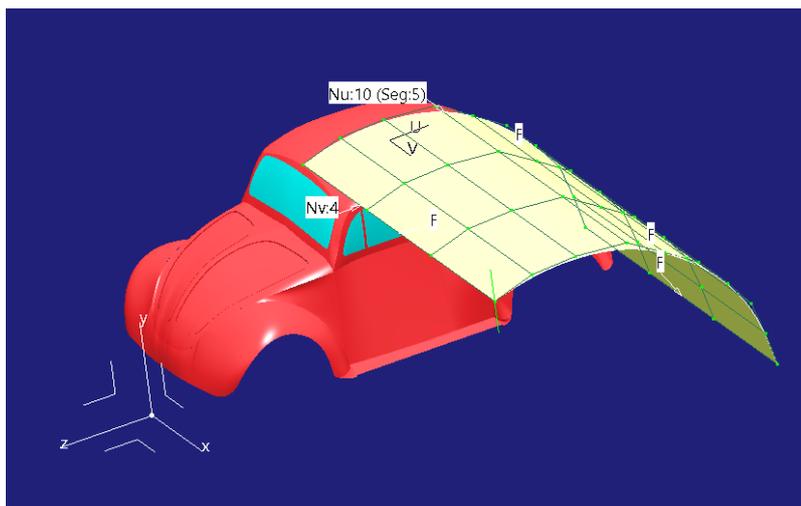


Figura 163. Superficie resultante de extrusión de curva de 5 segmentos

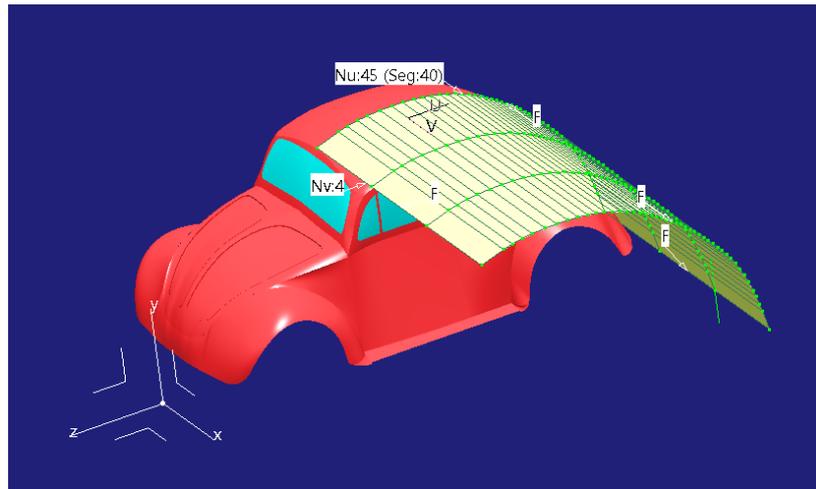


Figura 164. Superficie resultante de extrusión de curva de 40 segmentos

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores (*Figuras 163 y 164*) una curva más sencilla da lugar a una superficie más sencilla, de modo que siempre que se pueda, y especialmente para superficies primarias, es muy buena costumbre crear curvas lo más sencillas posibles puesto que servirán de apoyo para todas las superficies posteriores.

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CURVAS 3D

- Cuidar la orientación del espacio de trabajo y del compás.
- Crear la curva 3D controlada en un plano y posteriormente adaptarla perpendicularmente a dicho plano.
- Crear las curvas 3D haciendo uso de puntos de control.
- Añadir o quitar puntos de control dentro del mismo comando *3D Curve*.
- Modificar puntos de control a través de *Control Points* de la paleta *Shape Modification*.
- Trasladar la curva a través de *Control Points* de la paleta *Shape Modification* escogiendo la opción de mover *Mesh Only*.
- Aplicar la opción de simetría al modificar puntos de control en curvas que corten el eje de simetría.
- Crear las curvas más sencillas posibles (menos puntos de control).

Así pues, anteriormente se dieron las nociones básicas sobre la creación de curvas que ayudarán a la mejora del modelo, más concretamente se presentaron ejemplos de creación de curva que ajuste a un contorno del

vehículo y como modificarla y moverla a conveniencia, que, como veremos más adelante será la acción más repetida en este tipo de modelados.

Ahora se comenzará a construir el modelo mejorado partiendo de la premisa de construir las curvas que las superficies primarias requieran haciendo uso del esquema de trabajo de la *Figura 138*. También se presentarán a medida que se hagan necesarias otras herramientas de trabajo con curvas como proyección de curvas, intersección, etc.

En este apartado se crearán las superficies primarias. Llegados a este punto, antes de construir las superficies primarias hay que saber cuáles son (*Figura 165*). Esta no es una tarea universal, sino que es un trabajo de análisis y planificación individual para cada trabajo y pieza que se esté creando. Es, incluso, un trabajo personal de cada diseñador para una misma pieza. Cada diseñador puede ver la pieza y la planificación de su construcción de manera completamente distinta a la de sus compañeros.

En este caso se ha planteado el modelado de las superficies primarias de la siguiente manera:

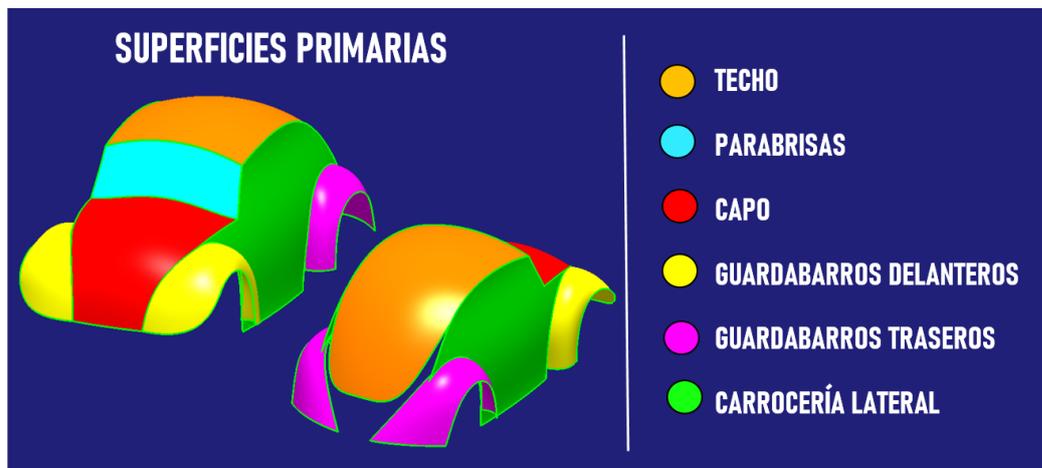


Figura 165. Planificación de las superficies primarias

Como se puede observar en la *Figura 165* se han definido como superficies primarias aquellas que destacan por tener un gran tamaño y definir la forma general del vehículo. Pese a no ser un modelo estanco, puesto que faltan en la planificación de superficies primarias el embellecedor del maletero, la carrocería inferior trasera y las estriberas, cumple con lo que se espera de un modelado de superficies primarias: se consigue que echando un vistazo a estas superficies ya se conoce la forma y dimensiones que va a tener la pieza. Las piezas anteriormente mencionadas se modelarán como superficies

secundarias puesto que la geometría colindante posee una complejidad que hace que no sean tan sencillas de crear como las primarias.

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → PLANIFICACIÓN DE SUPERFICIES PRIMARIAS

- Es decisión de cada diseñador acorde a su experiencia y pieza concreta que está diseñando.
- Una vez construidas deben definir la forma básica de la pieza.
- Han de ser superficies grandes caracterizadas por formas suaves y poco complejas.

6.2.1. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL TECHO

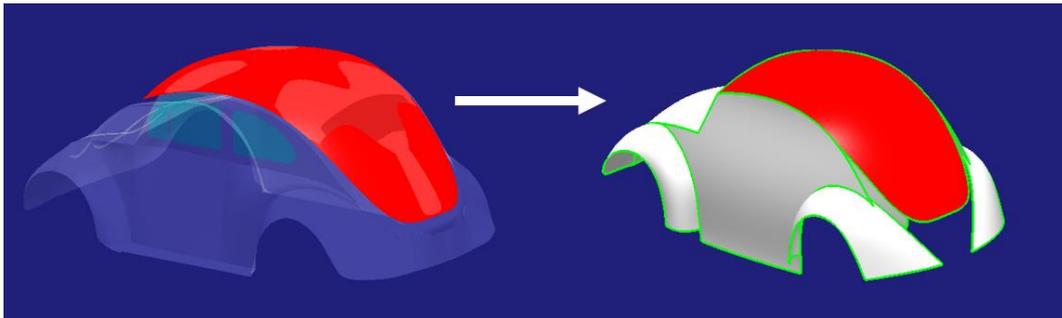


Figura 166. Superficie primaria que define el techo

En primer lugar, se modelará la superficie del techo (*Figura 166*) puesto que es la pieza de mayor tamaño y la que presenta, probablemente, una curvatura y forma más suave y controlada de todo el modelo, es decir, es la superficie más sencilla de crear, por ello se construye la primera. Recuérdese una de las reglas básicas de modelado con superficies de clase A: modelar de grande a pequeño y de sencillo a complicado (a veces equivalente).

Para el modelado del techo parecen presentarse dos opciones que se adecúan a sus características:

- Crear una superficie plana indefinida (se denominará placa en adelante), posteriormente adaptarla a la forma deseada y finalmente recortar la parte trasera con la forma deseada (*Figura 167*).

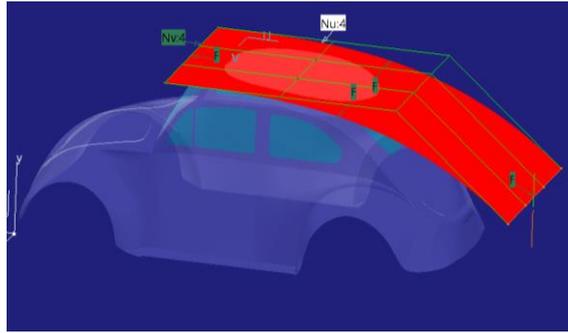


Figura 167. Modelado del techo a partir de la modificación de una placa plana

Se descartará esta opción puesto que requiere de mucho trabajo de modificación de la superficie y esto puede suponer un gran quebradero de cabeza. Es una forma rápida de obtener la superficie, pero una forma lenta de adaptarla, además que se deberá modificar numerosas veces el número de puntos de control necesarios para hacerse con el control de la superficie.

Este tipo de creación de superficie a través de placa será utilizado en superficies posteriores (*Apartado 6.2.7*) y en ellas se explicará el comando que permite hacerlo.

- Crear la superficie a partir de las curvas que definen el contorno del techo, adaptar lo que sea necesario y posteriormente recortar la parte trasera a la forma deseada (*Figura 168*).



Figura 168. Modelado del techo a partir de curvas que definen el contorno lateral

Esta última será la opción escogida puesto que, a pesar de requerir mayor preparación para crear la superficie, una vez creada ya tiene prácticamente su forma final controlada. Con esta forma de modelar se tiene el control de la superficie a través de las curvas, y es más sencillo controlar una curva que una superficie.

A continuación, se pasa a detallar el proceso seguido para obtener el techo bajo este método de trabajo.

1. Creación de la curva que define el contorno lateral del techo en su parte central.

Se creará haciendo uso del comando *3D Curve* y utilizando el mínimo número de puntos de control que haga que la curva se adapte bien al contorno que se desea y que el flujo de puntos de control sea correcto como se puede ver a continuación, en la *Figura 169*.

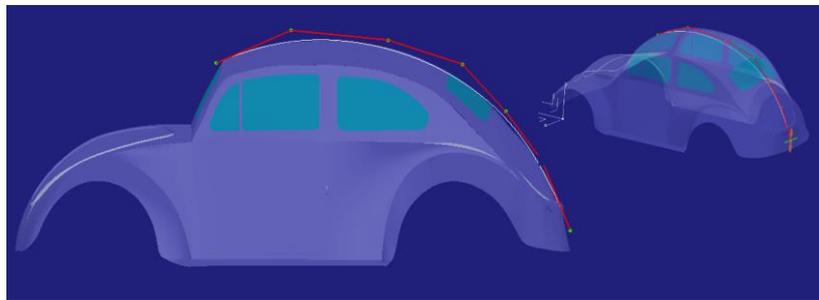


Figura 169. Modelado de la curva que define el contorno lateral central del techo

2. Creación de las curvas que definen el contorno lateral del techo en sus laterales.

En este punto se pondrá en práctica la **Regla de Oro N°7 – Igualar curvas en lado opuestos** (*Apartado 4.7.*). La explicación práctica de esta regla de oro es que en vez de crear una nueva curva para definir el nuevo contorno lo que se hace es copiar la anteriormente creada y modificarla en base a las nuevas necesidades. Lo que se pretende con esto es que ambas tengan una parametrización de los puntos de control más o menos equivalente (*Figuras 170 y 171*).

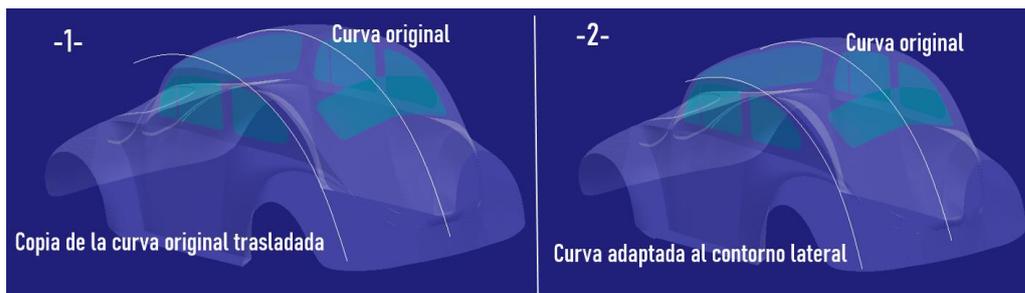


Figura 170. Proceso de copia y modificación de la curva del contorno lateral

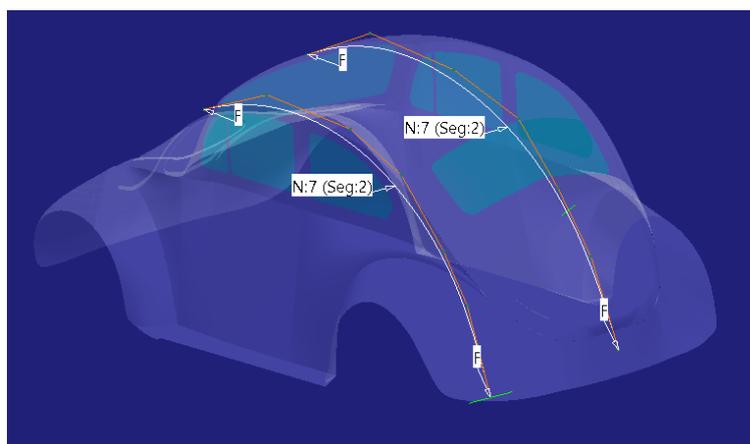


Figura 171. Comprobación de la homogeneidad de puntos de control conseguida

Para la curva del lateral que resta simplemente utilizaremos el comando Symmetry dentro de la paleta *Shape Management* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

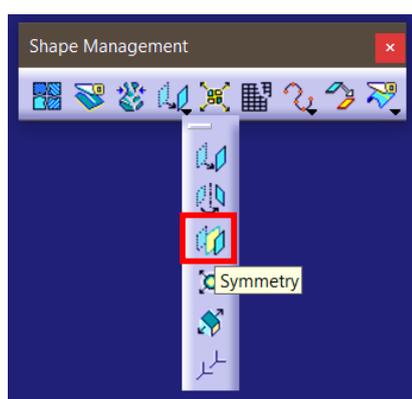


Figura 172. Localización de la herramienta Symmetry de ICEM Shape Design

Dicha herramienta permite crear una copia simétrica de una curva o superficie eligiendo el plano de simetría (Figura 173).

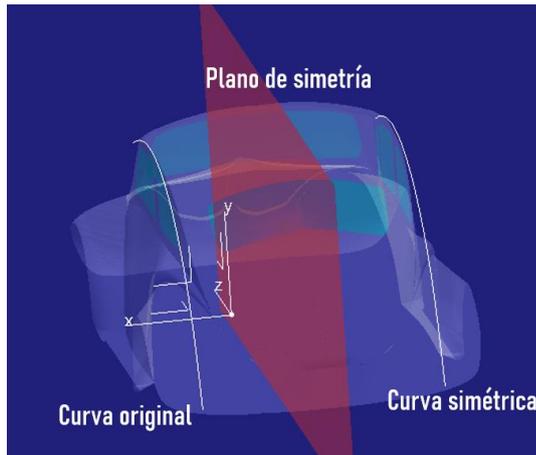


Figura 173. Operación de simetría sobre una curva

3. Creación de la superficie a partir de las curvas anteriores.

Se utilizará un comando que crea una superficie a partir del barrido de secciones (las curvas que anteriormente se han modelado) asegurando una buena continuidad superficial. Se trata del comando Sweep dentro de la paleta *Surface Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 174. Localización de la herramienta Sweep de ICEM Shape Design

Dentro de la herramienta se encuentran tres opciones de barrido: *Multisections*, *Guide+Profile* y *Sliding* (Figura 175).

En el caso que aquí se trata, la opción a escoger es *Multisections* puesto que se quiere que la superficie se adapte a las tres curvas o contornos que se han definido anteriormente.

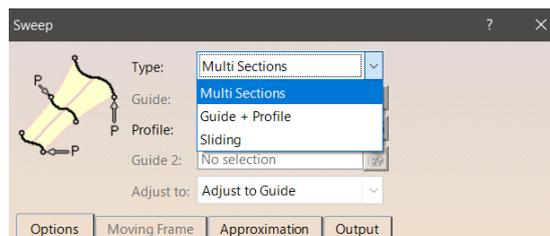


Figura 175. Barrido aplicando la opción de Multisections

Para más información sobre el comando y los demás tipos de barrido que aquí no se realizan consúltese [3].

El resultado de la operación de barrido por multi-sección es el presentado en la Figura 176:

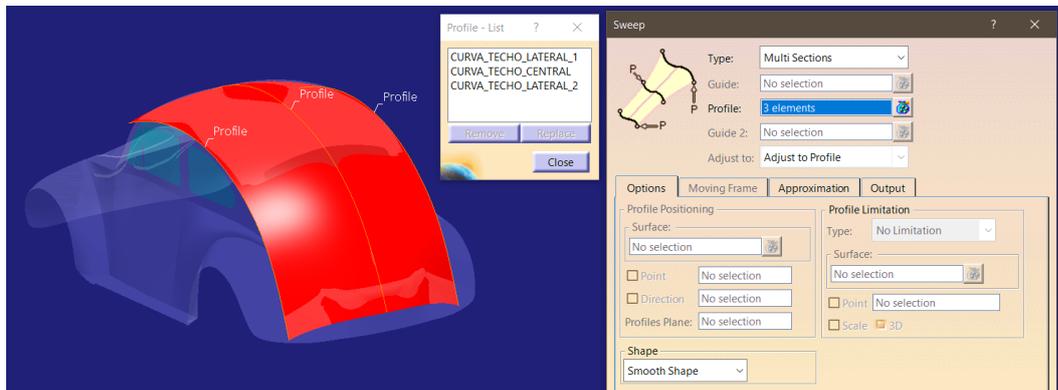


Figura 176. Resultado de la operación de barrido de múltiples secciones del techo

Cabe destacar la importancia del orden de elección de las secciones, ya que se han de ir marcando en el orden en que se irá generando el barrido, dando igual el sentido de marcado, es decir, hay que marcarlas secuencialmente, sin saltar ninguna sección puesto que de ser así el resultado será incorrecto. En la Figura 177 queda mejor explicado con un simple ejemplo.

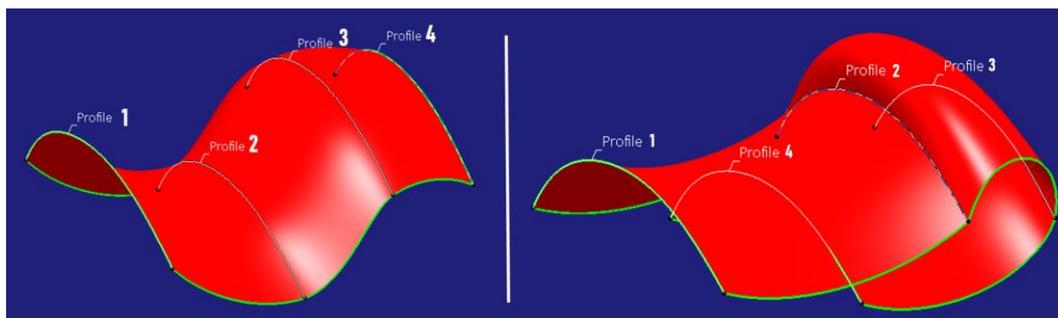


Figura 177. Diferentes resultados de barrido por múltiples secciones dependiendo del orden de elección de secciones

A continuación, se analiza si es necesaria alguna adaptación superficial o el resultado de la operación es ya válido.

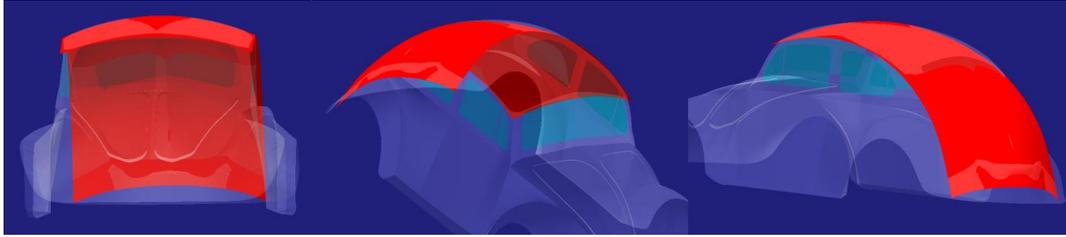


Figura 178. Superficie del techo resultante

Como se puede observar en la *Figura 178* el resultado es bastante bueno, de modo que no se hace necesaria ninguna modificación superficial. Esta era una de las ventajas que se comentó y que ahora se confirma a la hora de utilizar este comando en vez del de placa.

En principio esta superficie estaría lista para ser cortada con la forma del maletero. Pero si se observa con detalle, la superficie obtenida presenta un problema: el programa las detecta como dos superficies (*Figura 171*) a pesar de estar creadas en la misma operación y en el árbol de objetos aparecer como una sola. Esta detección de dos superficies afecta a la hora de modificarla (en este caso no ha sido necesario, pero podría serlo).

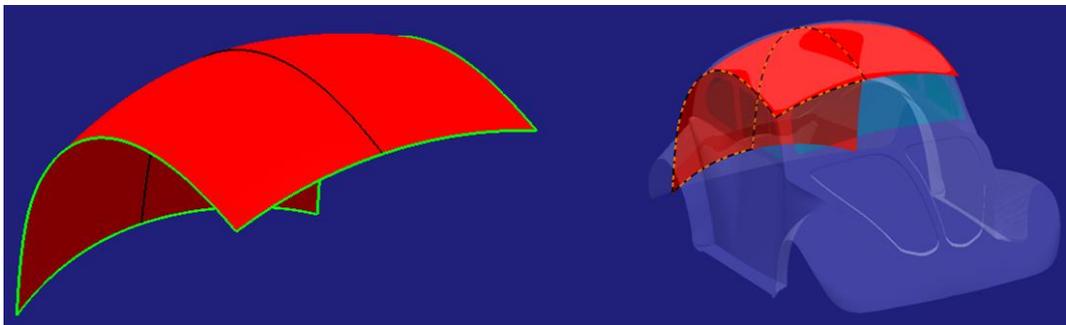


Figura 179. Resultado de dos superficies seleccionables independientemente al barrer tres secciones

Esta situación hace que a la hora de utilizar la herramienta de modificación de puntos de control solo podamos modificar una de las mitades (*Figura 180*), lo cual es inviable si se quiere darle simetría a la pieza. Aunque se seleccionen las dos partes de la superficie para modificar (es posible hacerlo) y marquemos el plano de simetría adecuado, esta simetría se aplicará individualmente a cada parte (*Figura 181*).

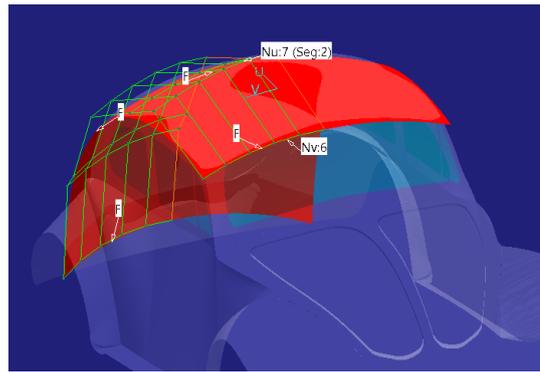


Figura 180. Modificación de puntos de control en solo una de las partes

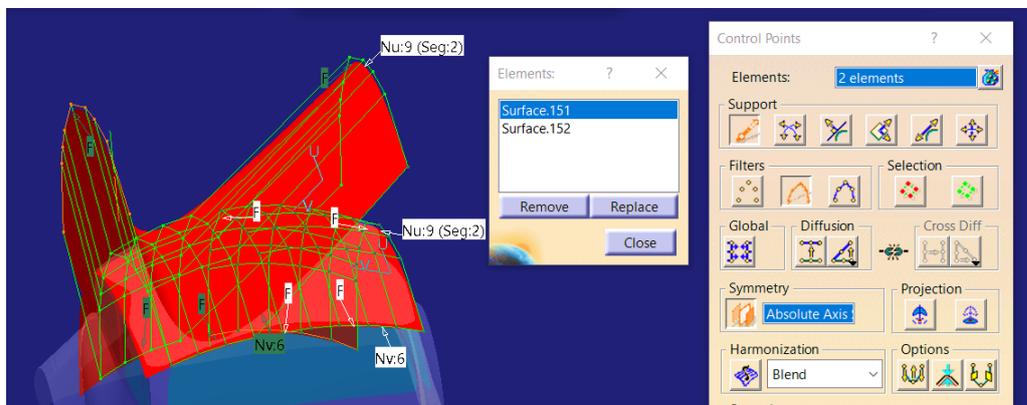


Figura 181. Modificación con simetría de las dos superficies dando lugar a resultados no deseados

Este resultado siempre ocurre cuando se crea un barrido a partir de múltiples secciones, quedando una superficie seleccionable independientemente definida entre dos secciones. Por ejemplo, realizando un barrido en multi-sección con cuatro curvas, la superficie resultante queda dividida en tres partes seleccionables, de modo que no podemos modificar la superficie completa como una sola pieza (Figura 182).

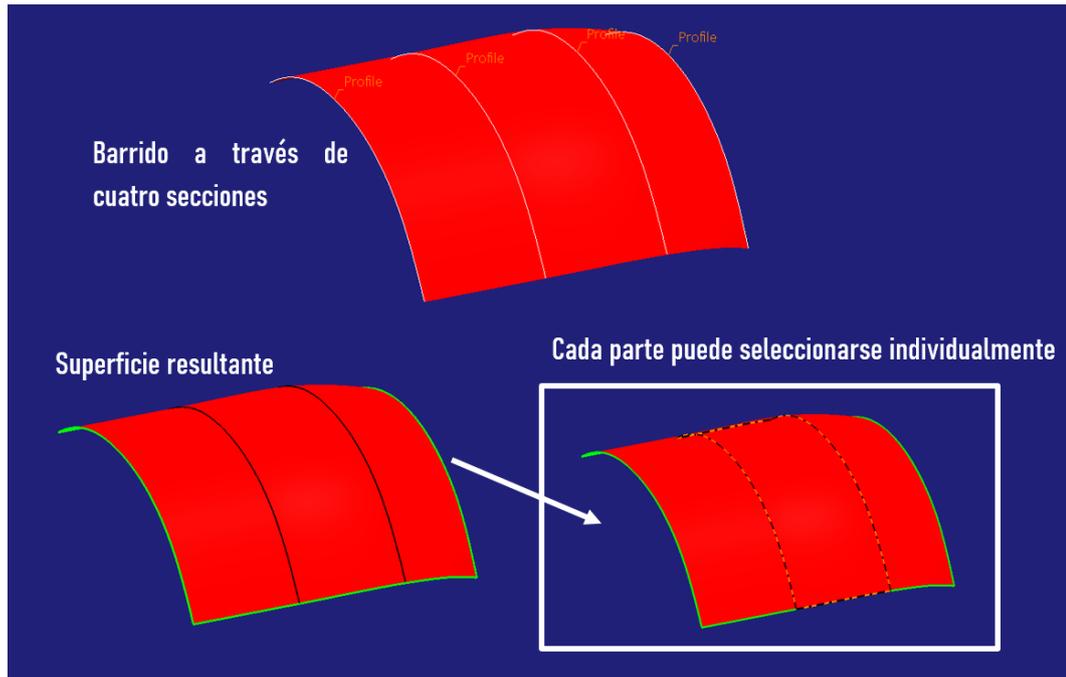


Figura 182. Barrido de múltiples secciones con cuatro secciones o perfiles

Esto no quiere decir que la superficie obtenida para el techo sea incorrecta, de hecho, es una superficie perfectamente correcta de cara a las exigencias de superficies de clase A ya que presenta una buena continuidad de reflejos como se puede apreciar en la *Figura 183*.

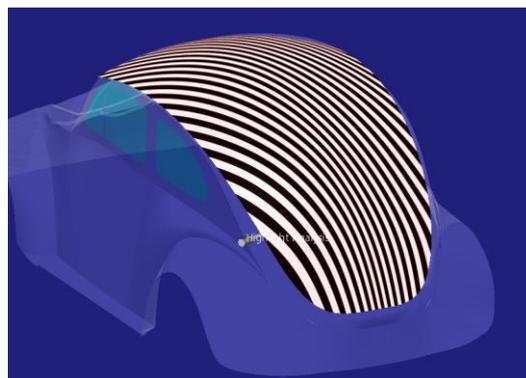


Figura 183. Análisis de reflejos del techo formado por barrido de 3 secciones

A pesar de obtener superficies correctas realizando barridos con más de dos secciones, se ha visto que, en el momento en que se tenga que modificar en algún aspecto la superficie creada, esta manera de proceder da problemas. El modelado de superficies de clase A requiere de gran cantidad de

modificaciones superficiales, por lo tanto, obtener superficies que dificulten esta labor no tiene ningún sentido. Es por ello que se ha de evitar realizar barridos con más de dos secciones.

La solución pasa por no crear barridos con más de dos secciones, de modo que así aseguramos que el resultado esté formado solo por una superficie seleccionable y modificable (la que se encuentra entre la sección inicial y la final). Posteriormente se adaptará la forma intermedia a la forma deseada.

En resumen, con esta forma de trabajar se controlan previamente los bordes de la superficie al crear las curvas (secciones) y posteriormente se controla la zona central a través de la modificación de los puntos de control de la superficie.

Así pues, aplicado a la superficie del techo se realizará el barrido con las dos secciones laterales creadas anteriormente (*Figura 184*).

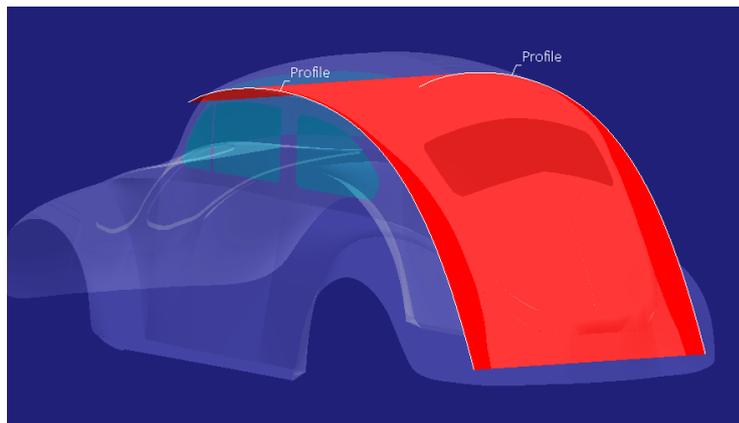


Figura 184. Resultado del barrido con dos secciones

A continuación, se modificará la superficie haciendo que se adapte en su parte central a la superficie del techo del modelo conceptual en que estamos apoyando el modelado (*Figura 185*).

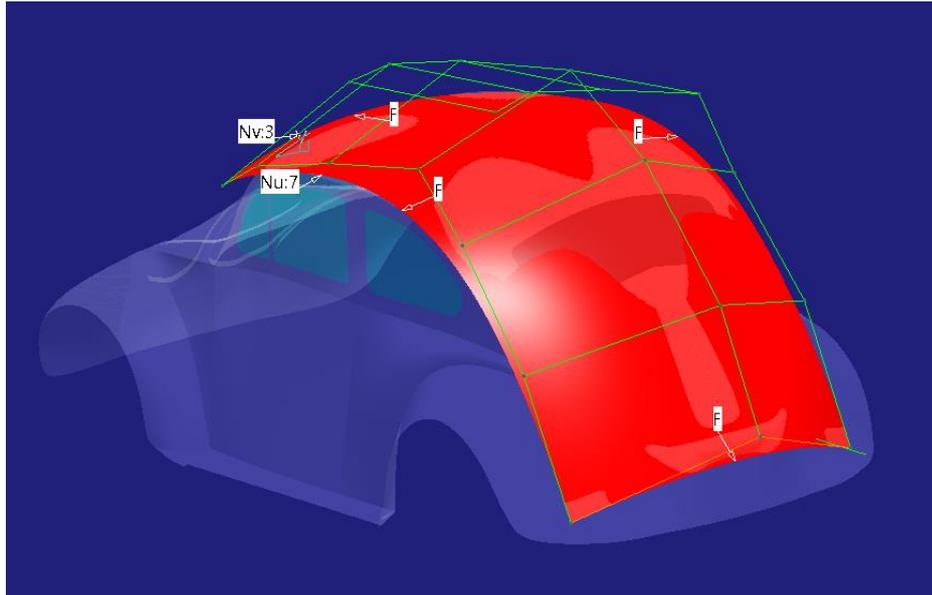


Figura 185. Modificación de la superficie obtenida del barrido

Llegados a este punto es imprescindible dedicar unos párrafos a explicar más en detalle cómo se modifican superficies, ya que, como se ha dicho, es una práctica que se utiliza enormemente en el modelado de superficies de clase A.

Las superficies se modificarán haciendo uso del comando *Control Points* de la paleta *Shape Modification* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

Esta herramienta ya se vio para la modificación de curvas, ahora será utilizada para la modificación de superficies.

Se han de conocer los siguientes botones y opciones:

- Modos de mover los puntos de control:



Figura 186. Formas de mover los puntos de control

Estos ya fueron explicados para la modificación de curvas y para superficies funcionan del mismo modo.

- Botón de “seleccionar todos” o “deseleccionar todos”.

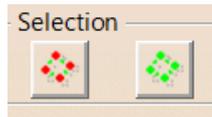


Figura 187. Botón de "seleccionar todos" (izquierda) y "deseleccionar todos" (derecha).

Estos botones nos permiten seleccionar de forma muy cómoda todos puntos de control para moverlos a la vez y así trasladar la superficie (así será cómo se hagan los traslados con superficies), y una vez acabada la operación deseleccionarlos para continuar modificando zonas más concretas,

- Botones de selección de puntos de control o de las rectas que unen los puntos de control (Mesh)

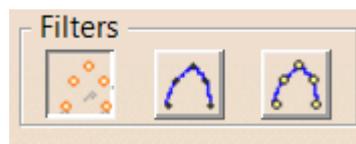


Figura 188. Botones de selección de geometría. Puntos de control (izquierda), rectas de unión o Mesh (centro) y ambos (derecha)

Con estos botones de selección podemos escoger qué se quiere mover. En superficies suele ser más útil la opción de mover las rectas que unen los puntos de control (Mesh), de este modo modificamos toda una fila de puntos de control (ya sea en dirección U o en dirección V) haciendo el flujo de puntos de control más suave (Figura 189). Ya que si se va modificando punto de control por punto de control el proceso es más laborioso e inestable. La modificación de puntos de control aislados en superficies solamente se utilizará para zonas muy concretas y cuando la opción de modificar toda una fila ya no sirva para adaptar la forma.

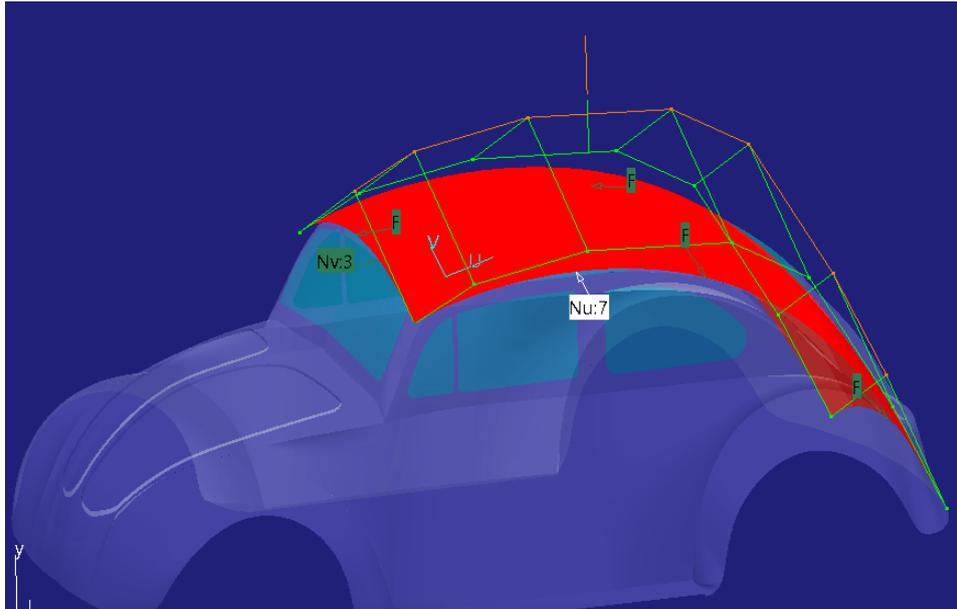


Figura 189. Modificación de toda una fila de puntos de control

Es recomendable usar únicamente las opciones de “Only Control Points” o de “Only Mesh” puesto que de este modo solo se puede modificar lo que se desee, de modo que se puede mover por error un punto o una recta de puntos de control que no se desee como ocurriría en el caso de tener marcada la opción de poder modificar ambas, especialmente en el caso de que se esté modificando una red de puntos de control extensa.

- Opción de simetría.

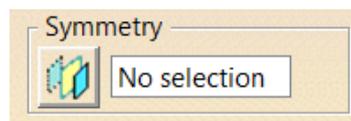


Figura 190. Opción de simetría

Esta opción ya fue explicada para el caso de la modificación de curvas y funciona exactamente igual para superficies.

También es importante conocer cómo modificar la cantidad de puntos de control que gobiernan la superficie.

Cuando se entra al comando de modificación de superficies aparece la red de puntos de control que posee dicha superficie por defecto (es decir, sin haber modificado nada). Se puede apreciar en la *Figura 191*; en ella se muestra la cantidad de puntos de control en cada dirección (U y V).

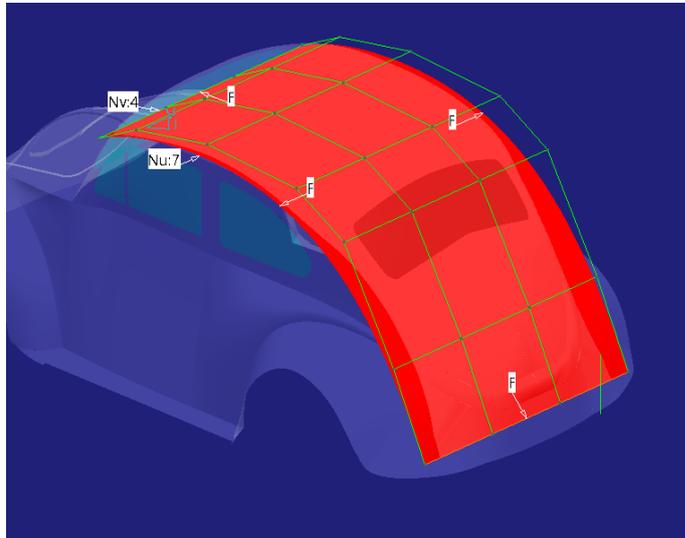


Figura 191. Superficie sin modificar

En el caso que aquí se trata (*Figura 191*) se tiene una red formada por 7 puntos de control en dirección U (los siete puntos de control que gobernaban las curvas en base a las cuales se han formado las superficies) y 4 puntos de control en dirección V.

El número de puntos de control en dirección U (los que provienen de las curvas) no se ha de modificar puesto que para eso ya se han creado las curvas con los puntos de control estrictamente necesarios.

Por otro lado, en este caso se ve que en dirección V es suficiente con tres puntos de control para adaptar la forma de la superficie en la parte central correctamente. De modo que haciendo click con el botón derecho del ratón sobre el panel que indica el número de puntos de control en dirección V se puede elegir el número que se desee (*Figura 192*).

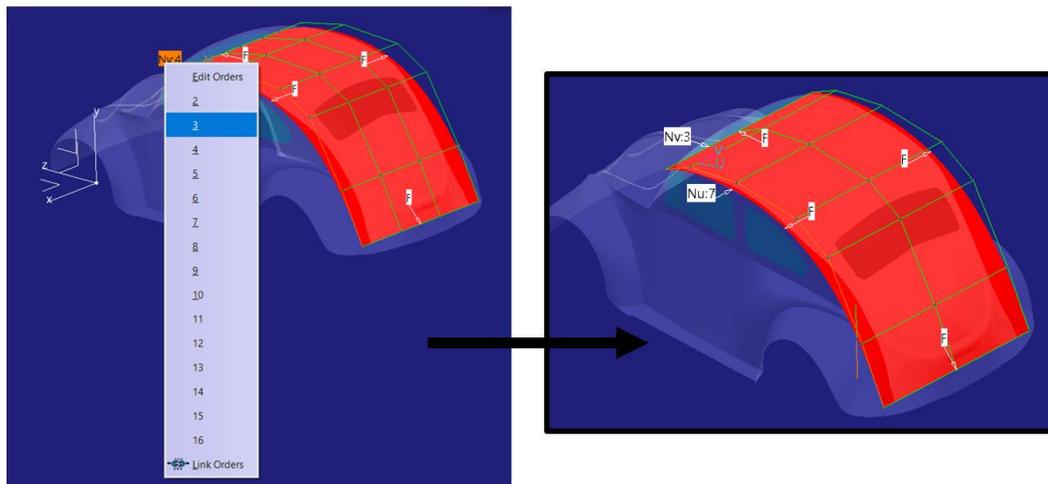


Figura 192. Elección del número de puntos de control en dirección V

De modo que una vez preparada la superficie con el número de puntos de control adecuado se puede modificar hasta conseguir la forma adaptada al modelo conceptual.

El resultado obtenido tras la modificación es el presentado en la *Figura 193*:

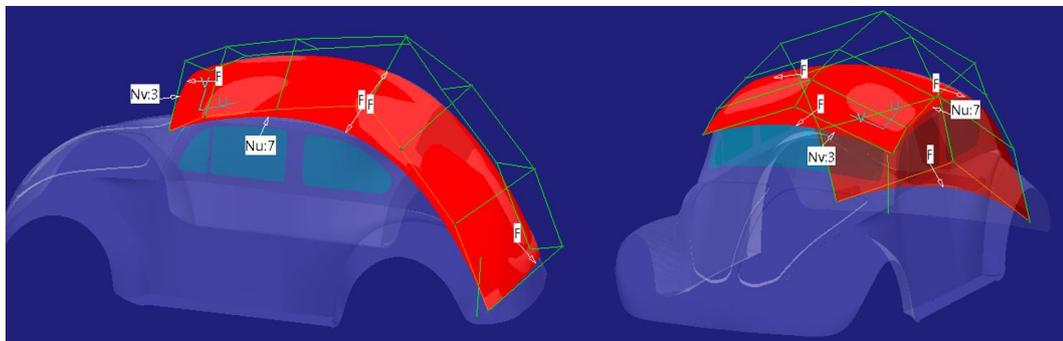


Figura 193. Superficie del techo adaptada a su forma final

Una vez construida la superficie básica adaptada a la forma final se puede pasar a recortar. Aquí se puede ver ejemplificada la **Regla de Oro N°6 – Sobredimensionar y posteriormente recortar.** (*Apartado 4.6.*) ya que en vez de construir la superficie en base a los bordes finales se ha construido en un tamaño mayor al que realmente poseerá para posteriormente recortar a la forma deseada, esto crea una superficie más limpia y sencilla.

Para realizar esta operación se ha hecho uso del comando *Split* de la paleta de herramientas *Shape Management de ICEM Shape Design de CATIA V5.*

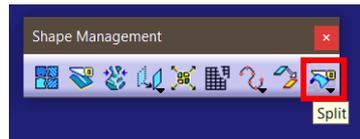


Figura 194. Localización de la herramienta Split de ICEM Shape Design

Para ello, dentro del comando simplemente se selecciona la superficie del techo como elemento a cortar y la superficie de corte como elemento cortante, quedándose con el interior de la superficie recortada.

La superficie de corte se crea extruyendo la curva que define el perfil de corte (Figura 195).

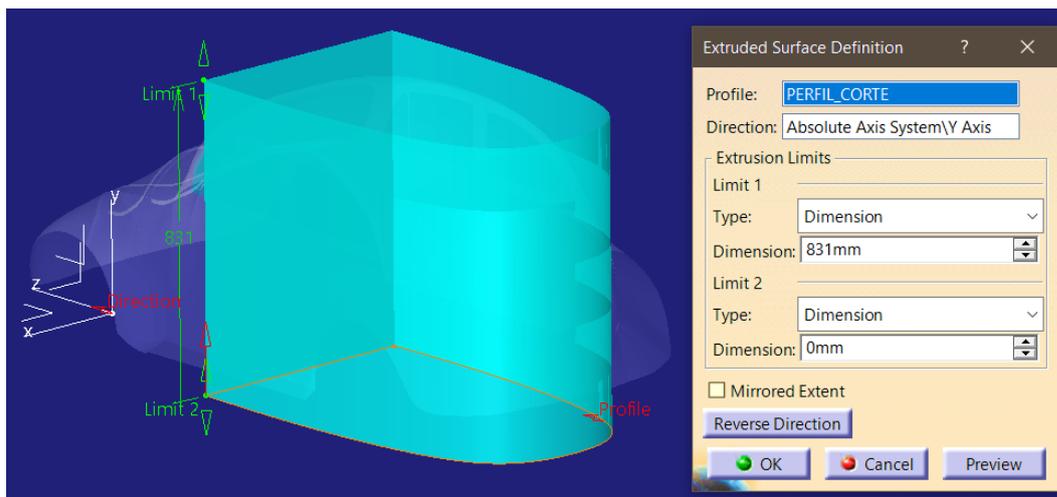
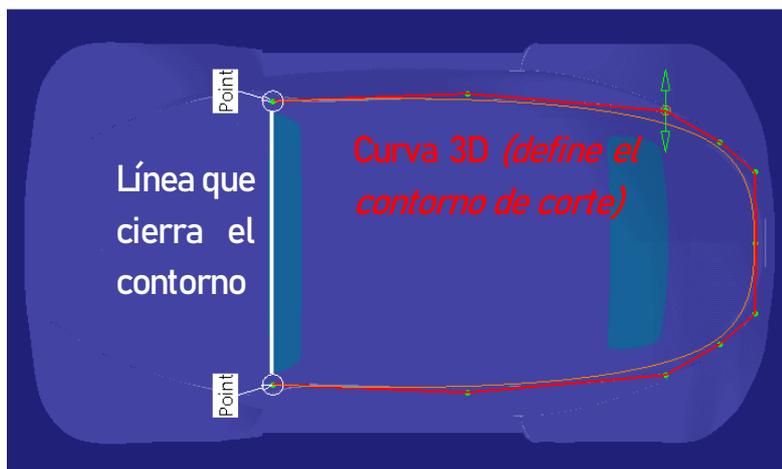


Figura 195. Extrusión de la superficie de corte haciendo uso del comando Extrude

Para ello (*Figura 195*) se crea el perfil plano de corte con el comando 3D Curve (zona curva del contorno), se cierra con una recta que une los dos extremos de la curva 3D y finalmente se extruye dicha curva en la dirección deseada haciendo uso del comando Extrude dentro de la paleta de herramientas de Generative Shape Design de CATIA V5.



Figura 196. Localización de la herramienta Extrude de Generative Shape Design

El resultado obtenido es el presentado en la *Figura 197*:

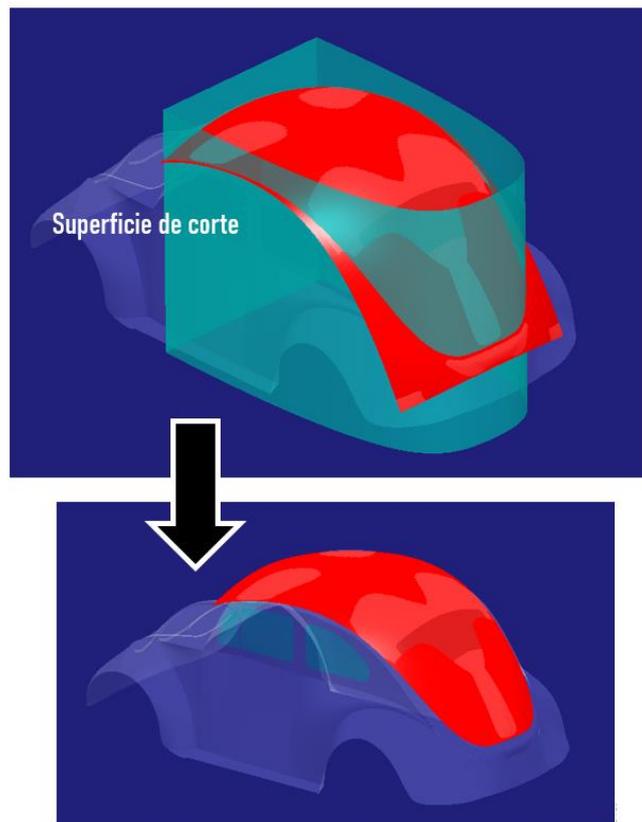


Figura 197. Recorte de la superficie del techo

Siguiendo con la aplicación práctica de la **Regla de Oro N°6 – Sobredimensionar y posteriormente recortar** (*Apartado 4.6.*) cabe destacar la importancia de dejar

creces en el modelado de esta superficie en la parte delantera (construir las superficies más allá de los bordes o aristas teóricas hasta donde deberían llegar) para posteriormente buscar la intersección entre superficies. Dichas creces se deberán dejar también en las superficies del capó y parabrisas como se verá más adelante (*Apartados 6.2.2. y 6.2.3.*). En este caso se aplica el sobredimensionamiento no para posteriormente recortar con una superficie específicamente diseñada para dar forma como en el caso anterior, sino para combinar las superficies del techo, parabrisas y capó (*Figura 198*) como se verá en detalle más adelante cuando se tengan las tres superficies creadas (*Apartado 6.2.4.*).

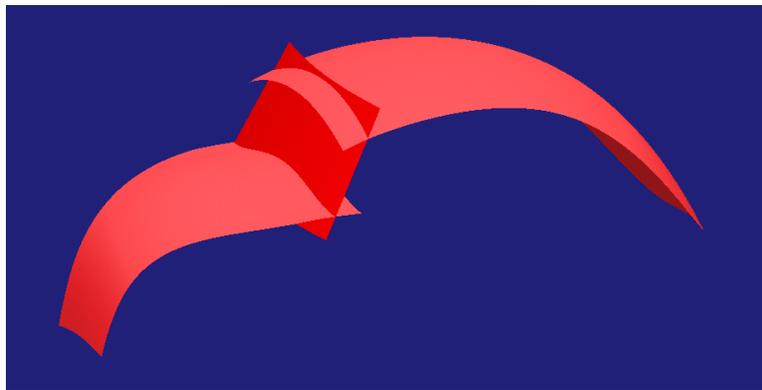


Figura 198. Finalidad de las creces de modelado

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → SUPERFICIE DEL TECHO.

- Si hay más de una opción válida y segura para modelar una superficie barajar cuál de ellas requiere menos trabajo.
- No construir superficies de barrido con más de dos secciones.
- Copiar curvas y modificarlas en vez de crearlas nuevas. (Regla de Oro N°7).
- Sobredimensionar y posteriormente recortar. (Regla de Oro N°6).
- Trasladar superficies seleccionando todos los puntos de control y moviéndolos.
- Aplicar simetría en la modificación de superficies cuando sea necesario.
- Dejar creces de modelado para buscar intersecciones posteriormente y combinar superficies.

6.2.2. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL PARABRISAS

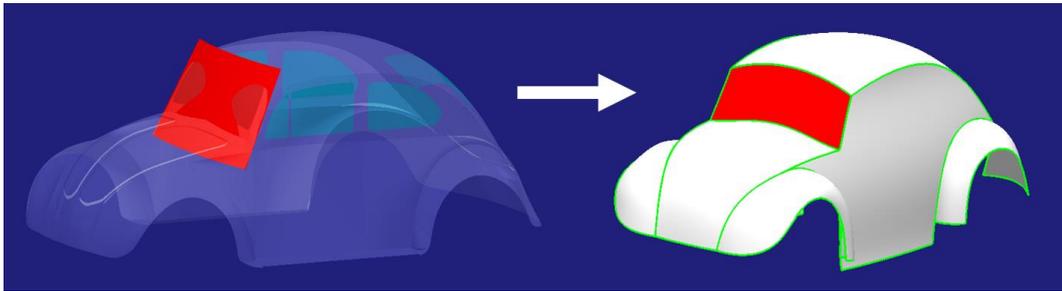


Figura 199. Superficie primaria que define el parabrisas

La superficie primaria del parabrisas (Figura 199) se caracteriza por su gran sencillez en cuanto a forma, donde la curvatura es muy sutil y su variación muy suave.

Esta superficie puede ser creada exactamente igual que la del techo anteriormente descrita: se crean dos curvas que definan los contornos de la superficie, se realiza un barrido con múltiples secciones, posteriormente se modifica la parte central para adaptarla a su forma final y finalmente se recorta con la forma deseada.

A pesar de ello, y con el fin de ver más métodos de creación de superficies válidos y con los que se consiguen buenos resultados, se buscará otra vía de actuación para esta superficie.

En este caso se enfocará de una forma similar, en la que controlamos la superficie a través de las curvas sobre las que apoyará. A diferencia del caso del techo, se utilizarán las curvas que definen los contornos laterales como guías sobre las que deslice el perfil o sección (Figura 200). De este modo tenemos ya adaptada la forma de la superficie tras la operación de barrido de ese perfil a través de las guías.



Figura 200. Guías y perfil que define la superficie del parabrisas

A la hora de crear las guías cabe destacar que han sido creadas como rectas con el comando *3D Curve* cuidando que coincida en un punto con los contornos del techo (*Figura 201*).

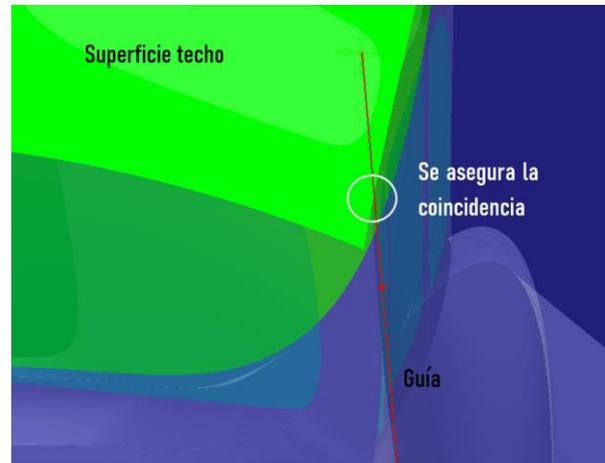


Figura 201. Creación de la guía coincidente con la superficie del techo

Con esto lo que se consigue es que, posteriormente, cuando se intersequen o combinen las superficies del capó y techo, la intersección sea limpia en los bordes, no sobresaliendo trozos de superficie hacia los laterales. Se puede apreciar mejor en los ejemplos de las *Figuras 202 y 203*:

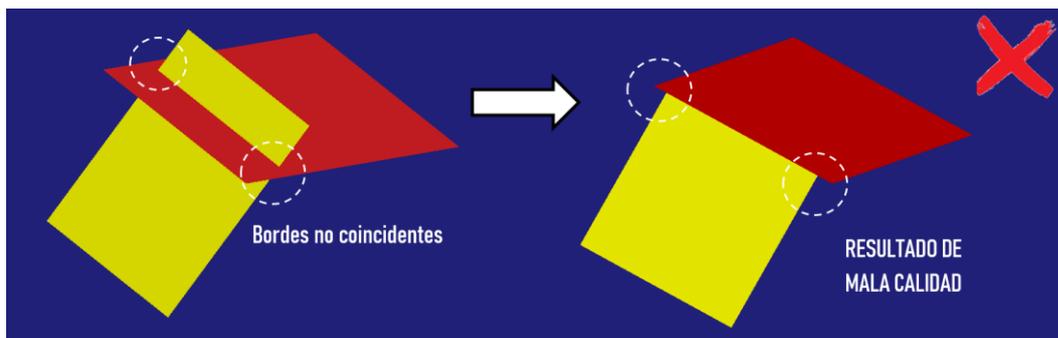


Figura 202. Mala intersección de superficies

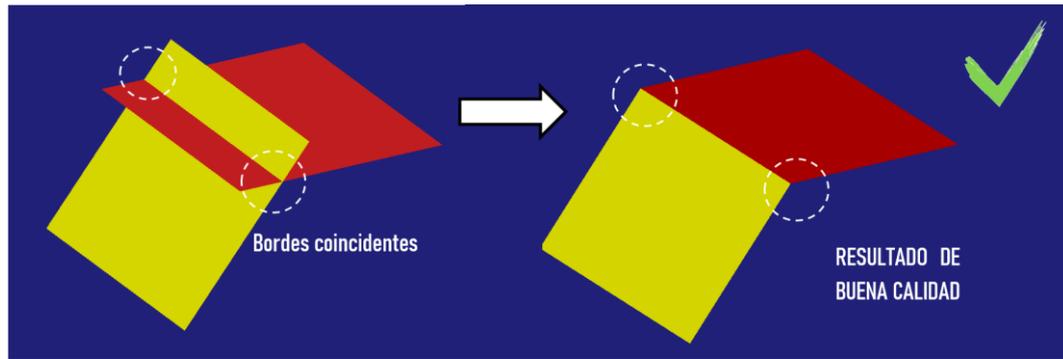


Figura 203. Buena intersección de superficies

Para realizar la curva coincidente en dicha superficie se procede del siguiente modo:

- Se crea la curva 3D dejando visible la geometría del techo, de modo que permita detectarla para apoyar el final de la curva en ella (Figura 204), de este modo ya se asegura esa coincidencia entre curva guía y superficie.

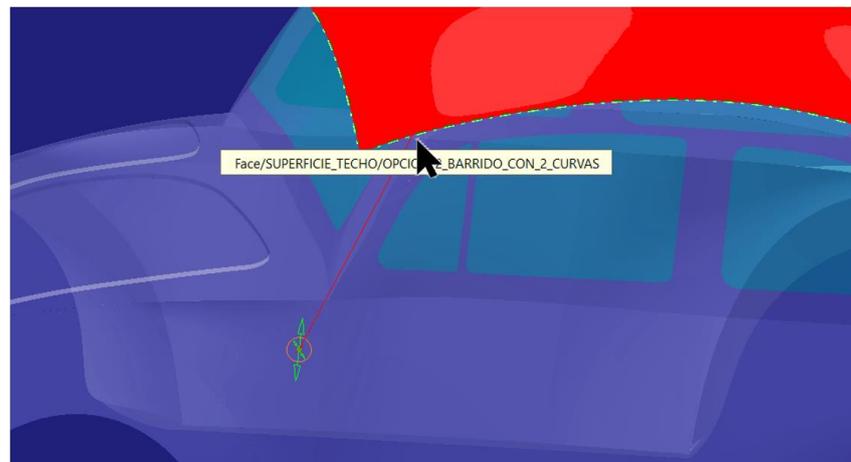


Figura 204. Creación de la curva con coincidencia en una superficie

- Para conseguir una prolongación de la misma sin que dicha coincidencia desaparezca se mueve el punto de control final con el comando *Control Points* en dirección de la recta que une los puntos de control (*Local tangents*) (Figura 205), de modo que la recta de paso es la misma, pero de mayor longitud.



Figura 205. Prolongación de una curva sin perder coincidencia con el techo

Una vez explicada la creación de las curvas necesarias se pasa a la creación de la superficie. Para llevarla a cabo se recurre a la herramienta *Multi-Sections Surface* de la paleta *Surfaces* de *Generative Shape Design* de CATIA V5.



Figura 206. Localización de la herramienta *Multi-Sections Surface* de *Generative Shape Design*

Esta herramienta permite definir una superficie a partir de múltiples secciones, múltiples guías que controlen el progreso de la superficie y una curva espina que es la curva a lo largo de la cual se trazan planos perpendiculares a ella para apoyar las secciones. En este caso será utilizada con la espina por defecto (da un buen resultado en este caso), con una única sección o perfil y con dos curvas guías (simétricas). Utilizado las curvas definidas en la *Figura 200* el resultado obtenido es el presentado en la *Figura 207*:

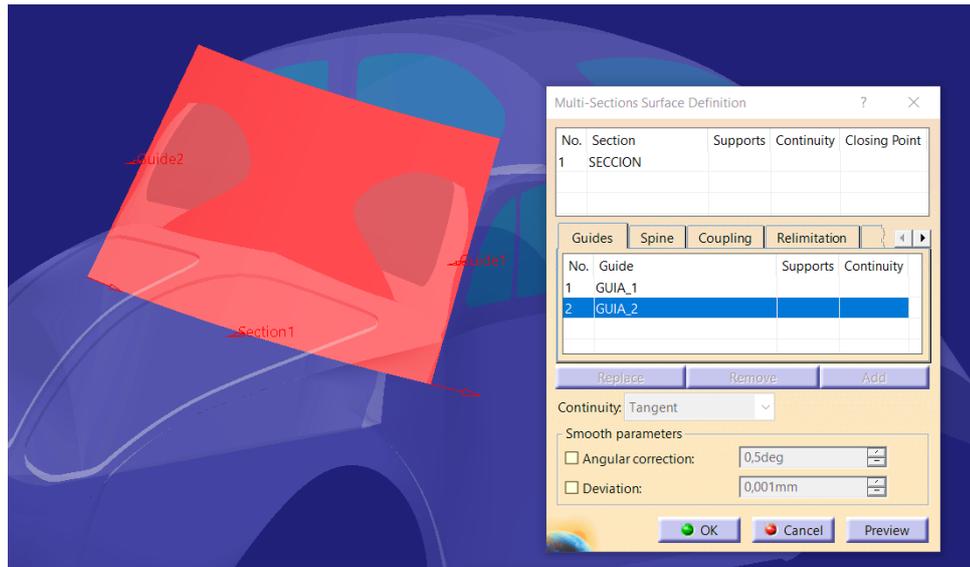


Figura 207. Superficie de parabrisas resultante

Por último, como ya se ha mencionado, creando la superficie tan controlada por curvas no es necesario una modificación de forma “a posteriori”. A pesar de ello se entrará en el comando de modificación para analizar los puntos de control que gobiernan la superficie creada para tomar la decisión de si son adecuados o pueden ser reducidos para simplificar la superficie sin descuidar su aspecto (Figura 208).

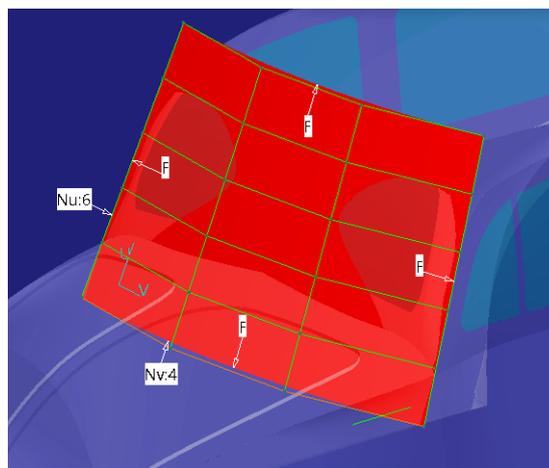


Figura 208. Red de puntos de control de la superficie creada

Como se puede observar en la Figura 208 la cantidad de puntos de control tanto en dirección U como en dirección V es excesiva. Para empezar, en dirección U se habían definido las curvas 3D como rectas (gobernadas por

únicamente dos puntos de control) de modo que es lógico mantener dicha cantidad en la superficie. Por otro lado, del mismo modo, la sección en dirección V fue creada a través de una curva gobernada por tres puntos de control, de modo que también se mantiene dicha cantidad (*Figura 209*).

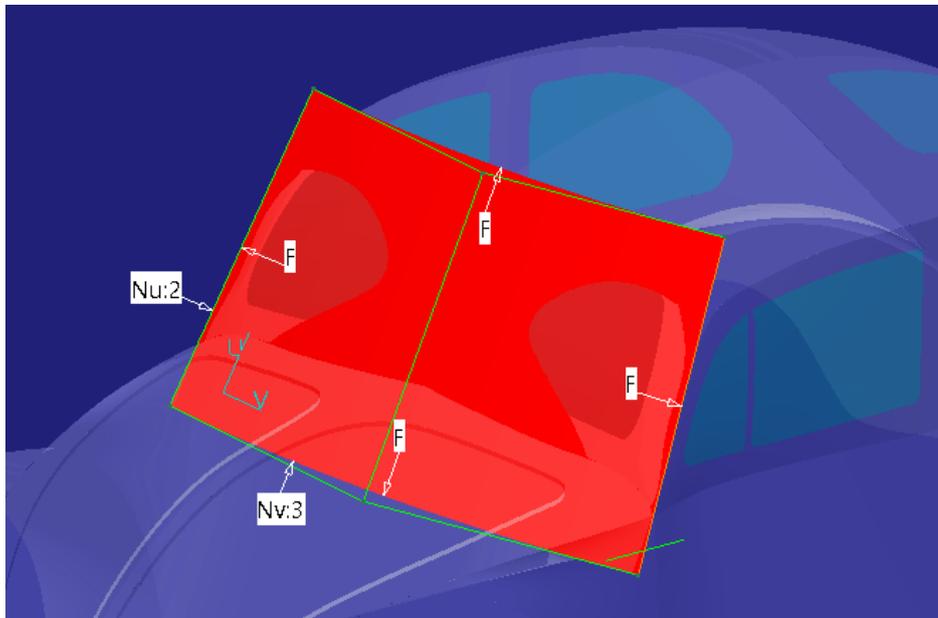


Figura 209. Red de puntos de control con la superficie simplificada

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → SUPERFICIE DEL PARABRISAS.

- Hacer coincidir los bordes de las superficies que posteriormente vayan a intersectar.
- Simplificar la superficie siempre que sea posible y coherentemente con la creación previa de curvas.

6.2.3. SUPERFICIE PRIMARIA QUE DEFINE EL CAPÓ

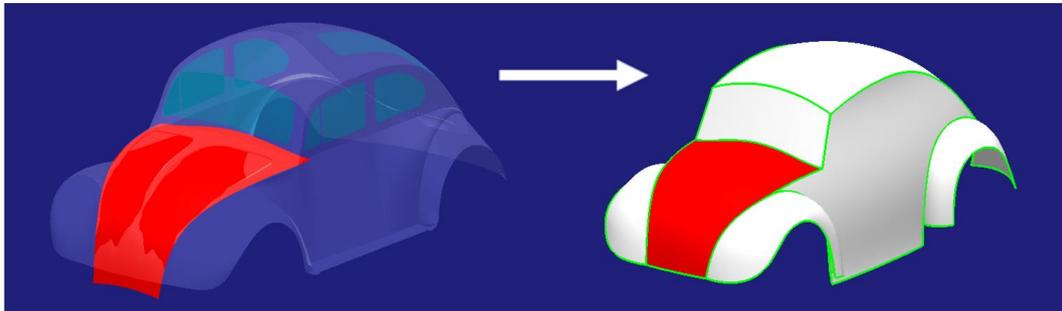


Figura 210. Superficie primaria que define el capó

Para la superficie del capó (*Figura 210*) se procederá del mismo modo que como se hizo con el techo: se creará la superficie base a través de un barrido de dos secciones simétricas, posteriormente se modificará la zona central para adaptarla a la forma real del capó y, por último, se creará una superficie de corte para recortar la superficie hasta el contorno deseado.

1. Creación de los contornos laterales.

Se realizarán como se ha hecho anteriormente: con el comando *3D Curve* adaptando la curva a la forma real, con el mínimo número de puntos de control y dejando creces de modelado para la intersección con la superficie del parabrisas (*Figura 211*).

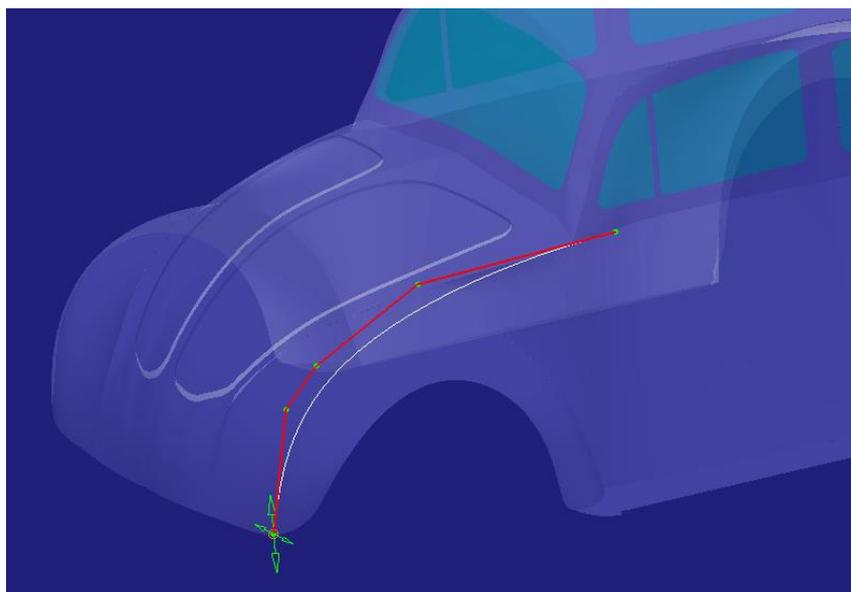


Figura 211. Creación de la curva que define uno de los contornos laterales

Para el contorno del lado contrario se aplica la herramienta de simetría como se ha realizado en anteriores ocasiones (*Figura 212*).

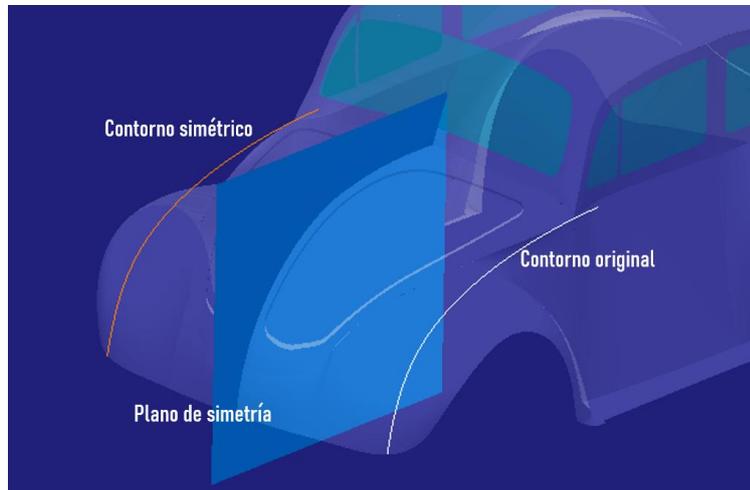


Figura 212. Creación del contorno simétrico

2. Barrido de múltiples secciones.

Al igual que con la superficie del techo se realizará con el comando o herramienta *Sweep* dentro de la paleta *Surface Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5* y marcando la opción de *Multisections* tal y como se aprecia en la *Figura 213*.

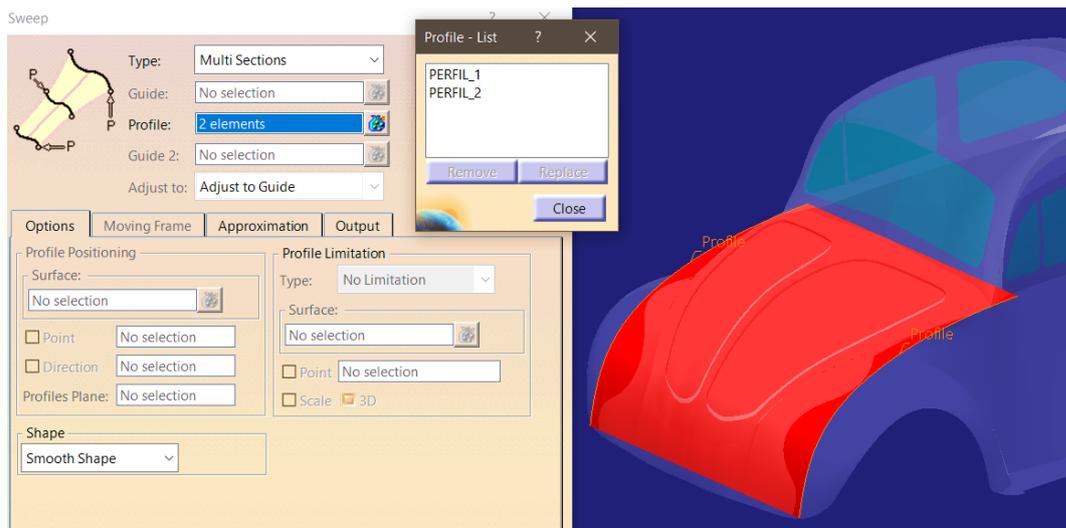


Figura 213. Superficie de capó resultante del barrido de múltiples secciones

3. Modificación de la zona central de la superficie.

Se realizará con el comando *Control Points* y activando la opción de simetría como se ha venido haciendo hasta ahora (*Figura 214*).

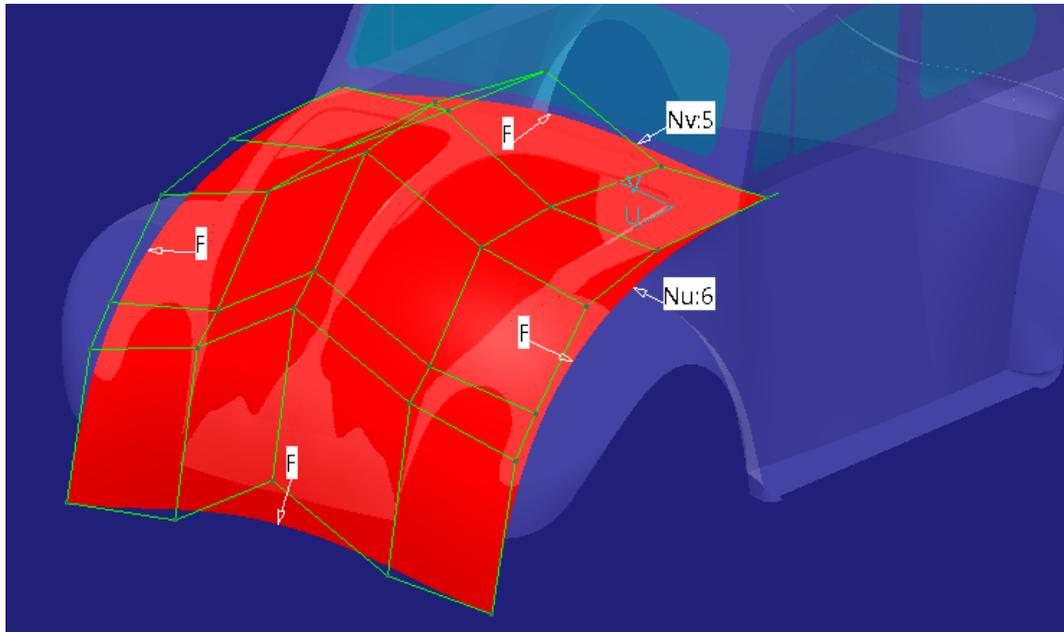


Figura 214. Modificación de la superficie del capó a través de puntos de control

4. Corte de la superficie

Para realizar esta operación (*Figura 215*) se ha hecho uso del comando *Split* de la paleta de herramientas *Shape Management de ICEM Shape Design de CATIA V5*. (La creación de la superficie de corte es exactamente igual que la descrita para la superficie del techo).

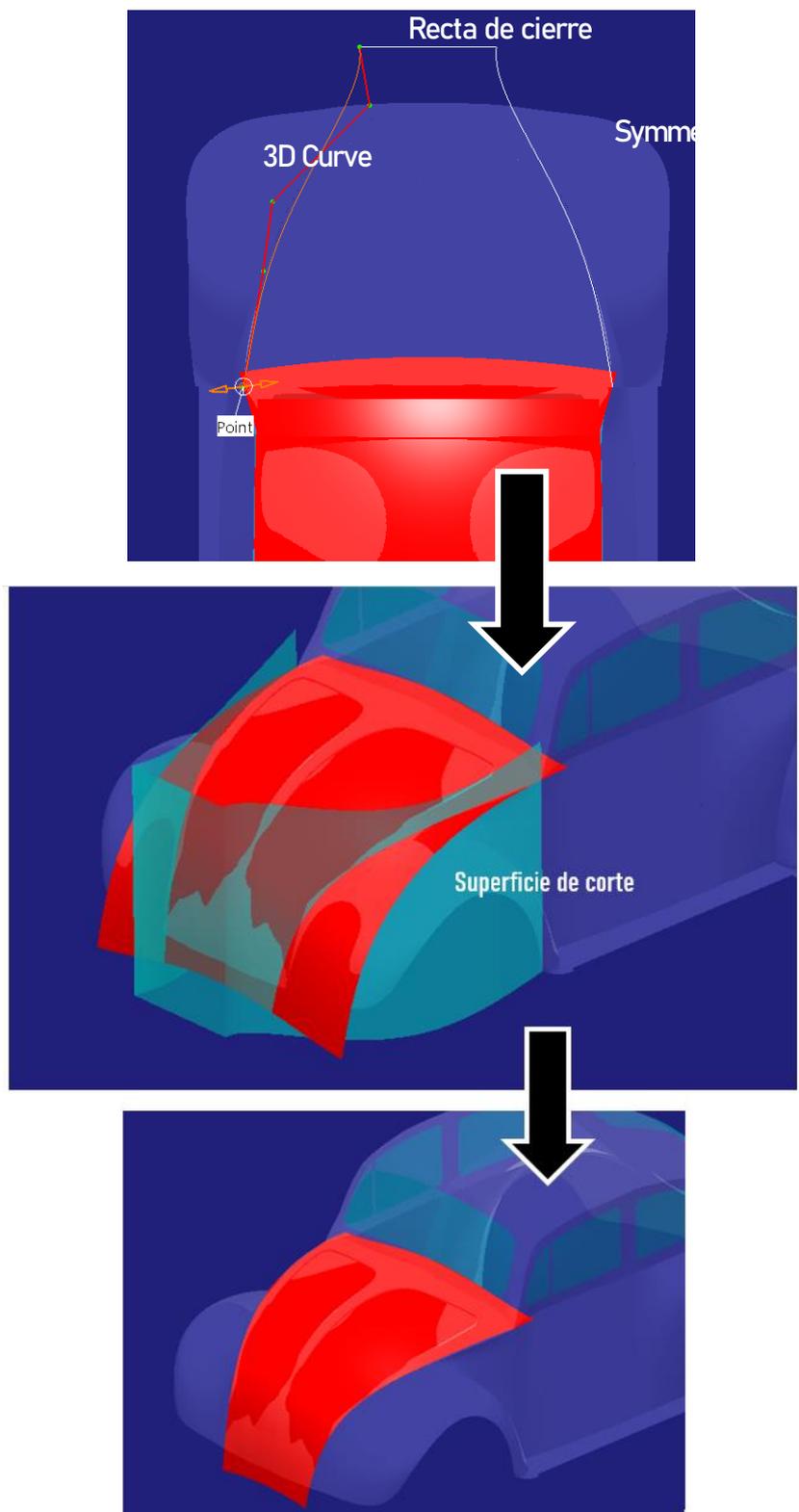


Figura 215. Corte de la superficie del capó

Cabe destacar que en este caso se ha presentado especial cuidado a la hora de crear las curvas que definen la superficie de corte haciendo que esta

coincida en el borde con la superficie del parabrisas (*Figura 216*) de modo que una vez recortada y posteriormente intersecada con el parabrisas el resultado sea de buena calidad. Esto se ha conseguido de igual modo al explicado para la coincidencia entre techo y parabrisas a la hora de la creación de este último.

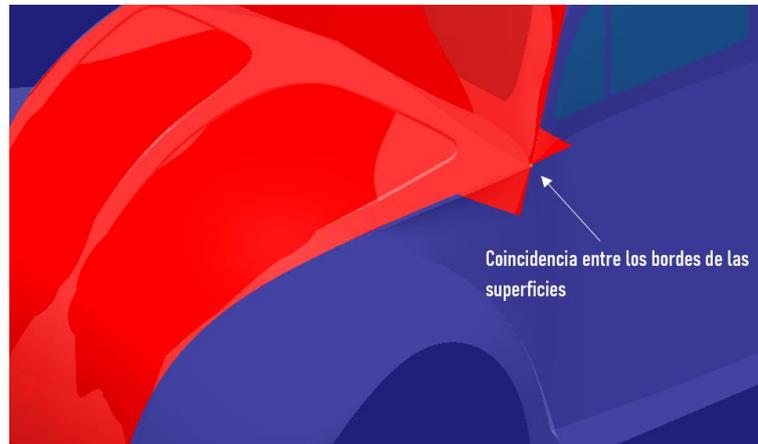


Figura 216. Coincidencia entre bordes de superficies del capó y del parabrisas

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → SUPERFICIE DEL CAPÓ.

- No construir superficies de barrido con más de dos secciones.
- Sobredimensionar y posteriormente recortar.
- Dejar creces de modelado para buscar intersecciones posteriormente.
- Hacer coincidir los bordes de las superficies que posteriormente vayan a intersecar. En este caso aplicable al resultado final de una operación de corte de superficie.

6.2.4. COMBINACIÓN DE SUPERFICIES CENTRALES (TECHO + PARABRISAS + CAPO)

Con el fin de trabajar con más comodidad, llegados a este punto, en el que se tienen las tres superficies que definen la parte central del vehículo (las que cortan el eje de simetría), se pueden combinar para crear una única superficie

ya sin creces de modelado entre ellas (*Figura 217*), es decir, realizar la intersección o combinación entre ellas.

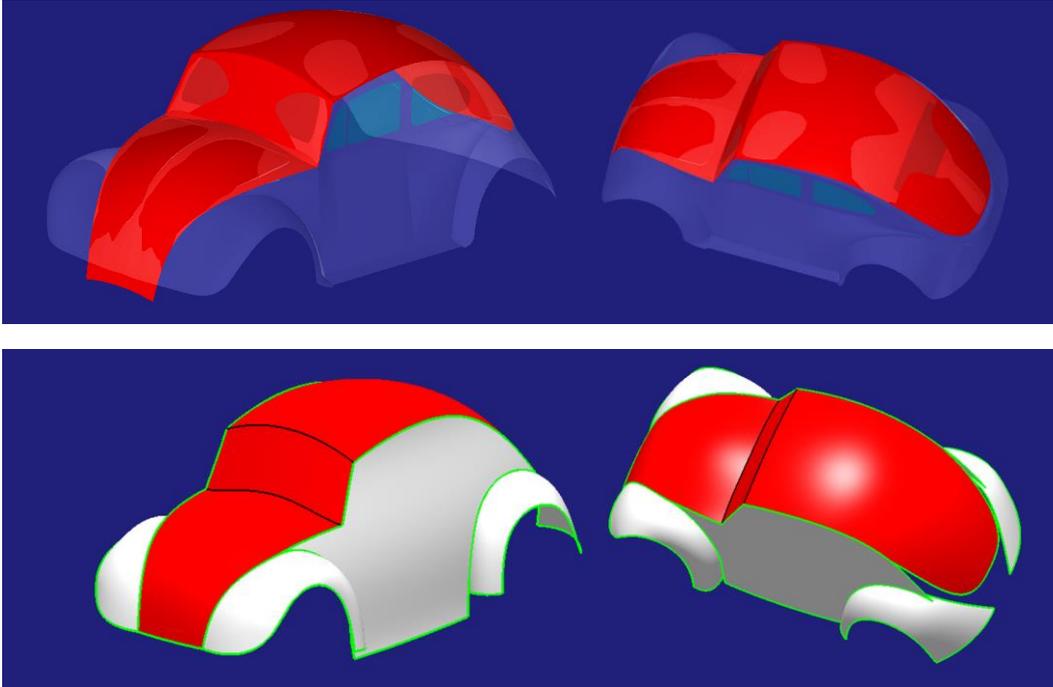


Figura 217. Superficies primarias centrales del vehículo

Para llevar a cabo esta operación será utilizada la herramienta *Trim* dentro de la paleta *Shape Management* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 218. Localización de la herramienta Trim de ICEM Shape Design

Se han de ir seleccionando las superficies que se quieren combinar. El programa nos muestra el resultado a medida que se realizan las selecciones.

Es importante destacar la importancia de la zona de la superficie donde se seleccione con el puntero puesto que esa será la zona que por defecto el programa mantenga. Queda mejor explicado con el siguiente ejemplo (*Figura 219*) basado en la operación de esta herramienta sobre las superficies del techo y el parabrisas.

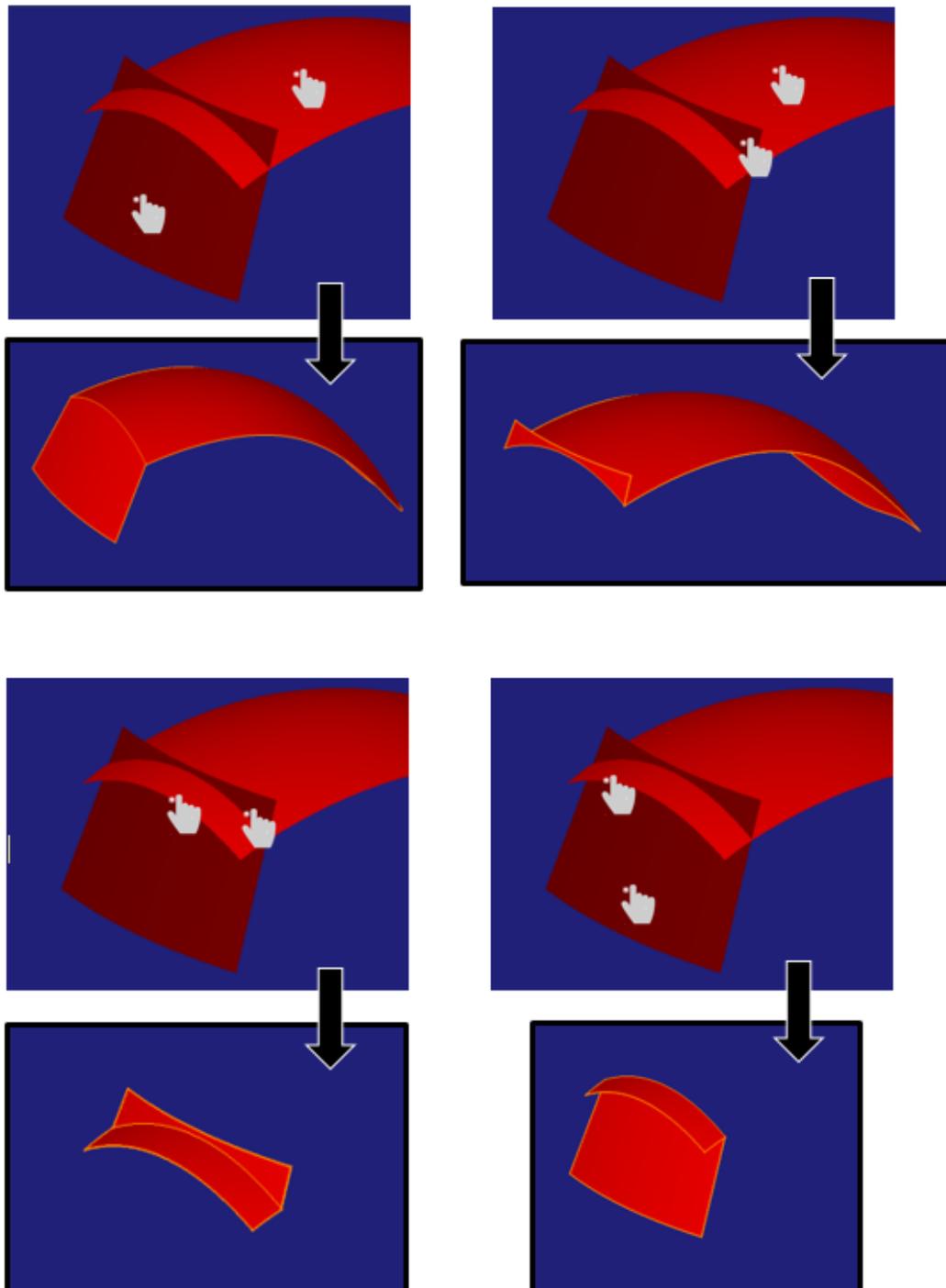


Figura 219. Diferentes combinaciones de selecciones y resultados haciendo uso de la herramienta Trim

Otra opción más lenta pero segura es hacer uso de la opción *Elements to remove* y *Elements to keep* para seleccionar cuál es la geometría que se debe eliminar o cuál es la que se debe mantener respectivamente (Figura 220).

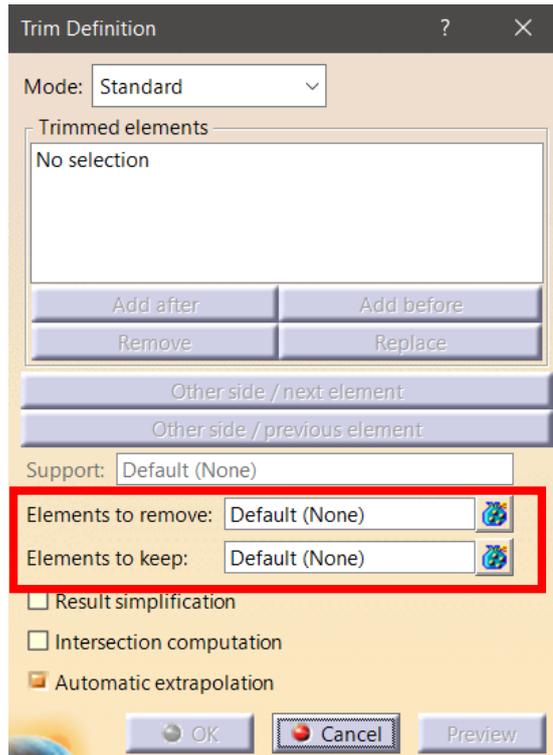


Figura 220. Opciones del comando para controlar que geometría desaparece y cual permanece

Teniendo esto en cuenta se aplica a las superficies del techo, parabrisas y capó como se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 221):

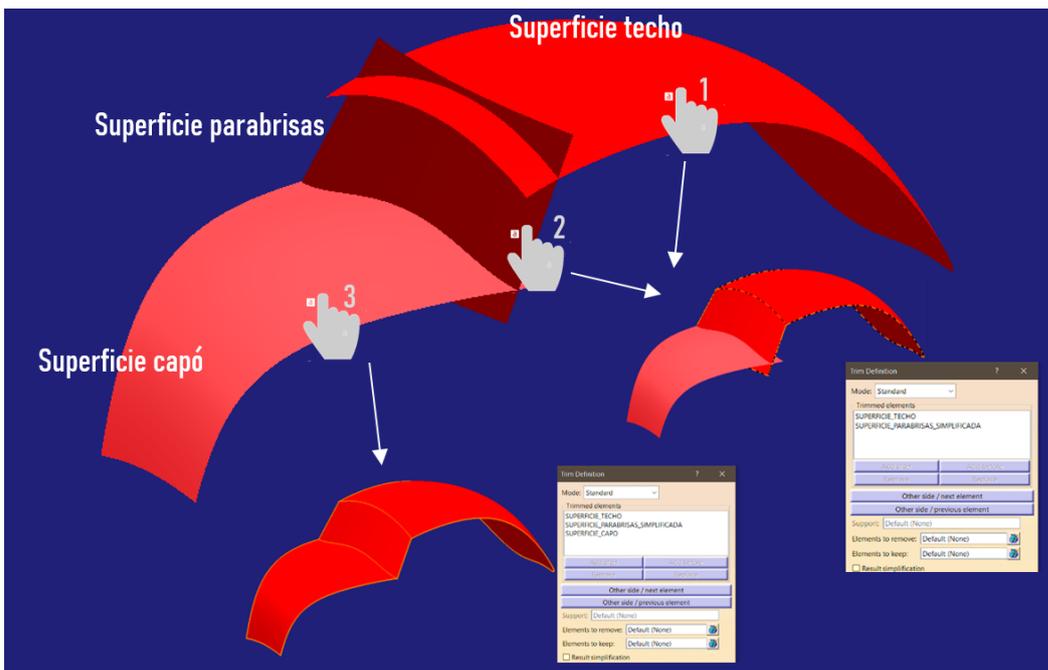


Figura 221. Combinación de las superficies centrales del vehículo

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → COMBINACIÓN DE SUPERFICIES.

- Utilizar el comando *Trim* seleccionando la zona de la superficie que se va a mantener en la combinación.
- Seleccionar las superficies consecutivamente y en orden.

6.2.5. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LOS GUARDABARROS TRASEROS

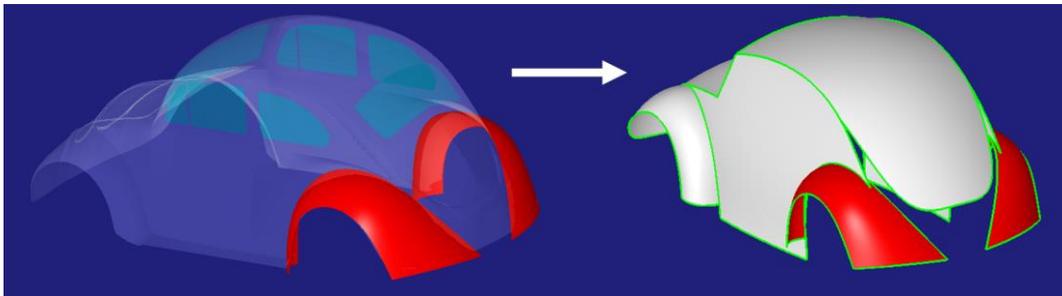


Figura 222. Superficies primarias que definen los guardabarros traseros

Para la creación de estas superficies (*Figura 222*) se procederá del siguiente modo: en primer lugar, se creará una de ellas a partir de una serie de curvas y, posteriormente se obtendrá la otra por operación de simetría. Hay que darse cuenta de que esto se puede realizar sin ningún tipo de problema puesto que es una superficie que no corta el eje de simetría. (**Regla de Oro N°5**, Apartado 4.5.).

A continuación, se pasará a construir uno de los guardabarros (se construirá el del lado izquierdo, por ejemplo).

En este caso, dada la geometría más complicada que posee respecto de las anteriores, se descarta rotundamente la creación mediante una placa y, posteriormente modificarla para adaptarla a la forma o alguna operación similar que destaque por una necesidad de controlar en gran medida la superficie creada. Por lo tanto, se necesita una operación en la que la superficie creada ya posea una gran fidelidad con la forma final. Esto pasa por controlar en primer lugar las curvas (resulta más sencillo) y posteriormente lo que reste de la superficie.

Así pues, se realizará de forma idéntica a la realizada para las superficies del techo y del capó: barrido de múltiples secciones; que como se ha visto, arroja

resultados muy controlados y requiere un bajo peso de modificación superficial posterior.

Al igual que en apartados anteriores se seguirá con la premisa: “*No construir barridos por multi-sección con más de dos secciones*”. Ya se saben los efectos indeseados que esta forma de trabajar produce. En este caso se podría pensar que al no ser una superficie simétrica no supondría un problema realizar el barrido con más de dos secciones y tener la superficie resultante acabada, sin la necesidad de modificarla posteriormente. Esta idea es errónea. Si, a pesar de no ser una superficie simétrica, si fuese necesaria la modificación por el motivo que fuere y se modifica un punto de control equivocado de una de las partes de la superficie se podría perder la continuidad entre ellas.

1. Construcción de la curva que define el contorno interior (el más próximo al vehículo) del guardabarros trasero (Figura 223).

Se realiza con el comando *3D Curve*. Cabe destacar que es necesario dejar creces de modelado para la posterior intersección con la carrocería del lateral del vehículo como se puede apreciar en la imagen a continuación:

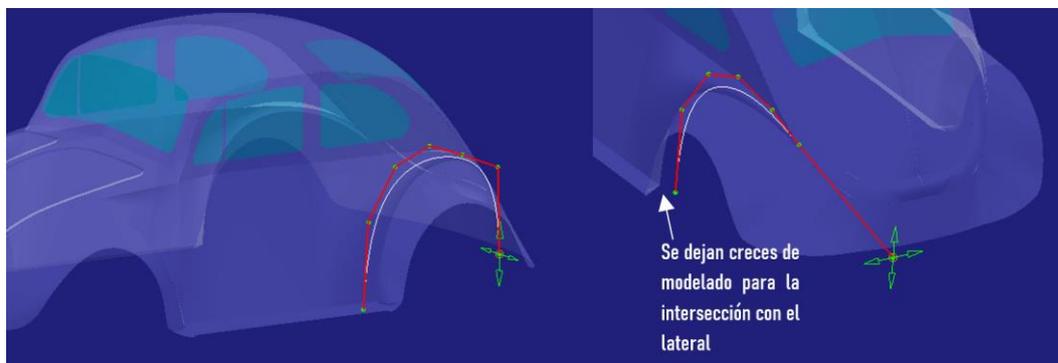


Figura 223. Construcción de la curva de contorno interior

2. Creación de la curva que define el contorno exterior (el más alejado del vehículo) del guardabarros trasero.

Esta curva no será creada de nuevo con el comando *3D Curve*, sino que se realizará por modificación de una copia de la curva anterior trasladada a una posición favorable, de modo que aseguremos que están formadas por el mismo número de puntos de control tal y como se hizo en apartados anteriores cumpliendo así con la **Regla de Oro N°7 – Igualar curvas en lado opuestos** (Apartado 4.7.).

Posteriormente esta nueva curva se modifica para adaptarla a la forma que ha de tener con el comando *Control Points* (Figura 224).

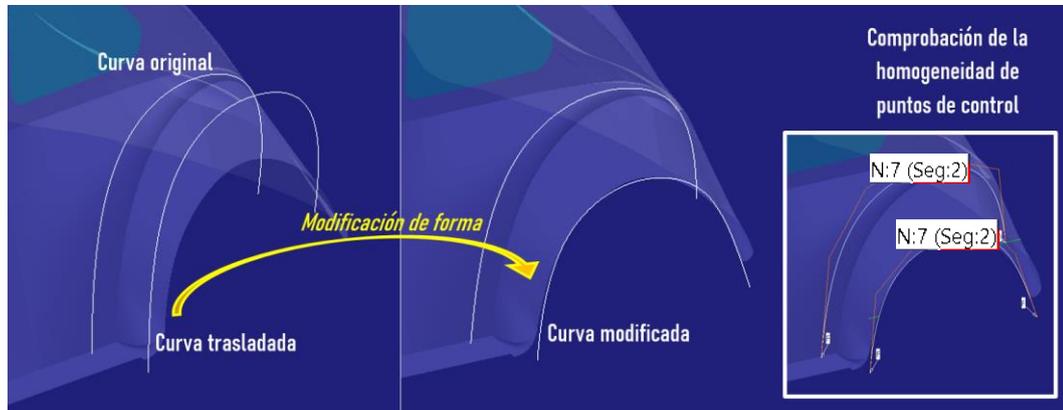


Figura 224. Creación de la curva que define el contorno exterior del guardabarros

3. Creación de la superficie en base a las curvas anteriores.

Será utilizado el comando *Sweep* con la opción *Multisections*. Como este comando ya ha sido utilizado en dos ocasiones anteriormente no cabe mencionar nada más acerca de él, de modo que se presenta el resultado obtenido directamente (Figura 225).

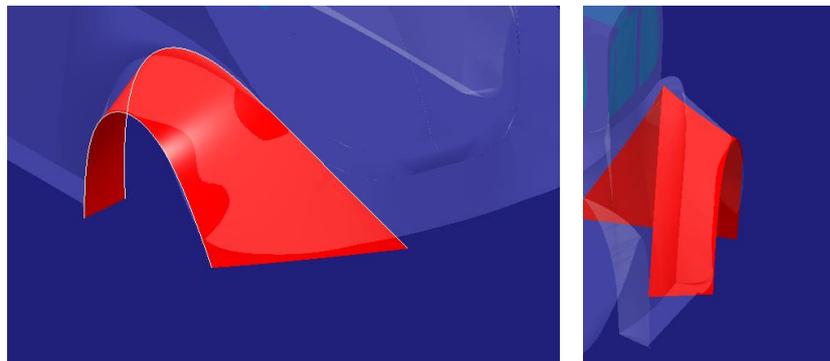


Figura 225. Resultado de la operación de barrido de múltiples secciones

4. Modificación de la zona central de la superficie para adaptarla a su forma final.

Se deberá realizar, como en ocasiones anteriores, una modificación del número de puntos de control para buscar la mayor sencillez posible y posteriormente una modificación de la posición de estos para dejar la superficie bien adaptada.

Ambos cambios se realizan dentro de la herramienta *Control Points* dando el resultado que se puede apreciar en la *Figura 226*.

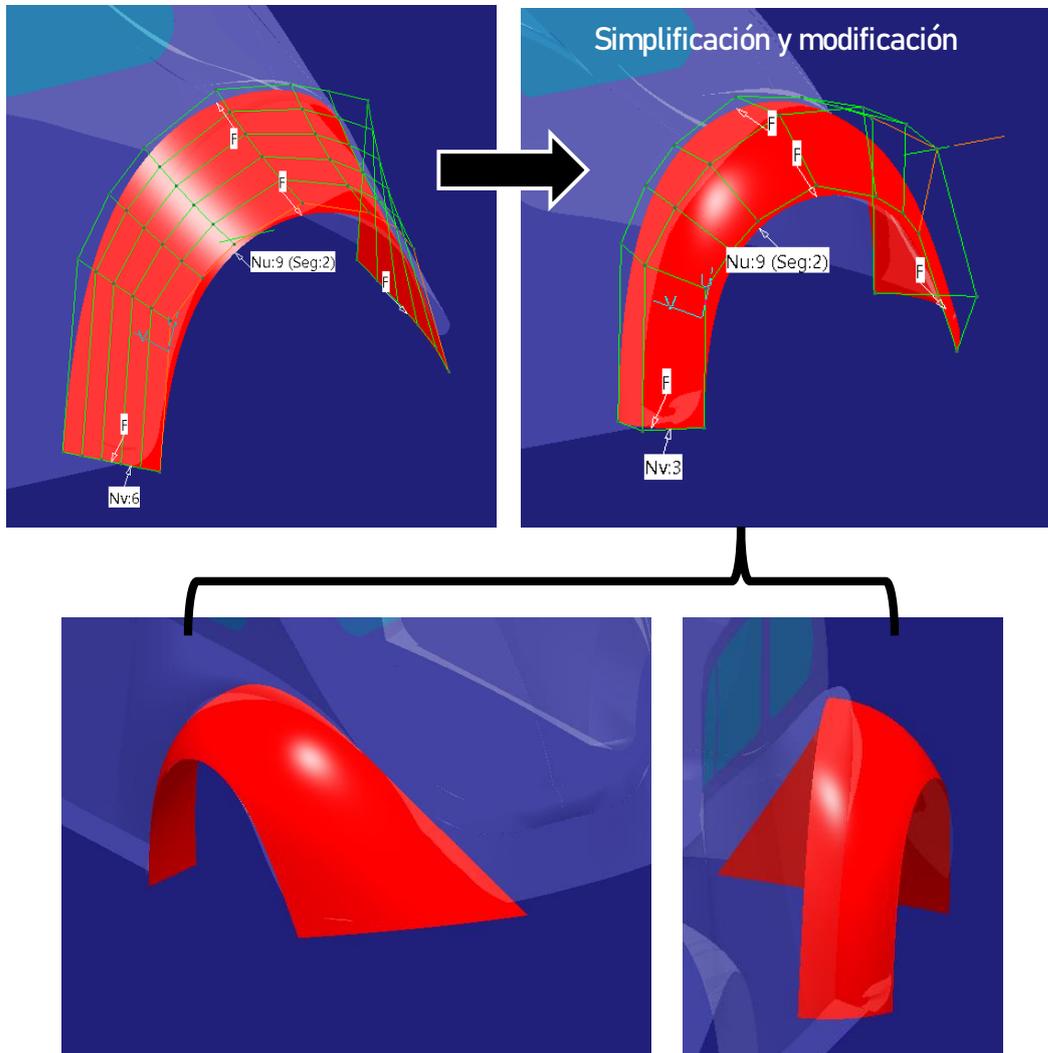


Figura 226. Superficie final del guardabarros trasero

5. Creación del guardabarros derecho

Este será creado por simetría como ya se adelantó. Se utilizará el comando *Symmetry* como se ve en la imagen a continuación (*Figura 227*):

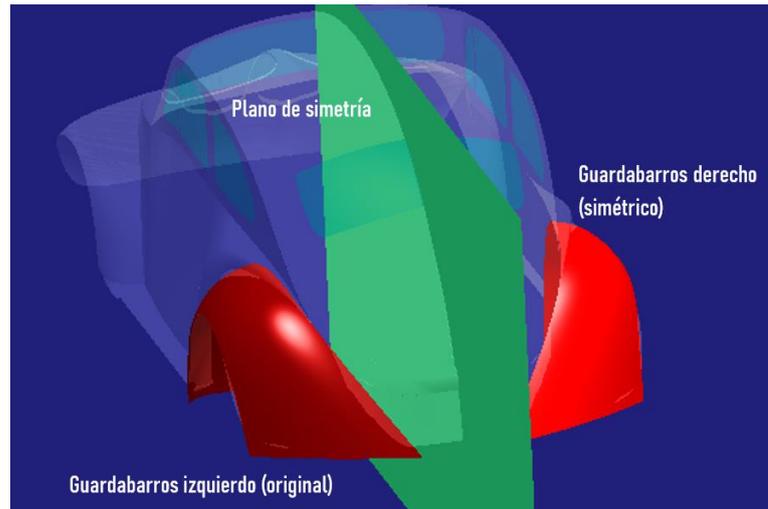


Figura 227. Obtención del guardabarros trasero por simetría

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → SUPERFICIE DE GUARDABARROS TRASEROS

- No construir superficies de barrido con más de dos secciones.
- Copiar curvas y modificarlas en vez de crearlas nuevas. (Regla de Oro N°7)
- Dejar creces de modelado.
- No realizar dos superficies, sino operar con simetría ya que se trata de dos superficies que no cortan el eje de simetría.

6.2.6. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LOS GUARDABARROS DELANTEROS.

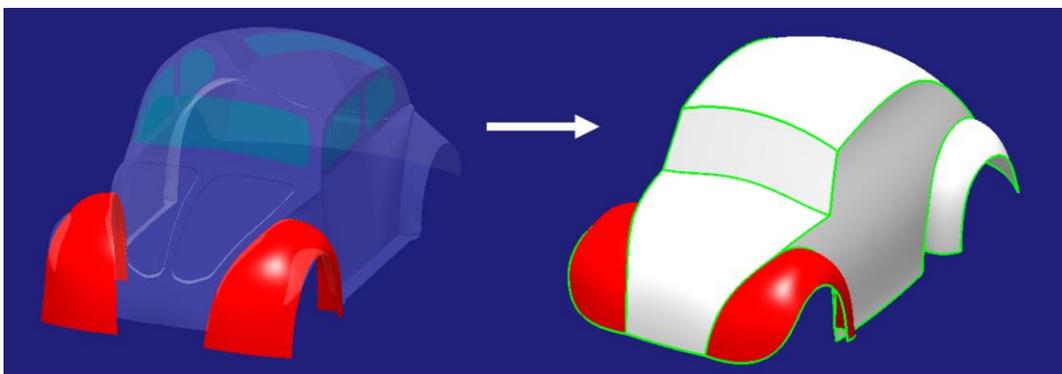


Figura 228. Superficies primarias que definen los guardabarros delanteros

Son unas superficies prácticamente iguales a las correspondientes a los guardabarros traseros de modo que su modelado se realizará de la misma manera.

A pesar de ello, este caso se diferencia del anterior en el peso que conllevará la creación de la curva que define el contorno interior (el más próximo al vehículo) ya que hay que asegurar una buena continuidad en posición con la superficie del capó previamente creada.

Para conseguir esto se creará dicho contorno compartiendo parte del borde exterior del capó (*Figura 229*).

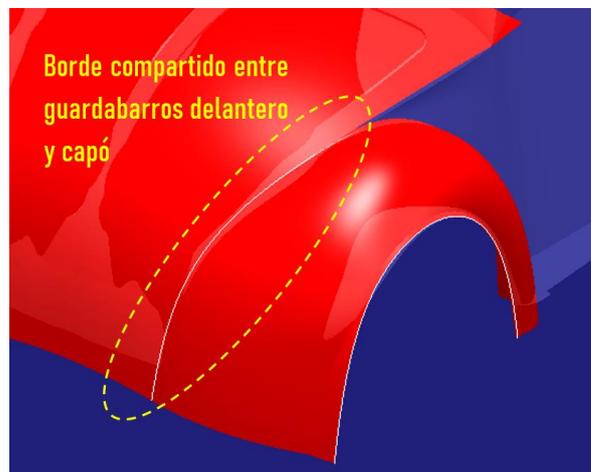


Figura 229. Borde compartido entre la superficie del capó y el guardabarros delantero

Ahora se explicará cómo se ha obtenido dicho contorno:

1. Se extrae el contorno lateral del capó.

Para ello se hace uso de la herramienta *Extract* de la paleta de *Operations de Generative Shape Design* de CATIA V5.

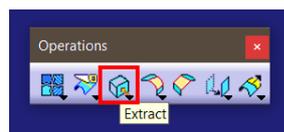


Figura 230. Localización de la herramienta Extract de Generative Shape Design

Esta herramienta permite extraer cualquier tipo de geometría con simplemente seleccionarla en el espacio de trabajo para poder trabajar con ella aisladamente.

En este caso se aplica al contorno lateral de la superficie del capó como se ve a continuación en la *Figura 231*.

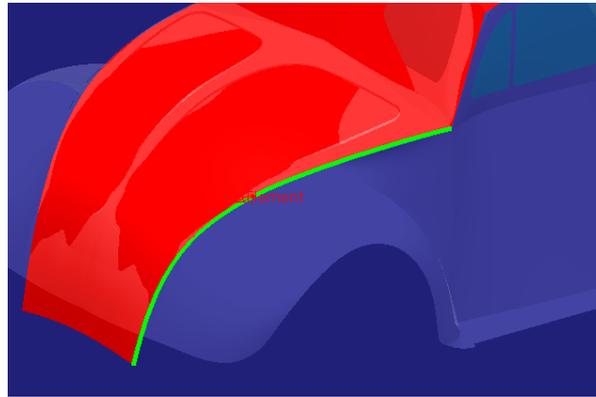


Figura 231. Borde lateral extraído del capó

2. Una vez extraído el borde se corta por el punto conveniente.

El punto de corte no es algo exacto, queda a decisión del modelador la posición de dicho punto. Hay que conseguir que, una vez la curva está cortada, esta permita una buena continuación del contorno hacia abajo y cumpliendo su forma. En la práctica lo que se utiliza es observar “a ojo” el punto de intersección entre el contorno del guardabarros del modelo conceptual y el de la curva extraída que se acaba de crear (*Figura 232*).

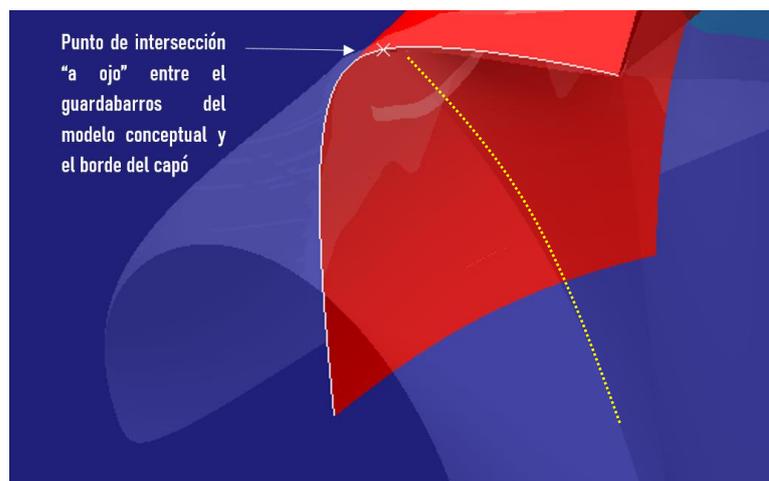


Figura 232. Localización del punto de corte aproximado

Para modelar dicho punto se recurre a la herramienta *Point* dentro de la paleta *Wireframe* de *Generative Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 233. Localización de la herramienta *Point* de *Generative Shape Design*

De las múltiples opciones de creación de puntos que esta herramienta permite se utilizará *Point on curve*, con ella se crea un punto sobre una curva colocado en la posición deseada (Figura 234).

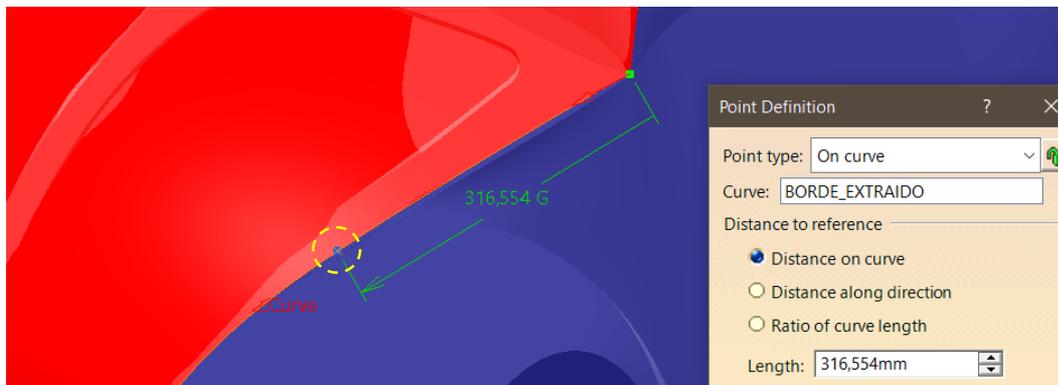


Figura 234. Creación del punto

Una vez creado el punto se recorta el contorno extraído por dicho punto, manteniendo el trozo deseado.

Para ello se puede hacer uso de la herramienta *Split*, ya utilizada anteriormente para recortar las superficies del capó y del techo. En este caso, a diferencia de los anteriores, será utilizada para cortar una curva por un punto. El funcionamiento es idéntico: se selecciona el elemento a cortar (curva) y posteriormente el elemento cortante (punto) (Figura 235). Cabe destacar la importancia de seleccionar el elemento a cortar en la zona que se quiere mantener puesto que el comando por defecto desechará la parte de la curva que quede del lado no seleccionado.

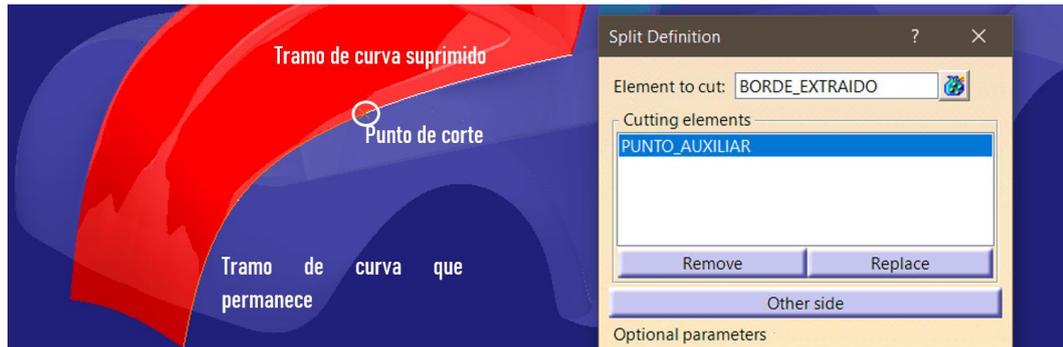


Figura 235. Corte del contorno extraído

A continuación, se completará la curva asegurando continuidad en curvatura al menos entre las partes que la formen. Se tiene la parte superior correspondiente al borde del guardabarros. Ahora se deberá crear una curva inferior con creces de modelado y posteriormente una curva central que asegure la continuidad deseada.

En primer lugar, se crea la curva inferior con el comando 3D curve (Figura 236). Ha de ser una curva muy sutil, básicamente su función es simplemente la de aportar creces de modelado al guardabarros y que, para la realización de la curva intermedia con continuidad se necesitan dos curvas de apoyo.

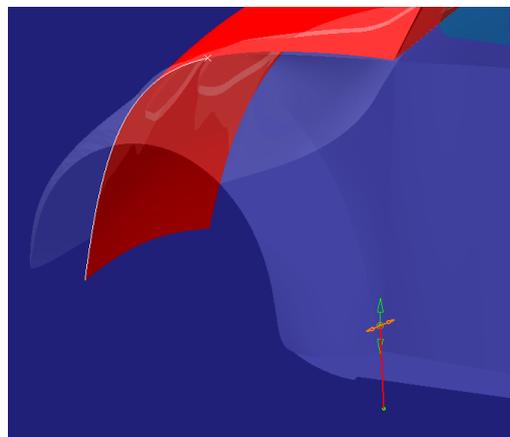


Figura 236. Creación de la curva inferior del contorno interior del guardabarros delantero

Para la creación de la curva de unión entre ambas curvas (superior e inferior) se presentan dos posibilidades: utilizar el comando *Blend Curve* de *ICEM Shape Design* o utilizar el comando *Connect Curve* de *Generative Shape Design*. Ambos permiten modelar una curva de unión entre otras dos asegurando la continuidad deseada entre ambas (pudiendo ser distinta en cada extremo).

A priori no parece destacar una respecto a la otra de modo que se probarán las posibilidades que ambas ofrecen y sus resultados.

En primer lugar, se probará con el comando *Blend Curve* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 237. Localización de la herramienta *Blend Curve* de *ICEM Shape Design*

Dicha herramienta o comando permite crear la unión entre dos curvas con continuidades desde tipo G0 hasta G3 (el comando *Connect Curve* sólo permite hasta G2 como se verá más adelante).

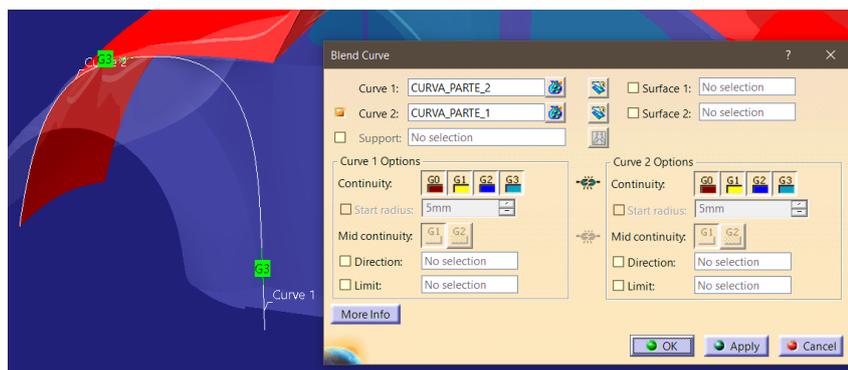


Figura 238. Operación con *Blend Curve* de *ICEM Shape Design*

Como se puede apreciar en la *Figura 238*, para conseguir dicho nivel de continuidad se obtiene una forma curva muy extrema que no se adapta a la forma real que se debe tener. Parece que una opción sería aceptarlo y modificar dicha curva posteriormente como ya se ha realizado en numerosas ocasiones en el presente proyecto. Pero si se realiza es muy probable que se rompan las continuidades conseguidas puesto que al modificar se crea una curva independiente en la que se controla la forma, pero no el tipo de continuidad entre bordes. Es posible realizarlo, pero requiere un trabajo muy minucioso y cuidadoso puesto que hay que saber qué puntos de control no se pueden modificar (esto se verá en el *Apartado 6.4.5*), algo no recomendable cuando hay otros métodos alternativos más eficaces y que aportan buenos resultados. Se está hablando del comando *Connect Curve* de *Generative Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 239. Localización del comando Connect Curve de Generative Shape Design

Este comando permite lo mismo que el anteriormente mostrado con ligeras ventajas y desventajas. La desventaja es que no permite una continuidad mayor que en curvatura (G2) frente a la G3 que permitía el anterior. Por el contrario, presenta la ventaja de que este comando permite modificar la tensión de la curva en cada extremo de modo que así se podrá modificar un poco la forma de la curva sin necesidad de salir del comando y sin perder la continuidad marcada. Esta ventaja es la que hace que en este caso el modelado se decante por este comando.

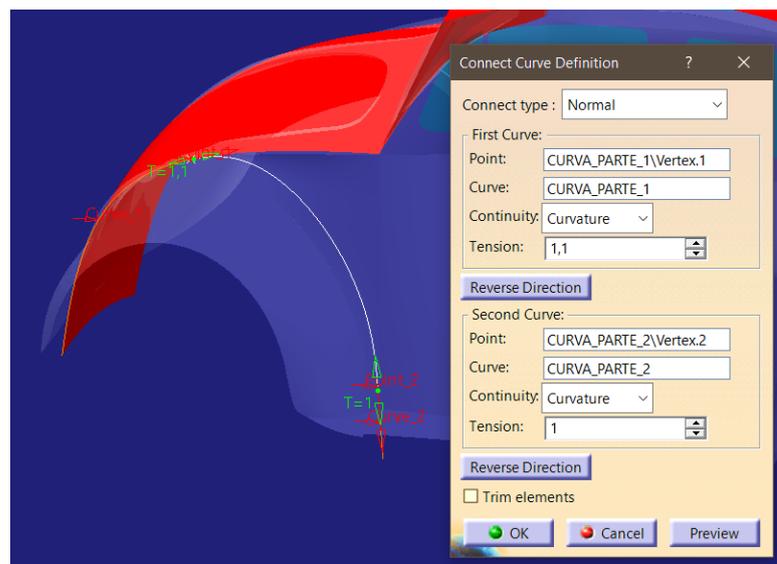


Figura 240. Operación con Connect Surface de Generative Shape Design

Como se puede apreciar en la *Figura 240*, se consigue un gran resultado con la continuidad en curvatura o G2 (suficiente para obtener un buen acabado estético en este caso, no se necesita llegar a G3) donde apenas hay que variar la tensión para que la forma sea muy fiel a la realidad.

Por último, hay que unir las tres curvas (definidas en las *Figuras 235*, *236* y *240*) que forman el contorno interior del guardabarros delantero de modo que sean una sola para poder trabajar con ella.

Esto se lleva a cabo con el comando *Join* de la paleta *Shape Management* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

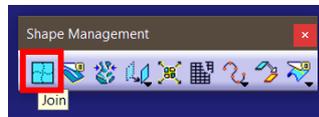


Figura 241. Localización de la herramienta *Join* de *ICEM Shape Design*

Dicha herramienta permite, como se ha adelantado, unir varias curvas o superficies. Será aplicado a las tres curvas que se han creado anteriormente (Figura 242).

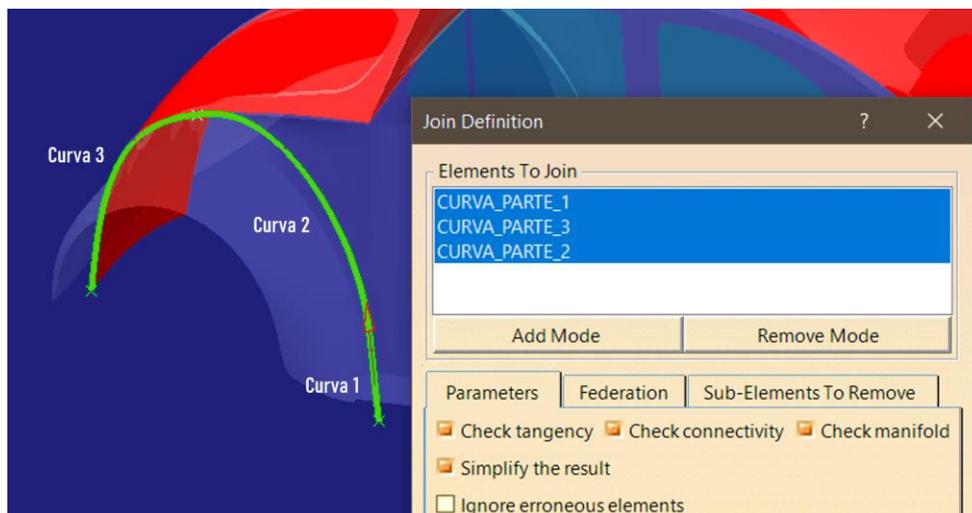


Figura 242. Unión de tres curvas

A continuación, se creará el contorno lateral exterior (el más alejado del vehículo) del guardabarros delantero. En anteriores ocasiones se habría copiado la curva del contorno interior y se habría modificado para mantener la homogeneidad de los puntos de control (Regla de Oro N°7). Pero en este caso, debido a la más compleja creación de la curva del contorno interior, se tiene un número de puntos de control elevado por lo que no es una buena idea. En este caso, como excepción, se creará el contorno exterior desde cero a través del comando *3D Curve* (Figura 243).

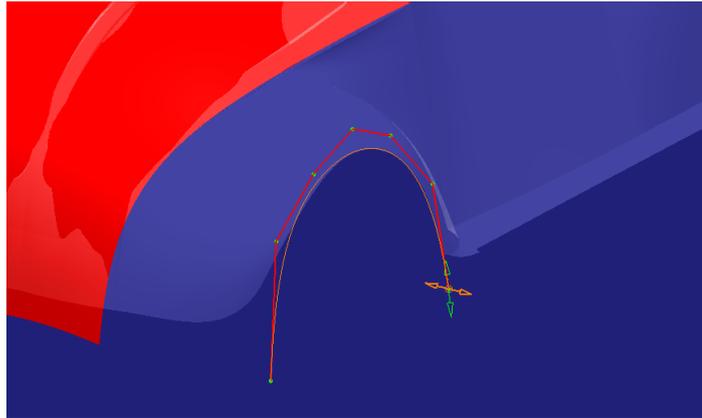


Figura 243. Creación del contorno lateral exterior del guardabarros a través del comando 3D Curve

Una vez se tienen los dos contornos se realizará un barrido con múltiples secciones y se adaptará la forma central modificando previamente el número de puntos de control si fuera necesario al igual que como se realizó con los guardabarros traseros. Finalmente se aplica simetría para obtener el guardabarros del lado opuesto (Figura 244).

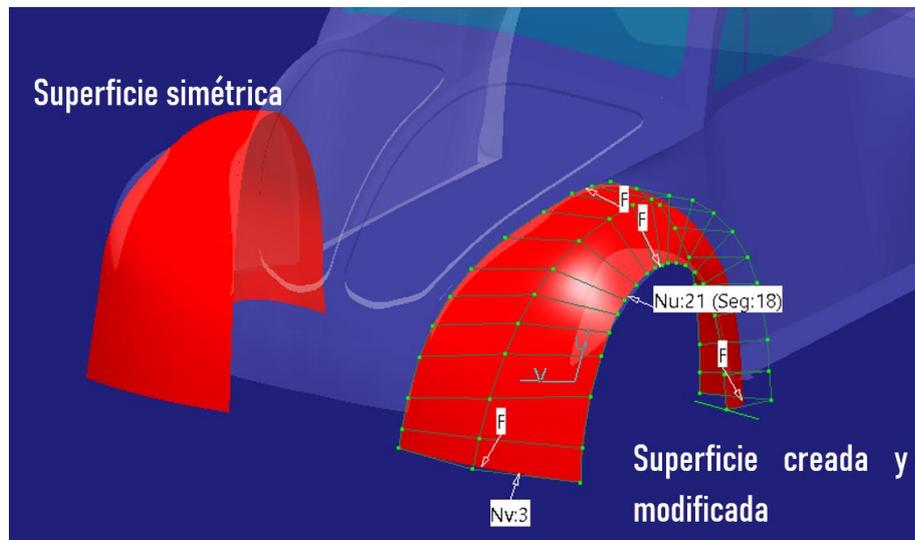


Figura 244. Superficies de los guardabarros delanteros

Antes de pasar al modelado de la carrocería lateral del vehículo, y con el fin de dejar finalizada la parte frontal del vehículo, se recortará a la forma final del frontal. Para ello, se utilizará una superficie de corte (Figura 245).

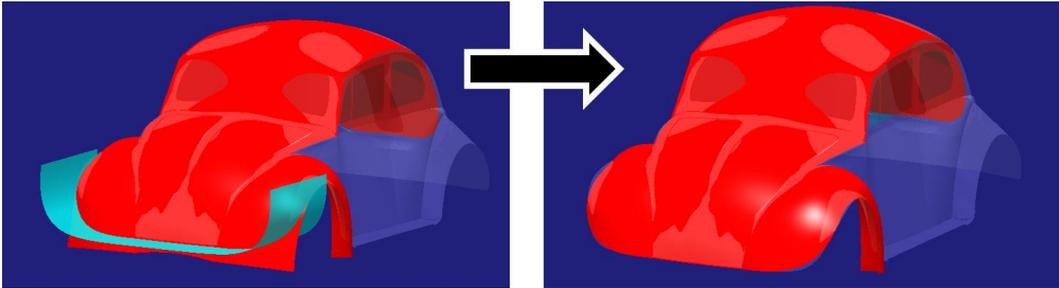


Figura 245. Recorte del frontal del vehículo

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → SUPERFICIE DE GUARDABARROS DELANTEROS.

- No construir superficies de barrido con más de dos secciones.
- Dejar creces de modelado.
- Asegurar buena continuidad en posición compartiendo arista o borde con la superficie del capó.
- En este caso, como excepción, incumplir la Regla de Oro N°7 debido a la complejidad de una de las curvas creadas.
- No realizar dos superficies, sino operar con simetría ya que se trata de dos superficies que no cortan el eje de simetría.

6.2.7. SUPERFICIES PRIMARIAS QUE DEFINEN LA CARROCERÍA LATERAL DEL VEHÍCULO

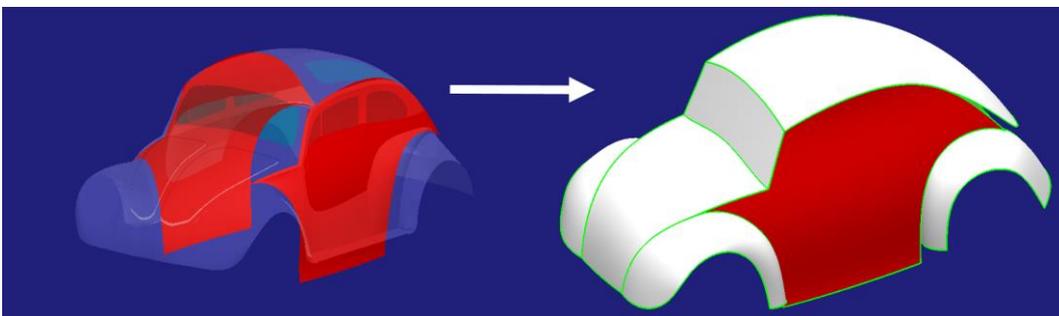


Figura 246. Superficies primarias que definen los laterales del vehículo

Se ha planificado el modelado de la carrocería lateral del vehículo (Figura 246) como una sola superficie formada por una placa plana adaptada en forma y posteriormente recortada al contorno deseado.

Se sigue haciendo uso de la **Regla de Oro N°6 – Sobredimensionar y posteriormente recortar.** (Apartado 4.6.) ya que en este caso sería un error proceder del siguiente modo: extraer los contornos del techo, parabrisas, capó y guardabarros, unir la parte inferior del vehículo con una recta y la posterior con una curva y finalmente rellenar con una superficie contenida en dichos contornos. Como se puede observar en la *Figura 247* hay dos posibles puntos degenerados en la unión entre guardabarros delantero y capó y en la unión entre el guardabarros trasero y la curva del perfil posterior.

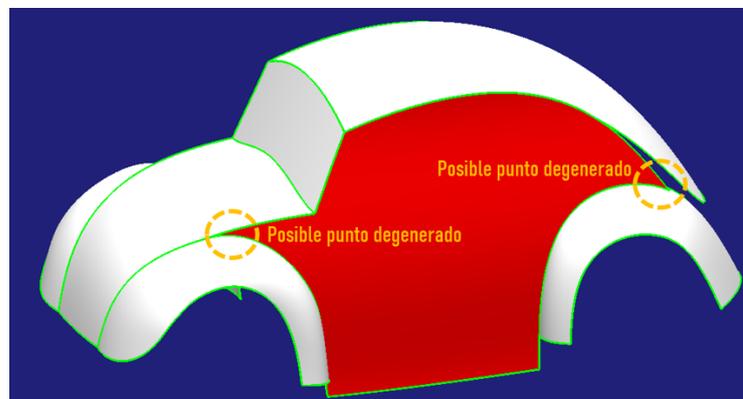


Figura 247. Posibles puntos degenerados

Así pues, el procedimiento más correcto en este caso es el siguiente:

1. Creación de una placa (superficie plana indefinida).

Se utilizará el comando *Unified Patch* dentro de la paleta *Surface Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

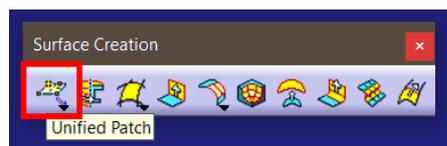


Figura 248. Localización de la herramienta *Unified Patch* de *ICEM Shape Design*

Esta herramienta permite crear una superficie plana o placa contenida en un plano a través de 2 puntos (vértices opuestos de la placa rectangular), 3 puntos o 4 puntos (vértices de la placa). El plano de creación puede ser fijado por el modelador o ser fijado a través de la orientación del compás.

Para más información sobre la herramienta consúltese [3].

En este caso se creará una placa que englobe totalmente el lateral del vehículo apoyada en el plano longitudinal del vehículo (*Figura 249*).

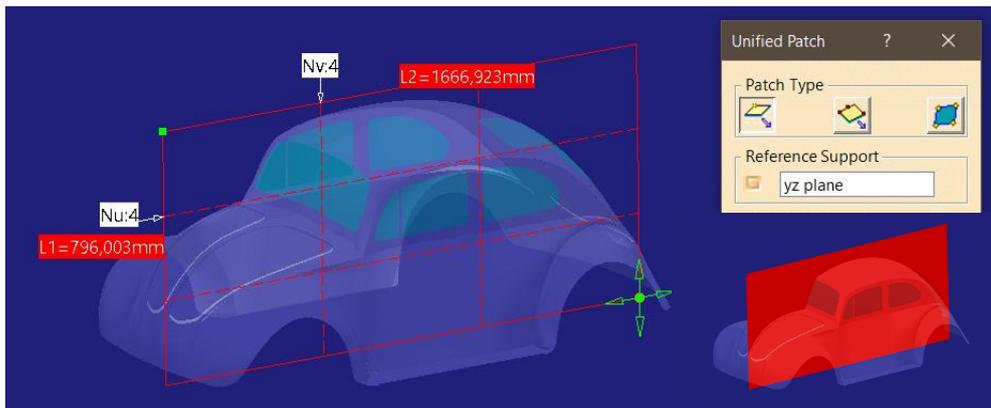


Figura 249. Creación de la placa

Cabe destacar que en este paso el número de puntos de control no es influyente, ya que será modificado a conveniencia cuando se adapte la superficie a la forma final.

2. Adaptar la placa a la forma final

El siguiente paso es modificar la superficie a través de la herramienta *Control Points* tal y como se ve en la *Figura 250*:

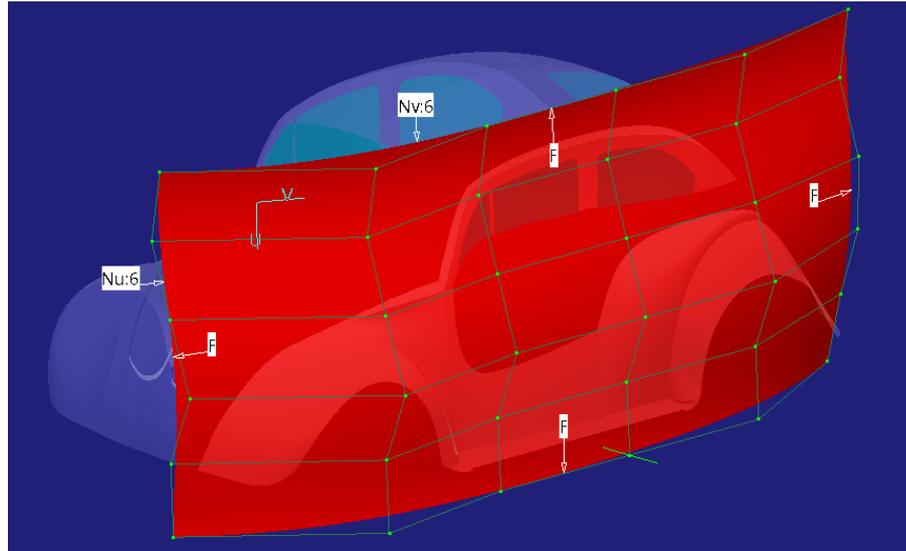


Figura 250. Modificación de la placa

Como se puede ver (*Figura 250*), ha sido suficiente con 6 puntos de control en cada dirección (U y V) para controlar la forma de la superficie.

Cabe destacar la importancia de adaptar la superficie a la forma deseada, pero asegurando intersección con las superficies colindantes (*Figura 251*) para crear un modelo estanco.

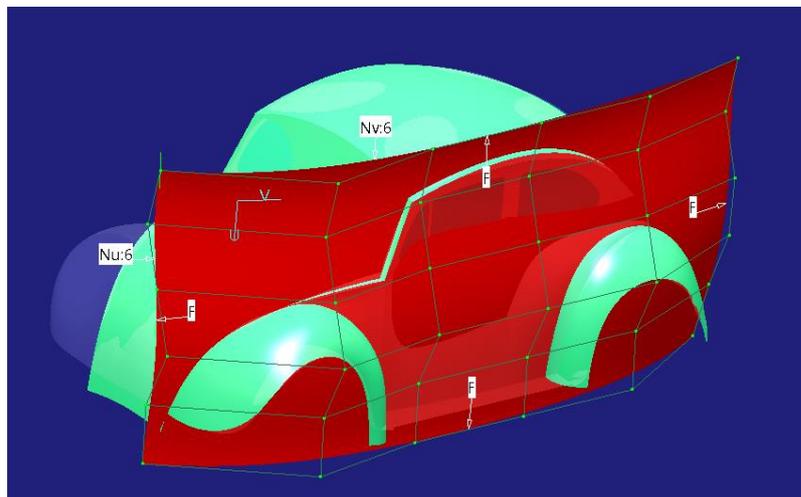


Figura 251. Superficie lateral que asegura la intersección

3. Recortar la superficie según las superficies colindantes

En primer lugar, recortamos la longitud de la placa por el punto de intersección entre el guardabarros delantero y capó, además de por los guardabarros

delantero y trasero (Se usa la herramienta *Split*). El resultado obtenido es el siguiente (*Figura 252*):

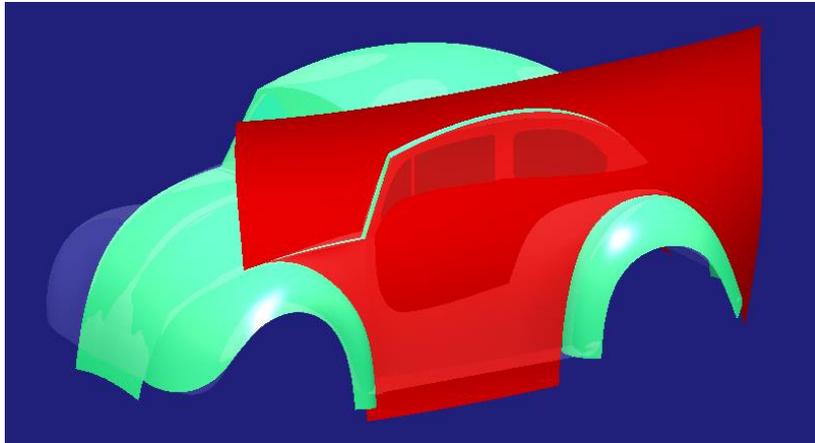
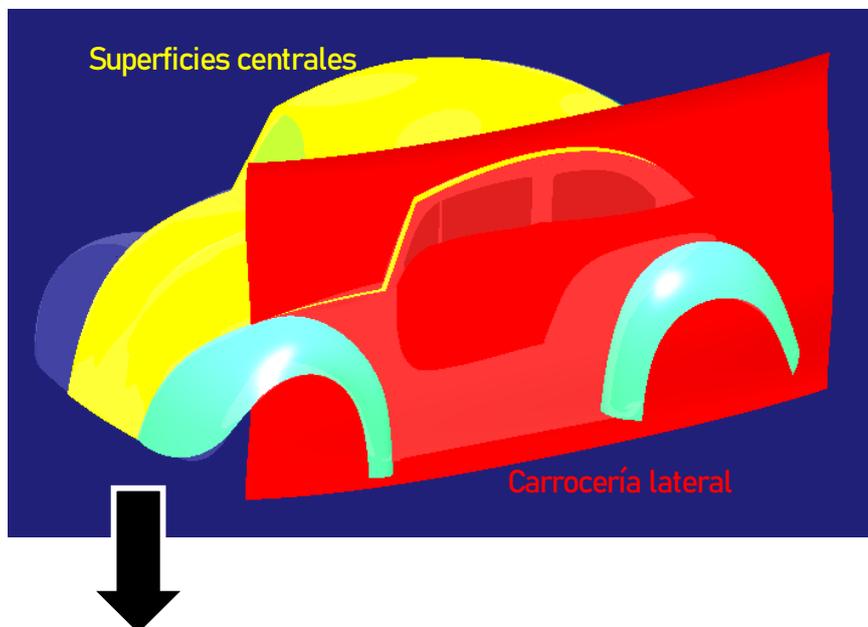


Figura 252. Superficie recortada 1

A continuación, combinamos las superficies centrales (capo, parabrisas y techo) con la carrocería lateral (Se usa la herramienta *Trim*) obteniendo el siguiente resultado (*Figura 253*):



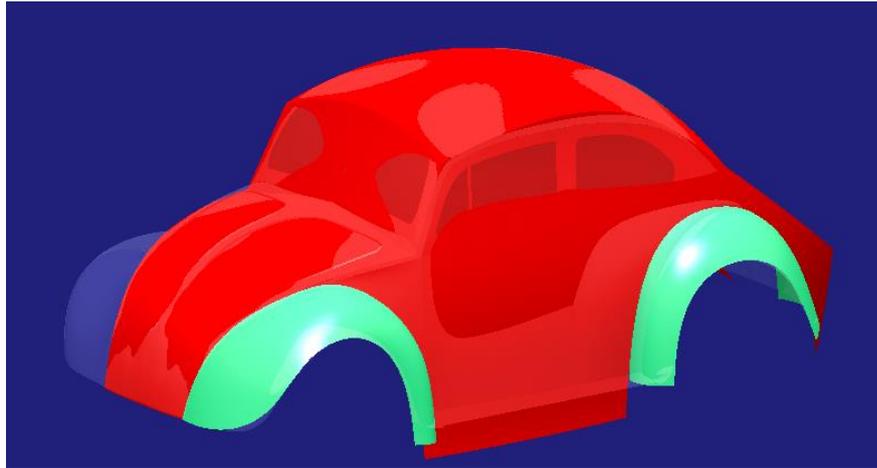


Figura 253. Superficie recortada 2

Luego, se recorta la parte posterior del lateral creando una curva que defina dicho corte (se utiliza el comando Split) (Figura 254):

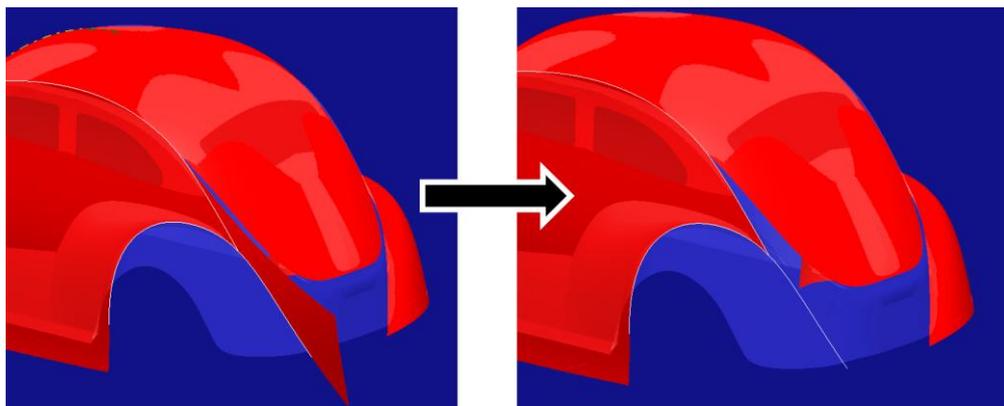


Figura 254. Superficie recortada 3

Finalmente se crea el lateral opuesto por simetría (Figura 255):

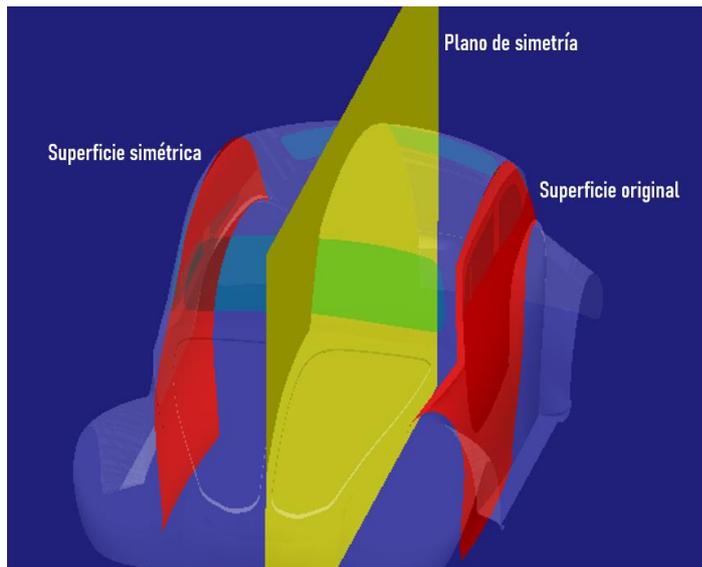


Figura 255. Superficie simétrica

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CARROCERÍA LATERAL

- Como no se puede controlar con ninguna curva: crear placa indefinida y adaptarla en posición y forma al aspecto deseado.
- Sobredimensionar y posteriormente recortar (Regla de Oro N°6).
- No realizar dos superficies, sino operar con simetría ya que se trata de dos superficies que no cortan el eje de simetría.

6.3. PASO 3 – EVALUACIÓN DEL DISEÑO PREVIO

Se entiende “diseño previo” como el diseño obtenido de la creación de las superficies primarias que definen la forma general del vehículo a través de los pasos 0, 1 y 2. Como se explicó en el **Apartado 3.4.:**

“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”.

En este apartado se trabajará, por lo tanto, en analizar el modelo previo conformado por las superficies primarias de cara al futuro modelado de superficies secundarias y terciarias. Es decir: que el modelador se haga una idea de cómo irán las cosas de aquí en adelante tal y como está el modelo hasta ahora.

En primer lugar, antes de pasar al cometido principal de este apartado, podemos ver que la construcción interna de las superficies primarias es buena (Figura 256). Entendiendo por construcción interna las características de calidad superficial de cada superficie (la calidad superficial entre ellas se consigue más adelante).

Se observa que se ha conseguido solucionar haciendo uso de buenas prácticas de modelado el principal y más visible problema que se encontraba en el modelo extraído de internet: las superficies que cortaban el eje de simetría.

Véase el **Apartado 5.2.2.** en el que se observan los defectos superficiales del coche extraído de Internet mediante análisis de reflejos.

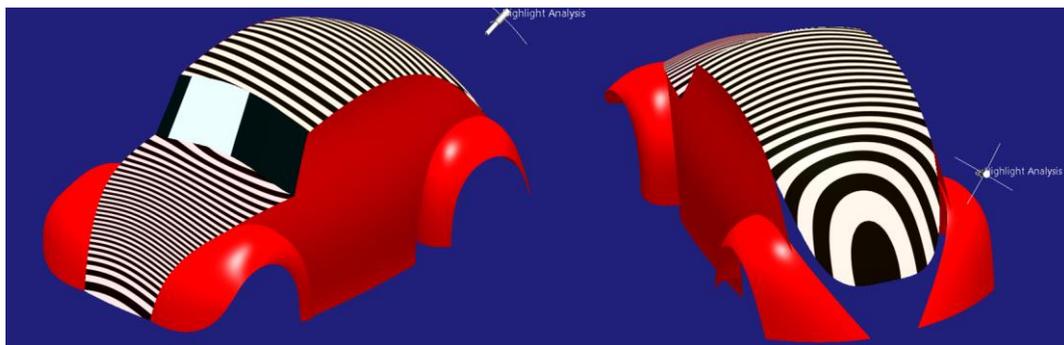


Figura 256. Calidad superficial de las superficies primarias que cortan el eje de simetría

En la figura anterior (Figura 256) y en la posterior (Figura 257) con mayor detalle se puede apreciar que se han solventado los problemas que presentaba el capó debido a un mal control de las superficies, el cuál presentaba hendiduras longitudinales indeseadas que aquí no han aparecido.



Figura 257. Irregularidades superficiales del capó (izquierda) y capó con buen acabado (derecha)

A parte de estos dos casos concretos que se han mencionado, en los que se ilustra muy bien el cambio de una superficie que posee la “misma” forma (lo más aproximada posible) haciendo uso de un buen modelado controlando en todo momento lo que se está haciendo, cabe destacar que comparando ambos modelos sometidos a análisis de reflejos salta a simple vista la gran mejora que supone (Figura 258).



Figura 258. Análisis de reflejos. Modelo internet (izquierda). Modelo previo creado (derecha)

Una vez ilustradas algunas de las mejoras que hasta ahora pueden apreciarse, se analizará si el modelo permite un buen trabajo posterior.

Cabe destacar que para este trabajo no existe una fórmula universal ni un método de cómo proceder. Lo que el modelador debe tratar de hacer es imaginarse como va a realizar las operaciones posteriores en base a lo que ya tiene. Esto dará una idea de si deberá hacer uso de herramientas muy complejas para conseguir acabar el modelo con buena calidad, o deberá hacer uso desesperado de herramientas que dan un resultado “para salir del paso”,

pero no de la calidad deseada, o si, por el contrario, se ve incapacitado para continuar con la superficie.

Se va a tratar de poner en práctica con el modelo con el que se está trabajando en el presente proyecto.

En primer lugar, las superficies de techo, parabrisas y capó no parecen suponer mayor problema para crear continuidad entre ellas a través de algún comando de redondeo entre bordes, creando una nueva superficie entre ambas con la continuidad deseada o con operaciones similares (*Figura 259*).

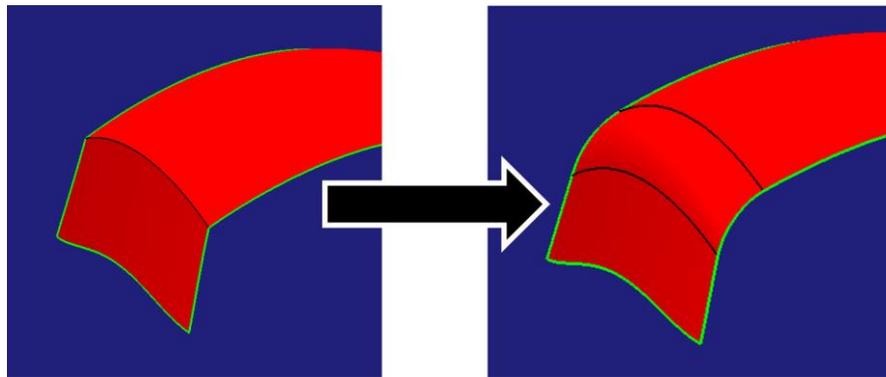


Figura 259. Planificación de operaciones para continuidad entre superficies capó, parabrisas y techo

Por otro lado, se encuentra la parte del maletero, la cual, debido a su complejidad no fue modelada como superficie primaria, sino que se dejó para ser tratada como superficie secundaria. Es ahora el momento en que se cuestiona dicha decisión.

Se presenta en la siguiente imagen (*Figura 260*) la superficie que se debe obtener y las superficies previas con las que se cuenta.

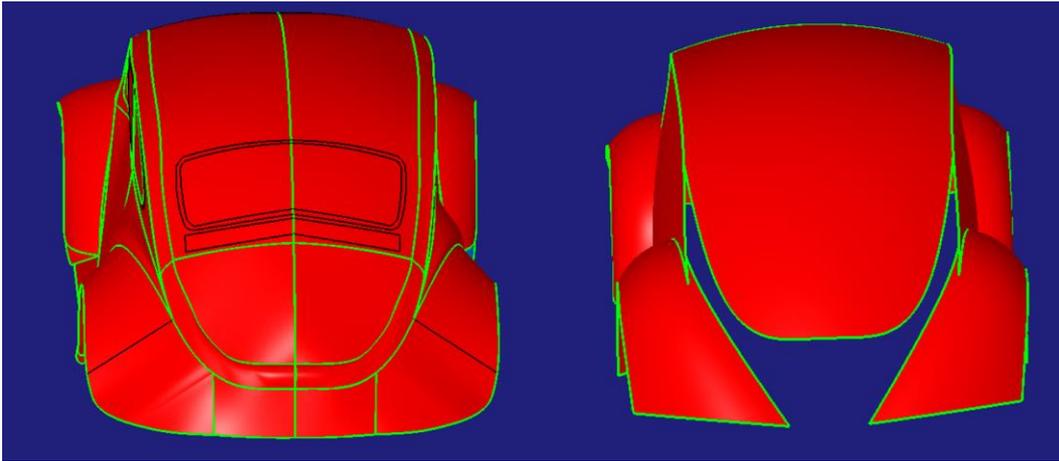


Figura 260. Superficie a conseguir (izquierda) y superficie de partida (derecha)

Una posible vía de actuación es: en primer lugar, conseguir una superficie que garantice continuidad entre ambos guardabarros traseros (superficie verde de la Figura 261). Posteriormente, recortar la forma deseada de dichas superficies y finalmente conseguir el perfil curvo que define la unión entre maletero y parte inferior de la carrocería (superficie de color azul de la Figura 261).

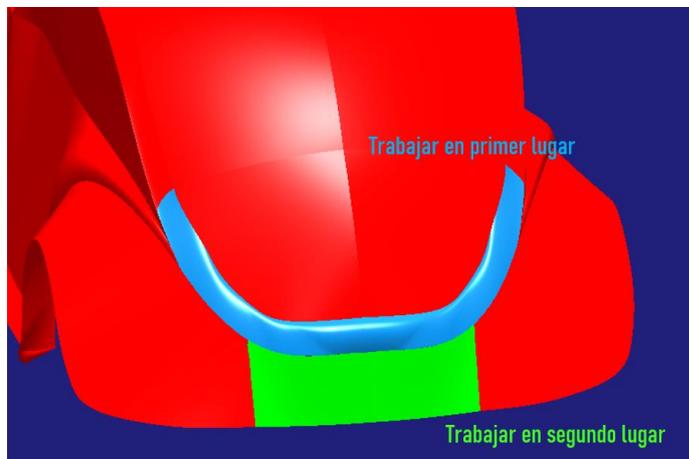


Figura 261. Propuesta de actuación con la parte trasera

Es posible que la superficie azul (Figura 261) presente problemas al modelarla puesto que colinda con múltiples superficies (techo, lateral, guardabarros traseros y zona de unión entre ellos). Esta es la superficie que, por lo tanto, supone el mayor dilema: ¿se continúa o se modifica lo anterior? Como se ha dicho anteriormente no hay una respuesta válida para esta pregunta. Es decisión del modelador o diseñador el tomar esta responsabilidad. En este caso

se asumirá dicho riesgo, pudiendo siempre volver atrás si no se pudiese completar satisfactoriamente la superficie en cuestión.

Por otro lado, se advierte del hecho de que las estriberas del vehículo no están modeladas, se trata de otra superficie que se dejó para el modelado de superficies secundarias puesto que se tratará de dar una buena continuidad entre guardabarros trasero y delantero (*Figura 262*), es decir, no puede construirse de una manera rápida, hay que controlar en mayor medida lo que se está haciendo que si se tratase de una superficie primaria.

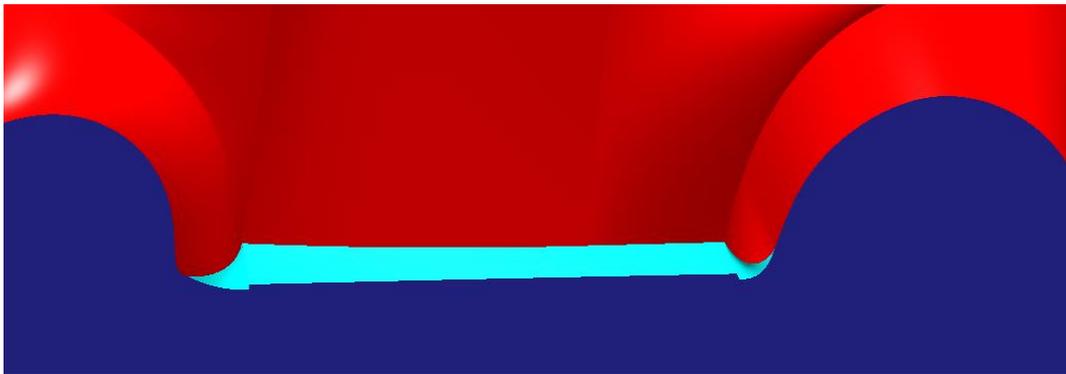


Figura 262. Estribera del modelo conceptual que se tratará de mejorar en el modelado de superficies secundarias y terciarias.

En principio, el diseño tanto de los guardabarros como del lateral del vehículo obtenidos en el modelado de superficies primarias permiten un fácil modelado de esta parte del vehículo. Se han dejado creces de modelado en todas las superficies de modo que dejen margen para trabajar con comodidad tal y como se puede apreciar en la *Figura 263*:

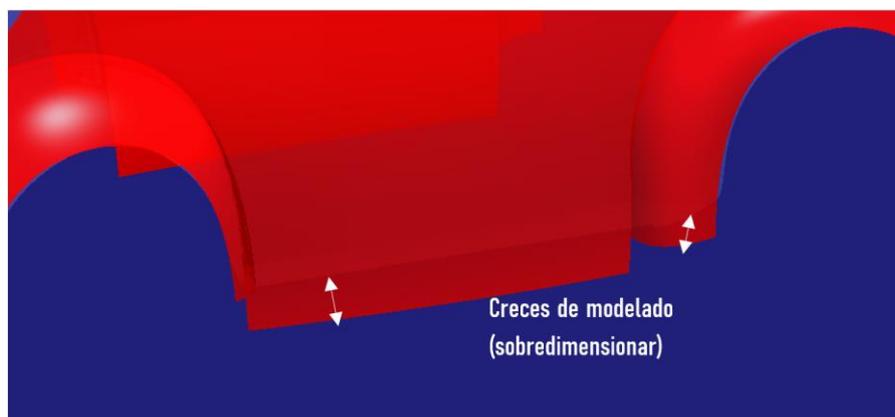


Figura 263. Creces de modelado para trabajar la estribera

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

6.4.1. ESTRIBERAS

El objetivo de este apartado es modelar la superficie que define las estriberas (ya en su forma final puesto que se trata del modelado de superficies secundarias y terciarias. En este punto se busca el acabado definitivo). Se va a plantear una zona baja perimetral del vehículo (guardabarros, estriberas y zona baja de la carrocería posterior del vehículo) con un buen nivel de continuidad, lo cual puede dar un acabado superficial y estético bastante interesante.

El primer paso para conseguir dicha superficie baja que recorra el perímetro del vehículo con buen nivel de acabado superficial pasa por la creación de la zona de unión entre guardabarros delantero y trasero (es decir, la superficie de la estribera) (*Figura 264*). Se deberá asegurar una buena continuidad para que los reflejos sean continuos al atravesar las distintas superficies.

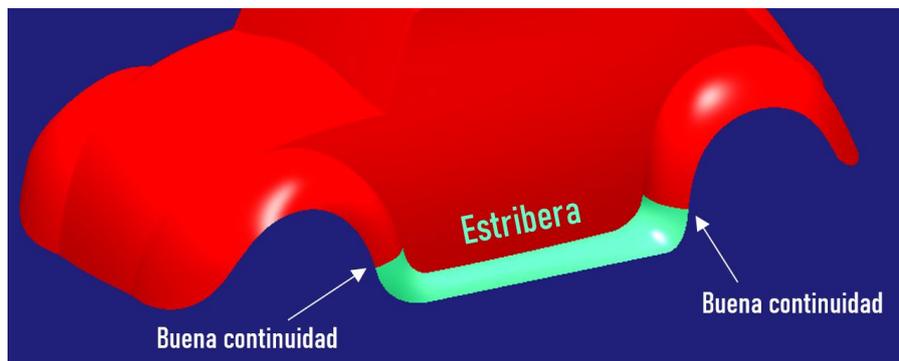


Figura 264. Superficie secundaria que define la estribera

La primera vía de actuación que se podría pensar sería la de utilizar un comando que directamente aporte una superficie continua con las otras dos.

Esta opción pasa por la utilización del comando *Blend Surface* de la paleta *Surface Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 265. Localización de la herramienta Blend Surface de ICEM Shape Design

Esta opción es cómoda en el aspecto de creación de la superficie garantizando los niveles de continuidad deseados. Pero, en contraposición, no se controla la forma que adquiere, debiéndola modificar posteriormente en mayor o menor medida.

Dicha herramienta crea una superficie de unión entre dos superficies seleccionadas garantizando la continuidad que el modelador desee (pudiendo ser distinta en cada extremo). Dicha unión puede crearse desde el borde de las superficies o desde una isoperimétrica.

Para más información sobre el comando y sus posibilidades consúltese [3].

Probando con este comando se llega a la conclusión de que los resultados obtenidos no son buenos, no se consigue controlar la superficie como se quiere, da muchos problemas y acarrea mucho tiempo perdido. De modo que ha de buscarse una alternativa válida que resulte más cómoda.

Se va a recurrir a un proceso de trabajo “curva – superficie” que requiere mucha preparación previa de las curvas, pero, con un buen modelado de estas se conseguirá una superficie completamente acabada y de buena calidad estética.

Dicho proceso, en este caso concreto, pasa por la creación de la superficie a través de un barrido de múltiples secciones, controlando muy bien la posición de las secciones y las guías sobre las que estas deslicen.

Para conseguir lo anteriormente dicho el proceso a seguir es el detallado a continuación.

En primer lugar, se prepararán las guías sobre las que deslizarán posteriormente las secciones.

Se definirá, en primer lugar, la guía interior, entendiéndose como tal la guía que define el contorno de la estribera más próximo al vehículo.

Para ello se extraerán los contornos interiores de sendos guardabarros (trasero y delantero) haciendo uso de la herramienta *Intersection*. Se podría haber realizado la extracción haciendo uso del comando *Extract* como en anteriores ocasiones, pero en este caso se ha decidido hacer de este otro modo puesto

que debido a las creces de modelado de los guardabarros es posible buscar la intersección entre estos y la carrocería lateral del vehículo. Además de este modo, se presenta una herramienta que no había aparecido en el presente proyecto.

La herramienta *Intersection* se localiza en la paleta *Wireframe* de *Generative Shape Design* de *CATIA V5*.



Figura 266. Localización de la herramienta *Intersection* de *Generative Shape Design*

Dicha herramienta permite extraer la geometría fruto de la intersección entre dos superficies (resultará una curva), dos curvas (resultará un punto) o una superficie y una curva (resultará un punto).

Aplicada a las superficies que se tratan aquí el resultado es el siguiente (Figura 267):

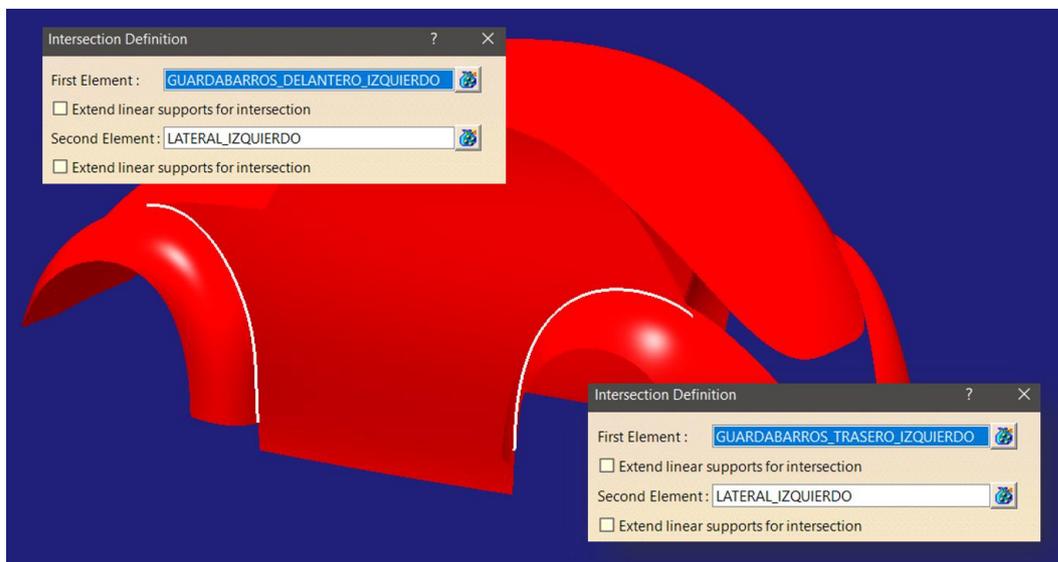


Figura 267. Intersección de las superficies de guardabarros y lateral

Lo siguiente en lo que hay que detenerse es en la longitud de los guardabarros en la zona de la estribera. Se puede apreciar (Figura 268) que si se quiere

buscar una superficie continua entre ellas y que se adapte a la altura de la estribera del modelo conceptual va resultar imposible o de ser posible, lo hará de una forma con curvaturas muy extremas completamente indeseable.

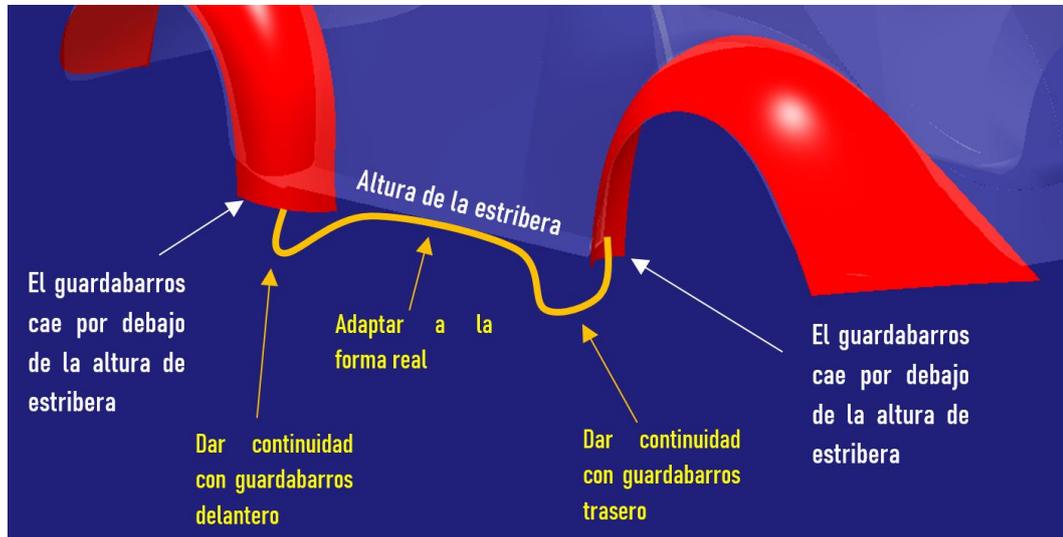


Figura 268. Situación indeseable de modelado de la estribera

Cabe destacar que esto no es un error de modelado previo, sino que como se ha mencionado numerosas veces a lo largo del presente proyecto es recomendable sobredimensionar y posteriormente recortar. Así pues, así será como se solucione la presente situación: recortando a conveniencia. Dicho de otra manera: *“La geometría que sobra se puede recortar sin problema cuando sea necesario; por el contrario, la geometría que falta puede causar muchos problemas al intentar crearla”*.

A continuación, se recortarán los contornos anteriormente creados (Herramienta *Split*) haciendo uso de una curva de corte definida a una altura que el modelador crea conveniente de modo que permita tener un margen para dar continuidad a la estribera con los guardabarros y que la adaptación a la altura de la estribera sea suave (Figura 269).

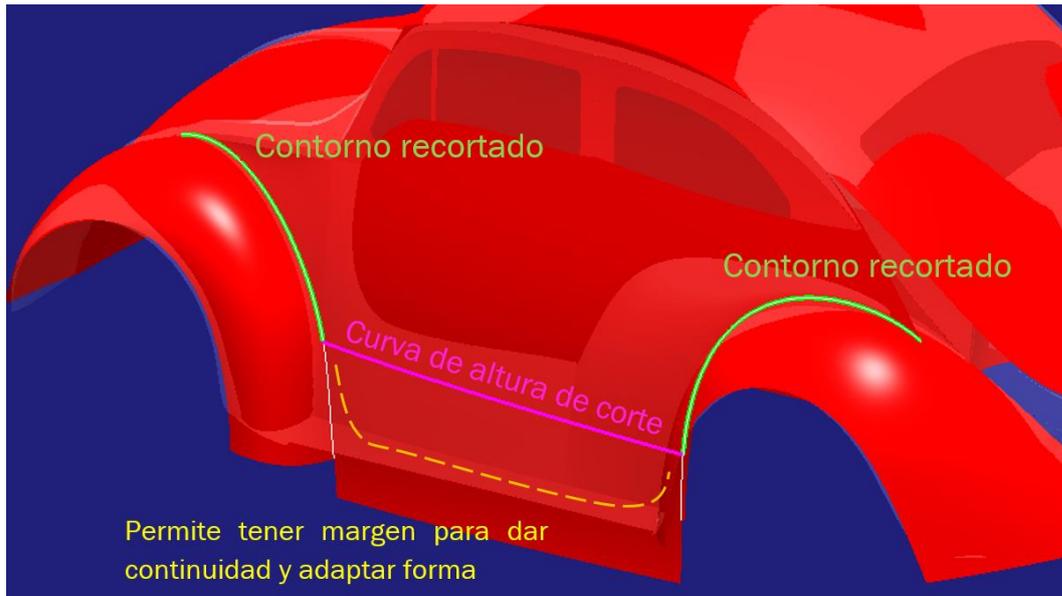


Figura 269. Corte de los contornos interiores de los guardabarros

Una vez se tienen los contornos recortados se crea la curva 3D que define la altura de la estribera y posteriormente se proyecta sobre la carrocería lateral del vehículo. Dicha curva debe tener una longitud suficiente que permita obtener una unión con los contornos de los guardabarros anteriormente extraídos continua y suave (Figura 270). Si es excesivamente larga se tendrá poco espacio para ello, quedando una unión con una forma con curvaturas muy extremas.

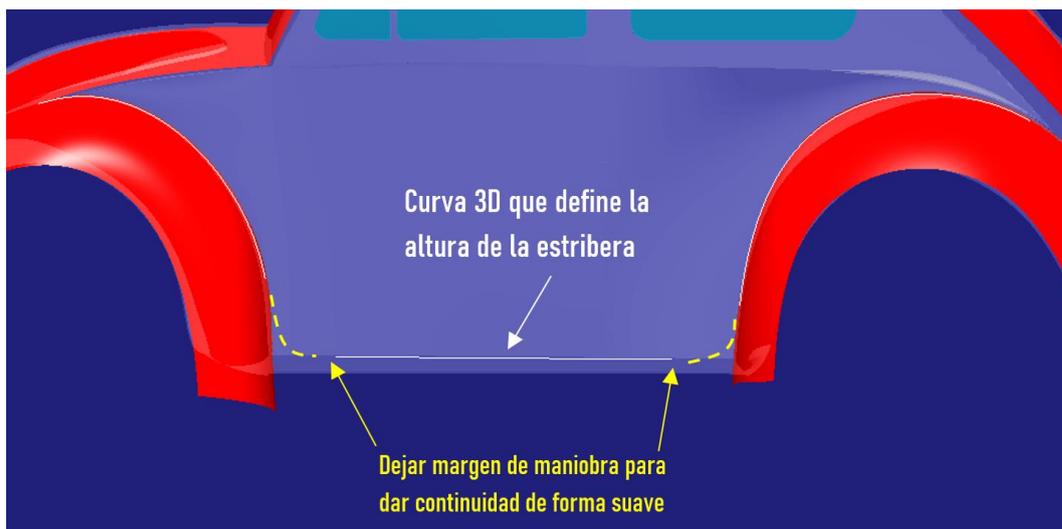


Figura 270. Construcción de la curva que define la altura de la estribera

Para la proyección de la curva sobre la superficie del lateral se utiliza el comando *Curve Projection* dentro de la paleta *Curve Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

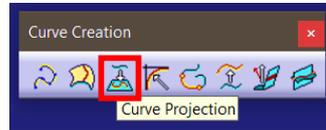


Figura 271. Localización de la herramienta dentro de la paleta de creación de curvas

El uso del comando es muy sencillo: se selecciona la curva a proyectar, la superficie donde se quiere que se proyecte y la dirección de dicha proyección. Aplicada a la curva con la que se está tratando el resultado es el siguiente (Figura 272):

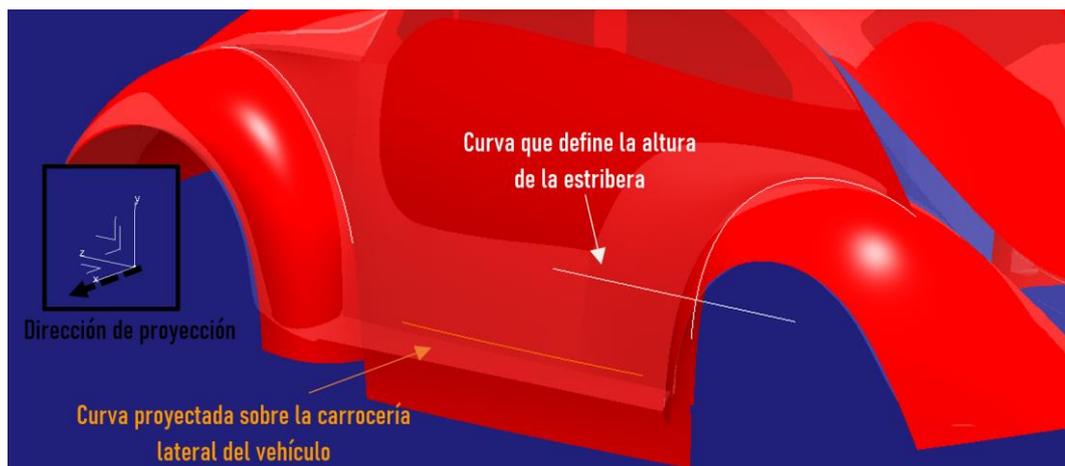


Figura 272. Proyección de la curva sobre la carrocería lateral

Una vez se tienen las tres partes que van a formar la guía interior el siguiente paso es conseguir la continuidad entre ellas. Para ello se utilizará el comando *Connect Curve* de *Generative Shape Design* (ya utilizado en la creación de los guardabarros delanteros). El resultado obtenido se presenta en las Figuras 273 y 274.

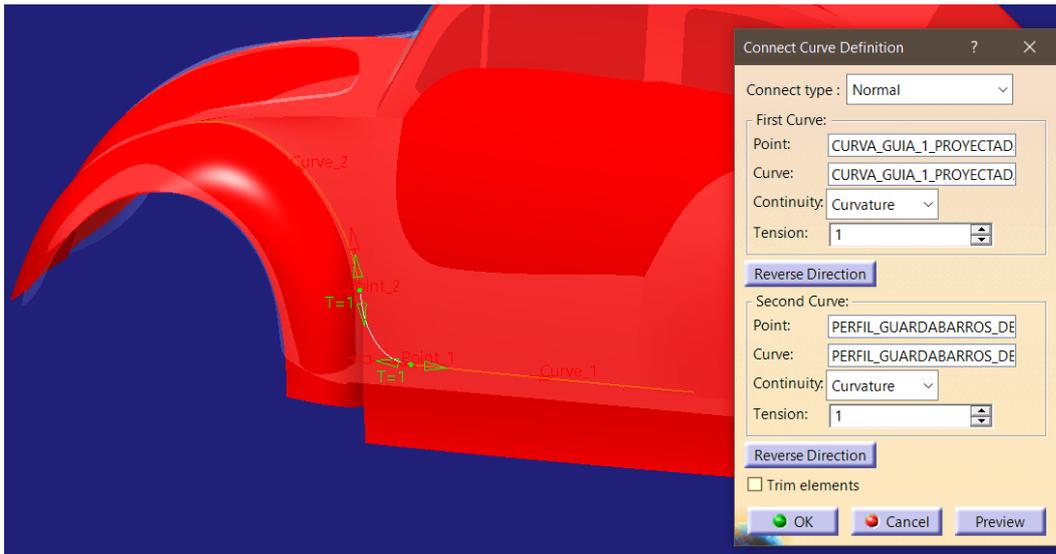


Figura 273. Unión con continuidad en curvatura entre el guardabarros delantero y la curva de la estribera

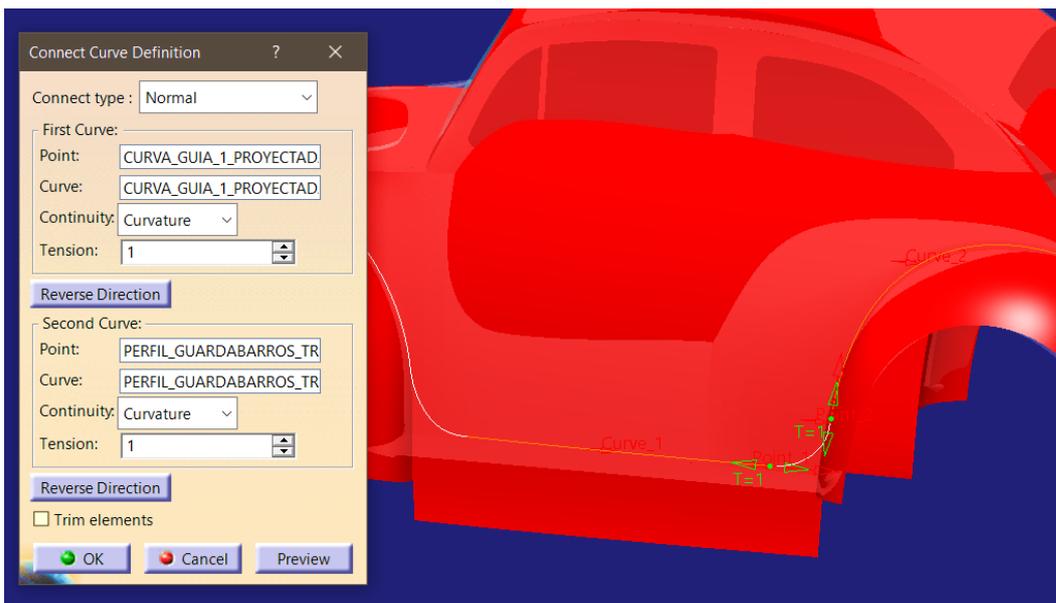


Figura 274. Unión con continuidad en curvatura entre el guardabarros trasero y la curva de la estribera

A continuación, se debe conseguir una única curva guía, de modo que hay que unir las cinco curvas que forman esta primera guía: contorno del guardabarros delantero, curva de unión, curva de altura de la estribera, curva de unión y contorno del guardabarros trasero (Figura 275). Para ello se utiliza la herramienta *Join*, ya presentada con anterioridad.

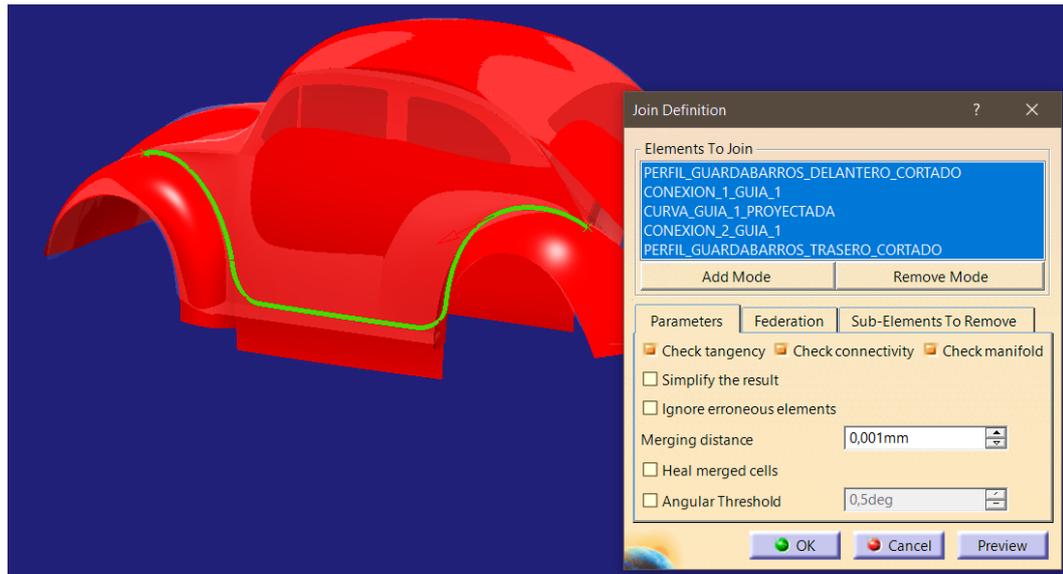


Figura 275. Unión de curvas para formar la guía interior o guía 1

En segundo lugar, se cortarán las superficies de los guardabarros a la altura definida por la curva de altura de corte (Figura 269). Cabe destacar la importancia de los planos de corte. Estos no pueden ser cualquiera, han de ser planos de corte perpendiculares a la guía que se ha creado y se definen por el punto de unión entre el contorno del guardabarros y la curva de unión, tal y como se puede apreciar en la Figura 276.

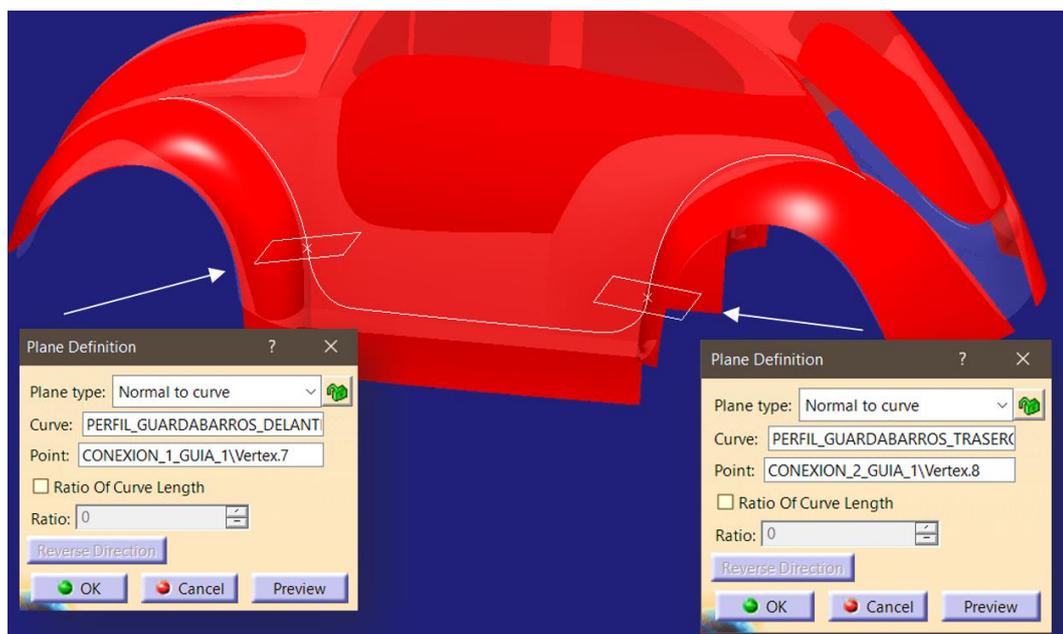


Figura 276. Definición de los planos de corte de los guardabarros

Una vez definidos los planos de corte se pueden recortar los guardabarros haciendo uso del comando Split definiendo los guardabarros como superficie a cortar y los planos como superficie cortante (*Figura 277*).

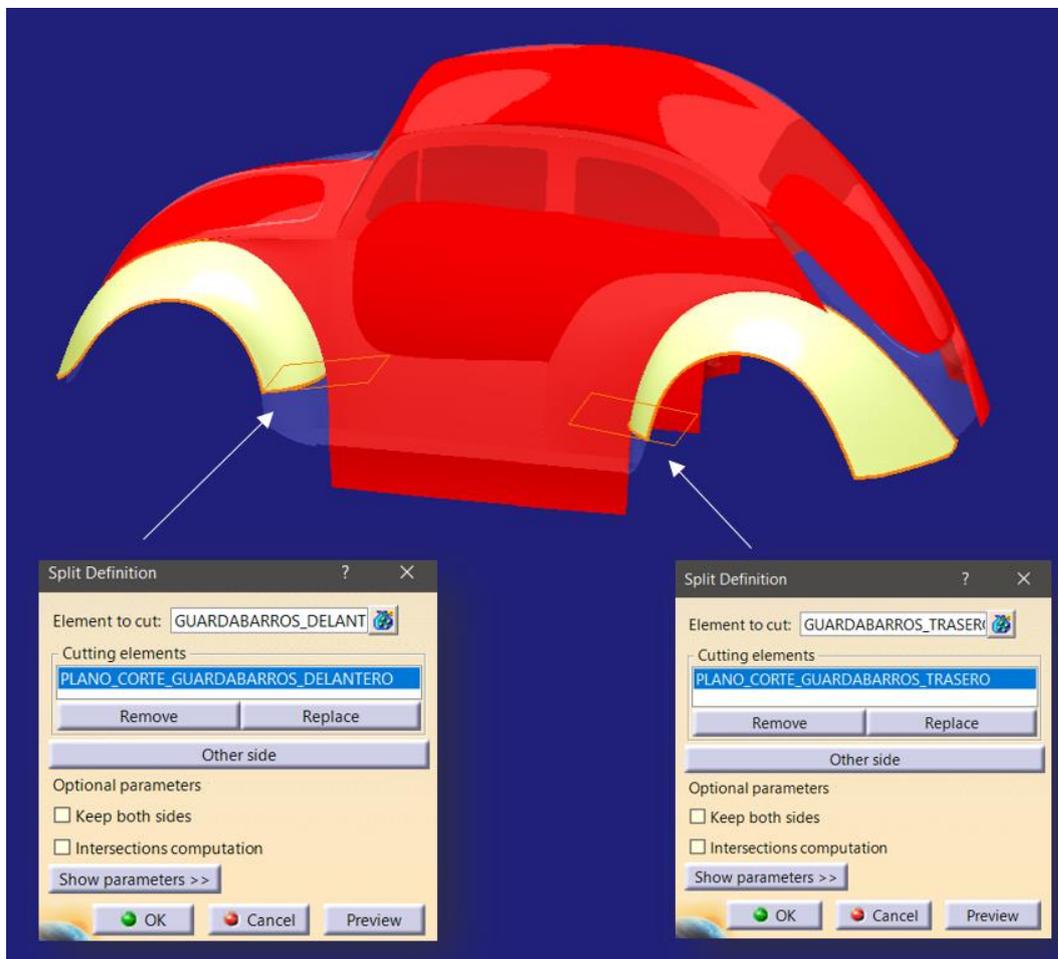


Figura 277. Operación de corte de las superficies de los guardabarros

Por otro lado, para la creación de la segunda guía, la que define el contorno exterior de la estribera (el más alejado del vehículo), se procede de idéntica manera a la anteriormente descrita, salvo por dos diferencias:

- La extracción de los contornos exteriores de los guardabarros (ya cortados, de este modo se evita tener que cortar el contorno extraído posteriormente) se realiza con el comando *Extract* (*Figura 278*).
- La curva que define la altura de la estribera se forma directamente como una curva 3D colocada en la posición que debe de tener (*Figura 278*), sin necesidad de proyectar sobre ninguna superficie

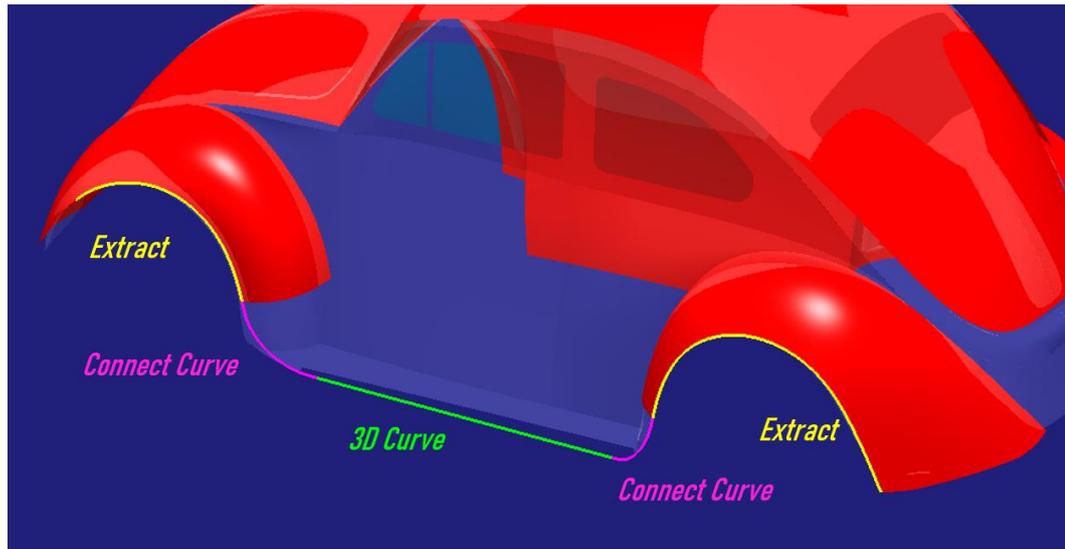


Figura 278. Obtención de las curvas que forman la guía exterior o guía 2

Tras unir los tramos definidos anteriormente a través del comando *Join* ya se dispone de todo lo necesario para la operación de multi-sección: dos curvas guía y dos secciones (bordes de los guardabarros cortados).

Se aplicará el mismo comando que el utilizado para la superficie del parabrisas: *Multi-Sections Surface* de *Generative Shape Design* de *CATIA V5*. En aquel caso fue utilizado con dos guías y una sola sección. Aquí se completará un poco más el uso del comando debido a las mayores exigencias que necesita esta superficie.

En este caso, a la hora de seleccionar las secciones (bordes de las superficies de los guardabarros) hay que darlas continuidad con los guardabarros. Para ello simplemente se selecciona del siguiente modo: sección (borde) → superficie de apoyo (guardabarros correspondiente) especificando continuidad en curvatura (es la de mayor grado que se puede seleccionar, a priori parece la más adecuada, veremos más adelante si es así o no). También cabe destacar la importancia de seleccionar como curva espina la guía interior, puesto que es la que arroja mejores resultados (*Figura 279*).

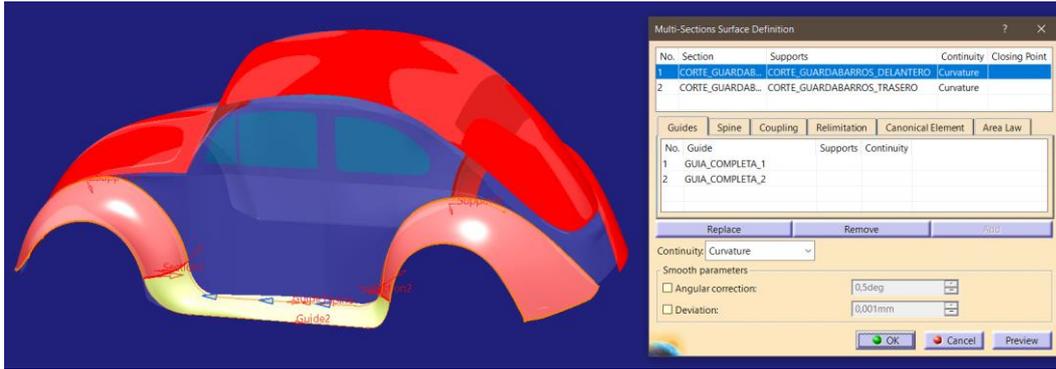


Figura 279. Operación de multi-sección para formar la estribera

Una vez se tiene la superficie se realiza un análisis de reflejos para ver la calidad de la superficie obtenida. Como se aprecia en la imagen inferior (Figura 280) el resultado es muy desfavorable. Por un lado, la superficie plana de la estribera presenta un patrón de reflejos muy caótico, lo cual puede representar abolladuras debido a haber exigido demasiado a la superficie. Por otro lado, observando la zona de unión entre estribera y guardabarros trasero se observa una ligera pero apreciable discontinuidad de reflejos (Esto no ocurre en la unión con el guardabarros delantero).

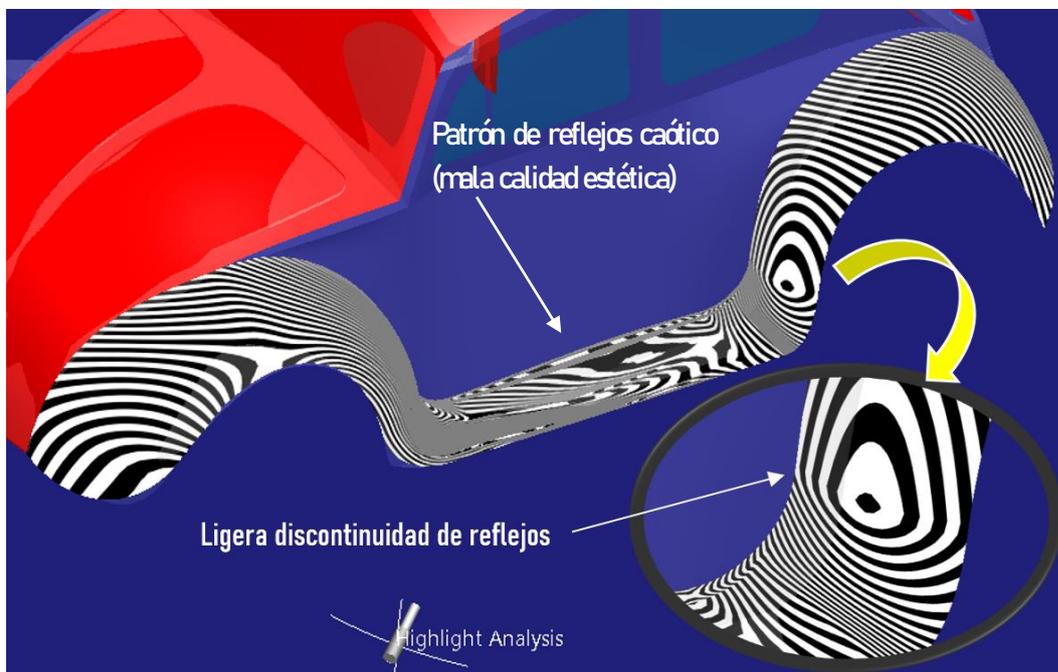


Figura 280. Análisis de reflejos de la superficie de la estribera 1

Llegados a este punto se buscarán otras vías de actuación que solucionen los problemas mencionados anteriormente.

En primer lugar, se va a exigir más a las curvas guía. Las curvas de unión se crearon para ambas guías utilizando el comando *Connect Curve de Generative Shape Design*, el cual permitía un grado de continuidad máxima en curvatura (tipo G2). Ahora se realizará dicha operación haciendo uso del comando homólogo de *ICEM Shape Design*, denominado *Blend Curve*, localizado en la paleta *Curve Creation*.



Figura 281. Localización de la herramienta Blend Curve de ICEM Shape Design

Esta herramienta permite llegar a un nivel de continuidad de tipo G3 (Figura 282).

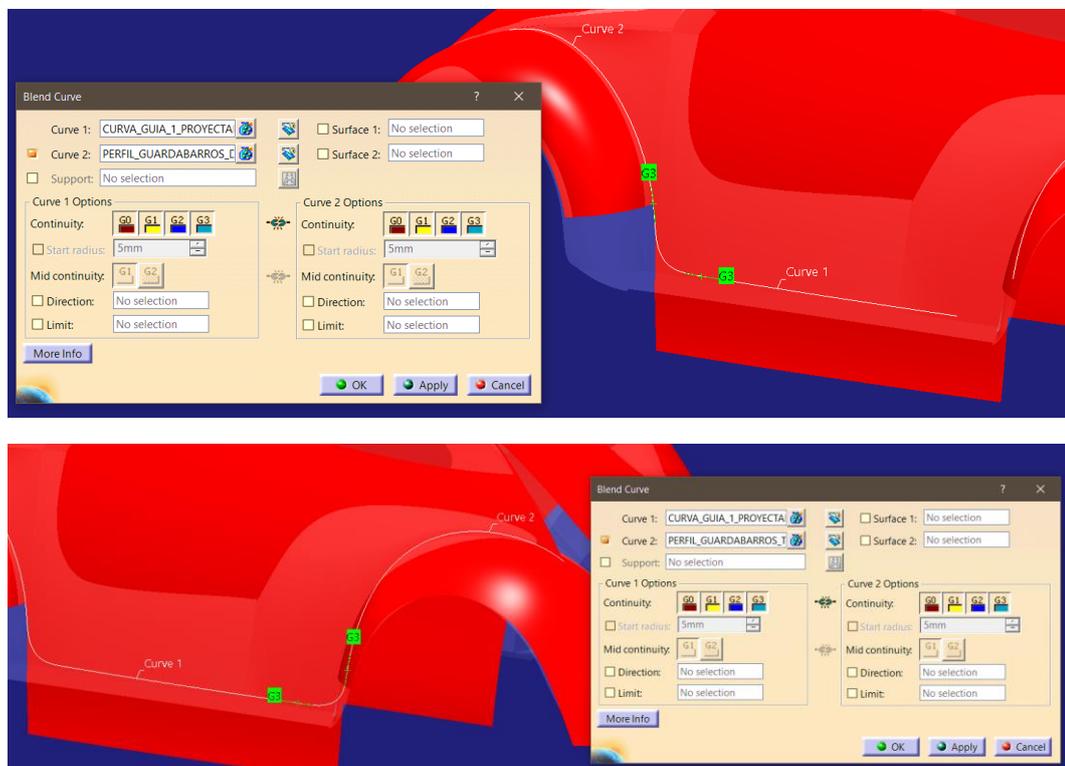


Figura 282. Creación de las curvas de unión de la Guía 1 o interior con el comando Blend Curve

Una vez creadas las nuevas uniones se unen haciendo uso del comando *Join* al igual que se realizó con anterioridad.

Del mismo modo se forma la Guía 2 (guía exterior). En la siguiente figura (*Figura 283*) puede apreciarse el resultado final de la creación de las dos nuevas curvas guía con las que se trabajará.

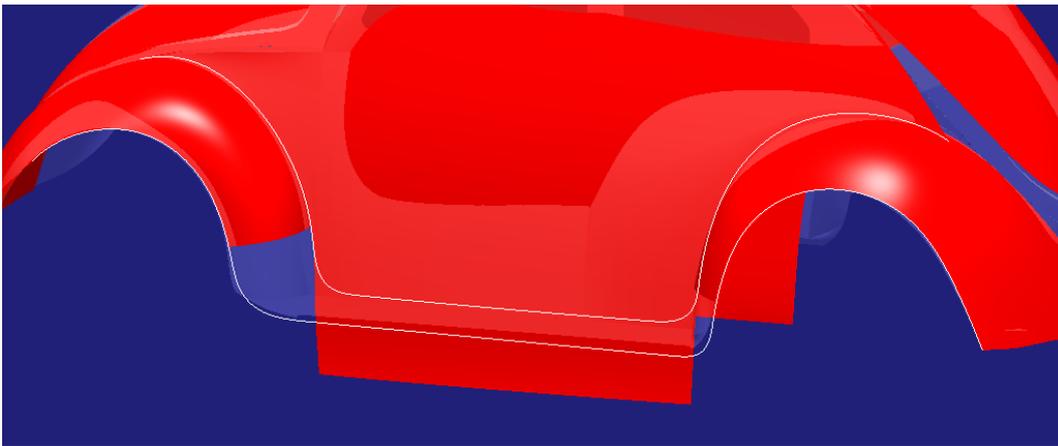


Figura 283. Nuevas curvas guía definidas

En segundo lugar, se realizará la operación de multi-sección, pero definiendo una continuidad con las superficies en tangencia en vez de en curvatura, de este modo se fuerza menos la superficie, así probablemente se soluciona el problema del patrón de reflejos caótico en la zona plana de la estribera y, probablemente también se haya logrado una buena continuidad de reflejos controlando mejor las curvas de unión.

El resultado es presentado a continuación (*Figura 284*):

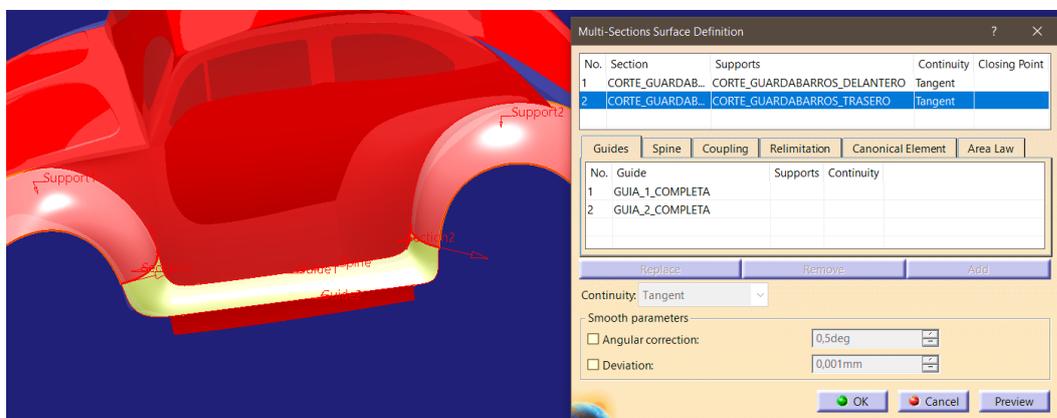


Figura 284. Superficie de estribera obtenida

Realizando de nuevo el análisis de reflejos se obtiene lo representado en la *Figura 285*, que, comparado con el de la *Figura 280*, se puede apreciar la mejora supuesta en cuanto a calidad superficial en vista del patrón de reflejos:



Figura 285. Análisis de reflejos de la superficie de la estribera 2

Como se puede apreciar (*Figura 285*) ha desaparecido el ligero problema de continuidad en la unión entre estribera y guardabarros trasero (no era una discontinuidad muy evidente ni notoria (*Figura 280*) pero si puede apreciarse la mejora ante una misma posición del foco de reflejos). Además, el patrón de la parte plana de la estribera es mucho más ordenado y agradable a la vista. De modo que se ha conseguido solucionar ambos aspectos. Observando el análisis de reflejos desde un punto de vista del foco distinto se aprecian bien estas mejoras (*Figura 286*):

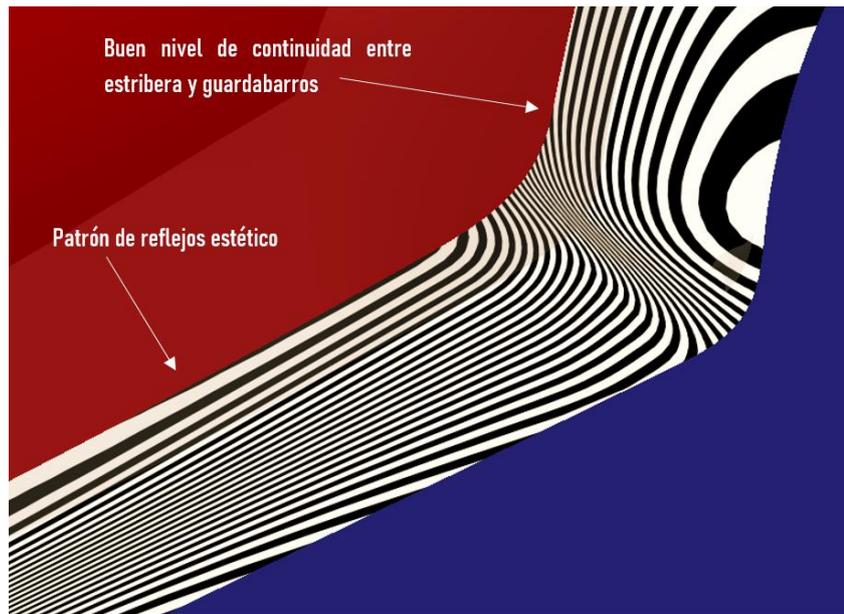


Figura 286. Detalle del análisis de reflejos de la estribera desde otro punto de vista del foco

Otra forma de apreciar el acabado estético es a través del propio espacio de trabajo, en el cual, CATIA aporta un foco de iluminación para la visualización de la pieza, de modo que se puede utilizar para colocar la pieza en una orientación que permita ver como se proyecta dicho foco de luz sobre la superficie que se desee como se puede apreciar en la *Figura 287*. En dicha figura se ha representado en la parte superior el modelo de estribas y guardabarros obtenido con los contornos principales entre las superficies de estribas, guardabarros y zonas de unión para localizar las zonas que pueden presentar problemas y, posteriormente, en las representaciones inferiores observar cómo se proyecta la luz a través de ellas, dando resultados favorables en este caso.

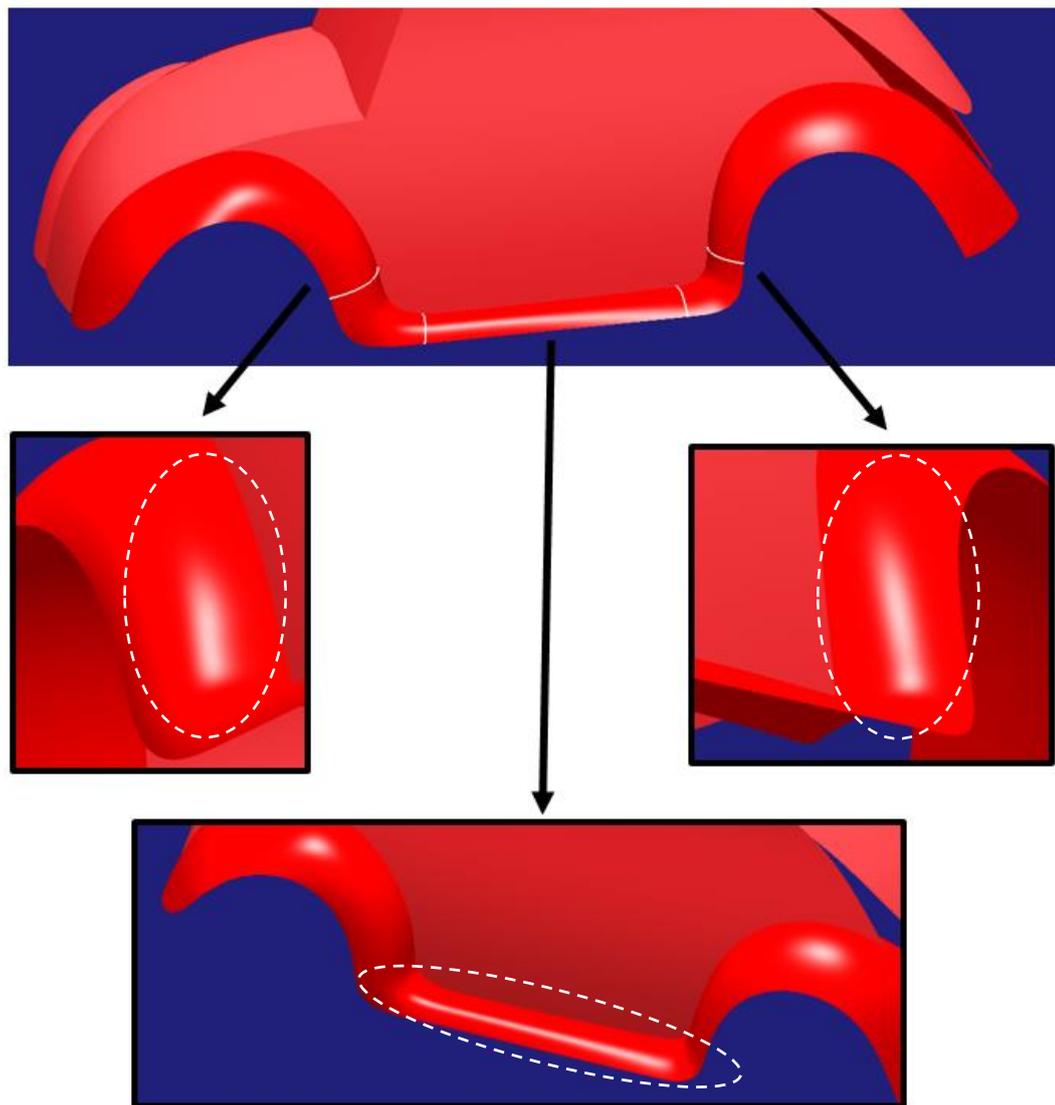


Figura 287. Análisis de reflejos mediante el propio foco de iluminación del espacio de trabajo de CATIA

Ejemplos de discontinuidades detectables con este método pueden apreciarse en el modelo de *Volkswagen Beetle* extraído de Internet [2] como se muestra en la *Figura 288*.

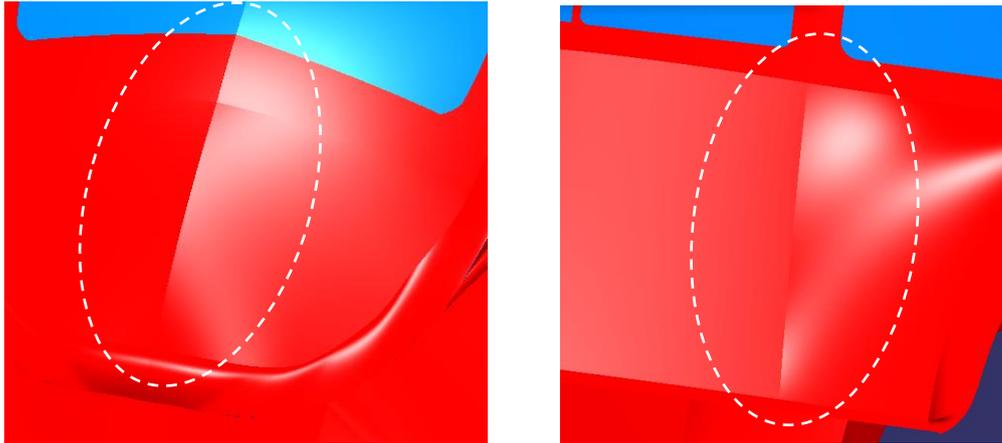


Figura 288. Ejemplos de discontinuidades detectables en el modelo extraído de Internet con el foco de iluminación del espacio de trabajo de CATIA. Superficie maletero (izquierda). Carrocería lateral (derecha).

Finalmente, solo resta unir las superficies de guardabarros delantero, estribera y guardabarros trasero para formar una única superficie (comando *Join*) y posteriormente aplicar operación de simetría para obtener la del lado contrario (comando *Symmetry*) (Figura 289).

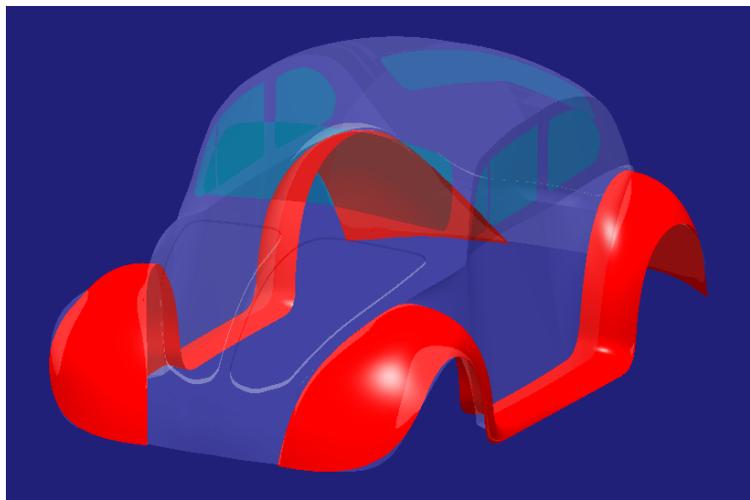


Figura 289. Operación de simetría

CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → ESTRIBERAS

- Cuestionar siempre el acabado superficial obtenido, a veces las apariencias engañan.
- No siempre es lo óptimo exigir todo lo que se pueda a las superficies. A veces es necesario exigir más a las curvas en las que apoyen estas y posteriormente exigir menos a la superficie de modo que el resultado sea una forma más suave y agradable.
- El comando *Blend Curve de ICEM Shape Design* diseña curvas de unión con un grado de continuidad máximo mayor que el comando *Connect Curve de Generative Shape Design* (G3 frente a G2).

6.4.2. CONTINUIDAD ENTRE LAS SUPERFICIES DEL TECHO, PARABRISAS Y CAPÓ

Se tratará de conseguir una superficie central (recuérdese el término superficies centrales: capo, parabrisas y techo) del vehículo perfectamente continua, desde el morro del vehículo, pasando por el capo y parabrisas hasta el final del techo. A parte de por una cuestión estética, esto se realiza por cuestiones aerodinámicas.

En el *Paso 3 – Análisis del modelo previo (Apartado 6.3.)* se anticipó el tratamiento que se daría a estas superficies para lograr dicha continuidad:

...las superficies de techo, parabrisas y capó no parecen suponer mayor problema para crear continuidad entre ellas a través de algún comando de redondeo entre bordes, creando una nueva superficie entre ambas con la continuidad deseada o con operaciones similares.

En este caso, el modelado se decantará por la última de las opciones anteriormente mencionadas: creación de una nueva superficie de unión con la continuidad deseada.

Para ello, se utilizará el comando *Blend Surface* de la paleta *Surface Creation de ICEM Shape Design de CATIA V5* puesto que se trata de una herramienta muy versátil para este tipo de situaciones.



Figura 290. Localización de la herramienta Blend Surface de ICEM Shape Design

Esta herramienta permite crear una superficie con el grado de continuidad deseado entre dos superficies a través de sus bordes extremos o desde una isoparamétrica interior. Esto último es lo que la hace interesante para este tipo de superficies. Las superficies a trabajar crean aristas puesto que están intersecadas entre sí, de modo que no se puede trabajar con los bordes extremos ya que tienen una distancia nula entre ellos. Por ello es muy útil el poder realizar la nueva superficie a través de las isoparámetros que el modelador desee, dando así la distancia entre ambas superficies que se tiene para que el programa cree la nueva superficie con la continuidad deseada.

Para más información sobre el comando y su funcionamiento consúltese [3].

Cabe destacar que en el comando homólogo de *Generative Shape Design* no está disponible la opción de crear en base a las isoparámetros, por ello es más versátil en este caso la herramienta de *ICEM Shape Design*.

En primer lugar, se creará la superficie de continuidad entre el capó y el parabrisas, para ello se configura el comando *Blend Surface* de la siguiente manera (Figura 291):

- Se toman como bordes de continuidad la isoparamétrica de cada superficie que permita una construcción suave de la nueva geometría, pero respetando las superficies de partida. (Es decir, ni muy pequeña porque la curvatura sería muy extrema ni muy grande puesto que la nueva superficie “se comería” al capó y parabrisas). Para cada isoparamétrica se define su soporte, es decir, la superficie a la que pertenece para crear continuidad (normalmente se selecciona automáticamente al seleccionar la curva).
- Se define continuidad tipo G3 en ambos extremos de la superficie, así como en el inicio y final de cada isoparamétrica.

El resultado obtenido es una superficie nueva e individual, es decir, no recorta las superficies de capó y parabrisas para crear una conjunta (Figura 291). Ese trabajo deberá realizarlo el modelador.

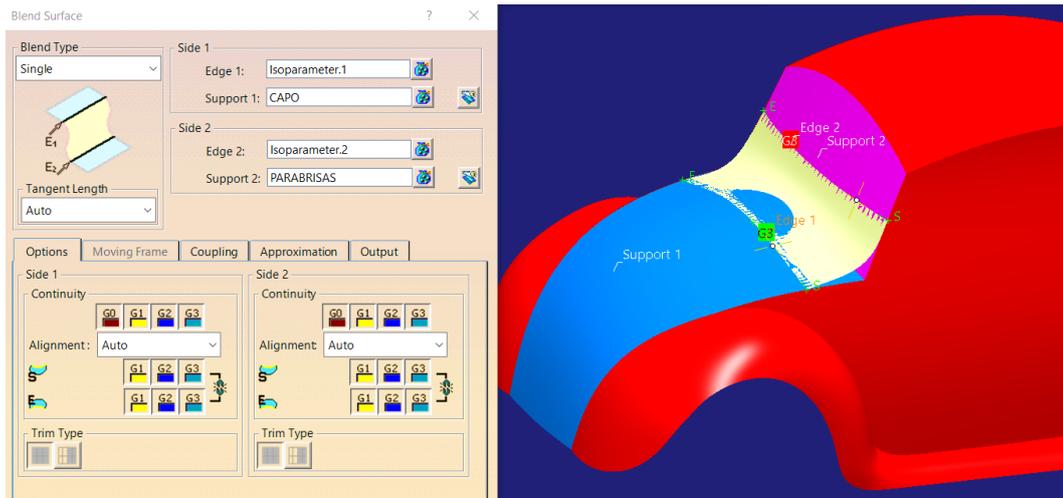


Figura 291. Resultado de la operación de Blend Surface entre capó y parabrisas

A continuación, como se ha anticipado, se ha de cortar el trozo de superficie sobrante de capó y parabrisas a través del comando *Split* (Figuras 292 y 293).

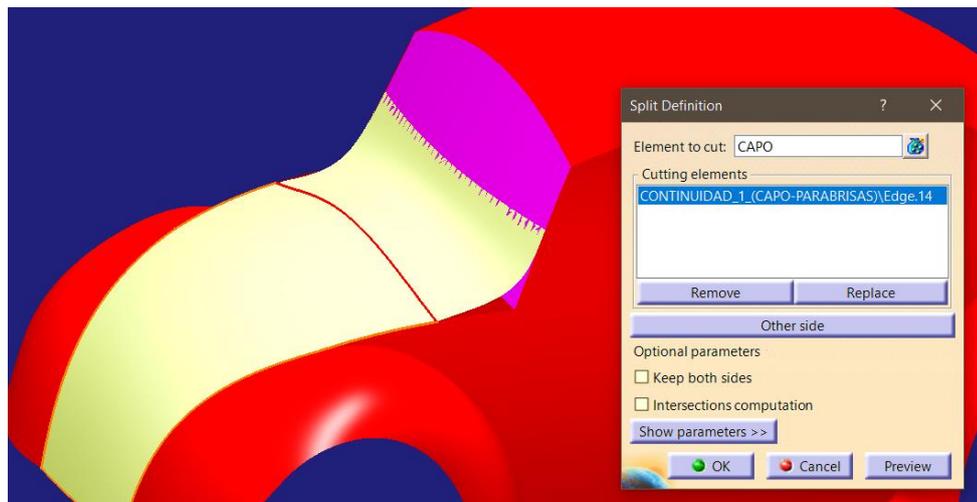


Figura 292. Recorte de la superficie del capó

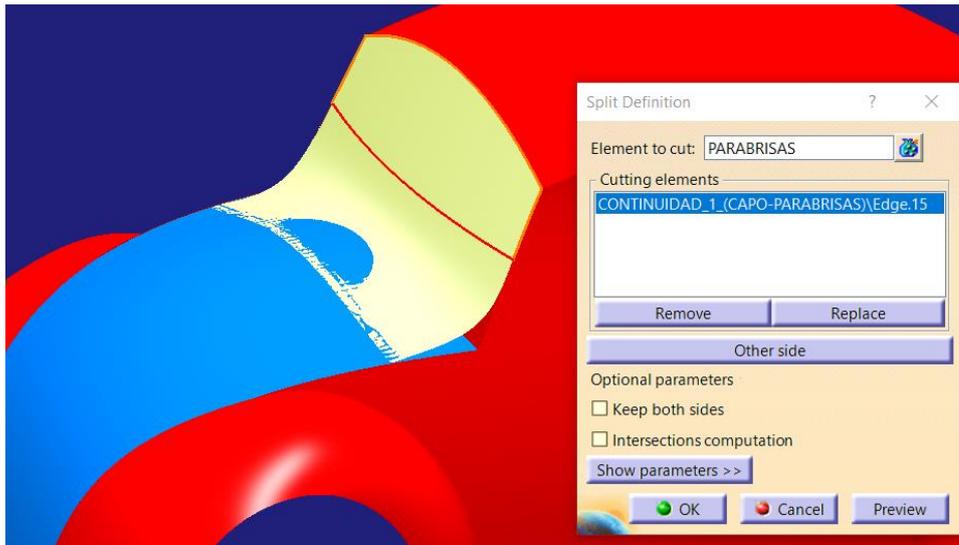


Figura 293. Recorte de la superficie del parabrisas

Del mismo modo se realiza la unión entre el parabrisas y el techo (Figura 294).

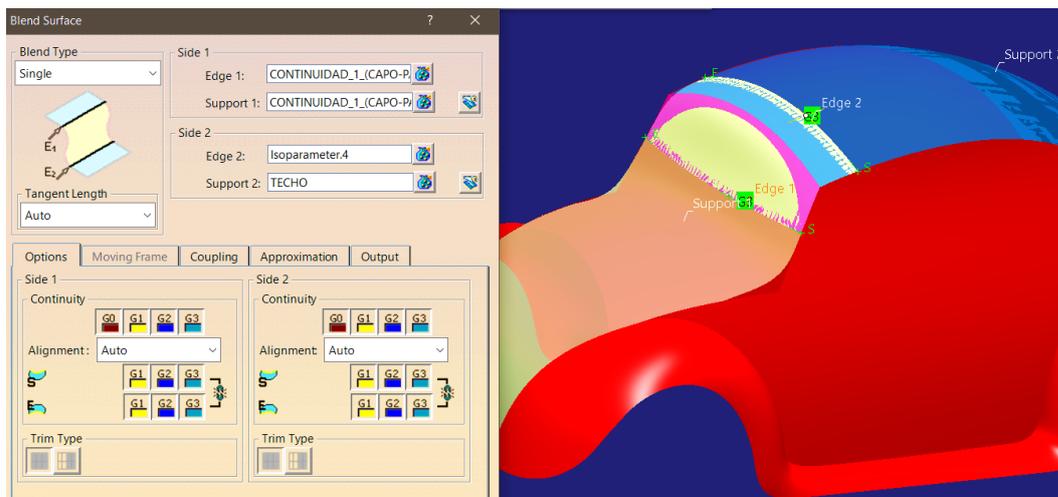


Figura 294. Creación de la superficie continua entre el parabrisas y el techo

Cabe destacar de la Figura 294 el hecho de que en este caso se ha buscado la continuidad entre la superficie de unión anteriormente creada y el techo. En este caso se marca el borde de la superficie de unión y una isoparamétrica del techo para crear la superficie.

De modo que, posteriormente, solo se hace necesario recortar el sobrante del techo (Figura 295). La superficie del parabrisas habría servido de apoyo para crear las continuidades, pero en este paso habría desaparecido del modelo

final puesto que se unirán directamente las dos superficies de unión en continuidad creadas.

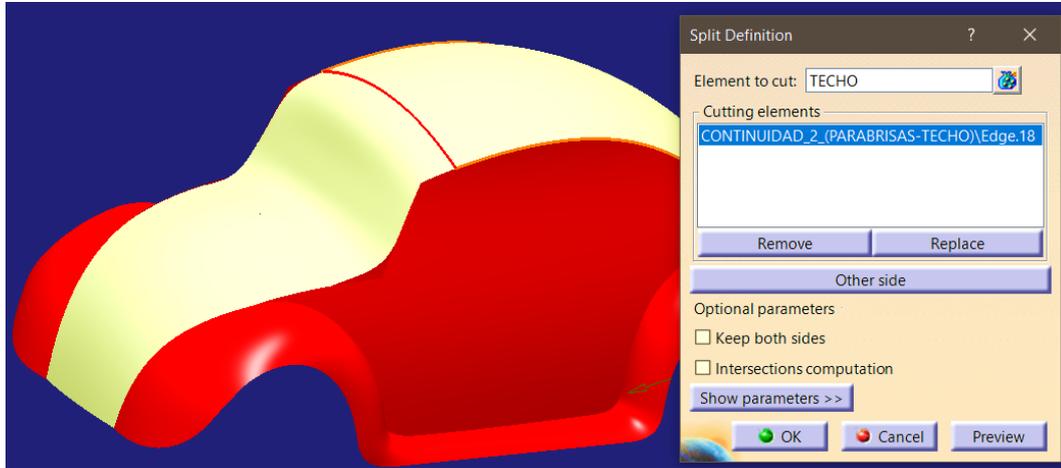


Figura 295. Recorte de la superficie del techo

Finalmente, haciendo uso del comando *Join*, se unen las cuatro superficies resultantes: capó, unión capo-parabrisas, unión parabrisas-techo y techo; formando así la superficie central del vehículo con un buen nivel de continuidad asegurado (Figura 296).

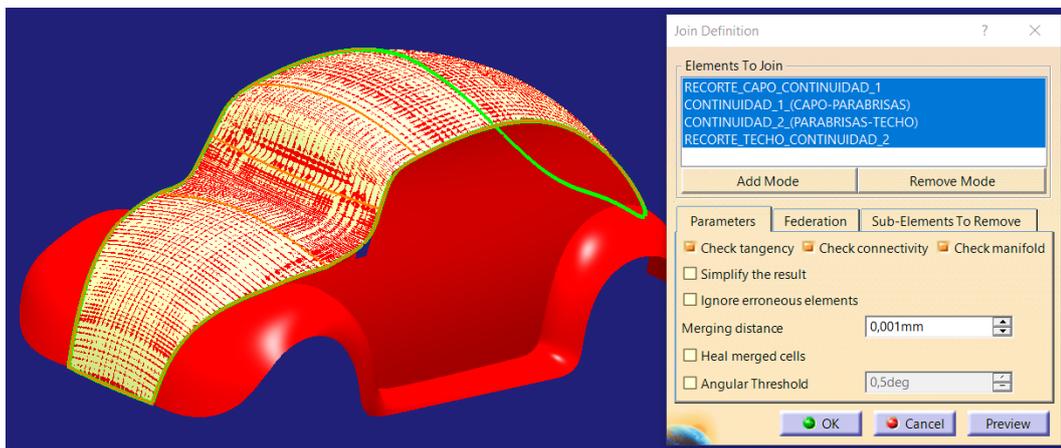


Figura 296. Unión de superficies para crear la superficie central acabada del vehículo

Se realiza un breve análisis de reflejos para evidenciar el acabado superficial en las zonas de unión entre superficies (Figura 297).

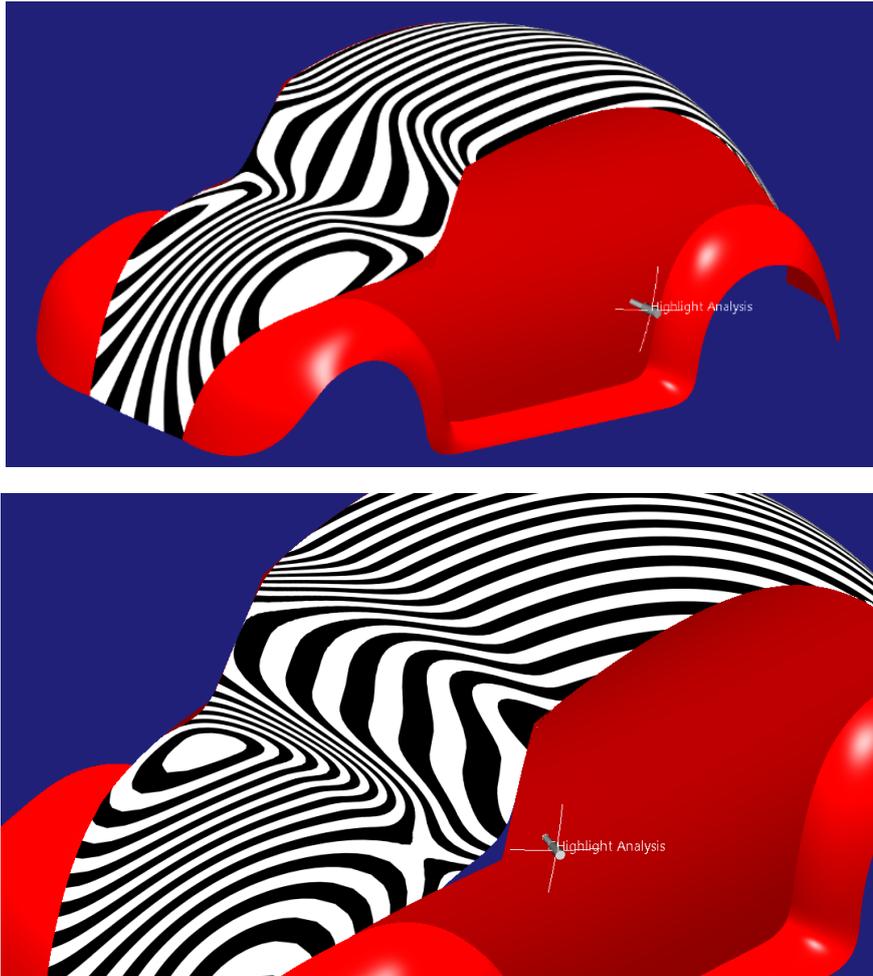


Figura 297. Análisis de reflejos en dos posiciones del foco de luz distintas

Como se aprecia en la figura anterior (*Figura 297*) se ha logrado un buen acabado superficial en las zonas de unión.

También puede hacerse un análisis de continuidad entre las superficies tratadas en este apartado de modo que se pueda comprobar que efectivamente el programa ha cumplido con lo pedido y ha impuesto una continuidad de tipo G3 entre las superficies (*Figura 298*).

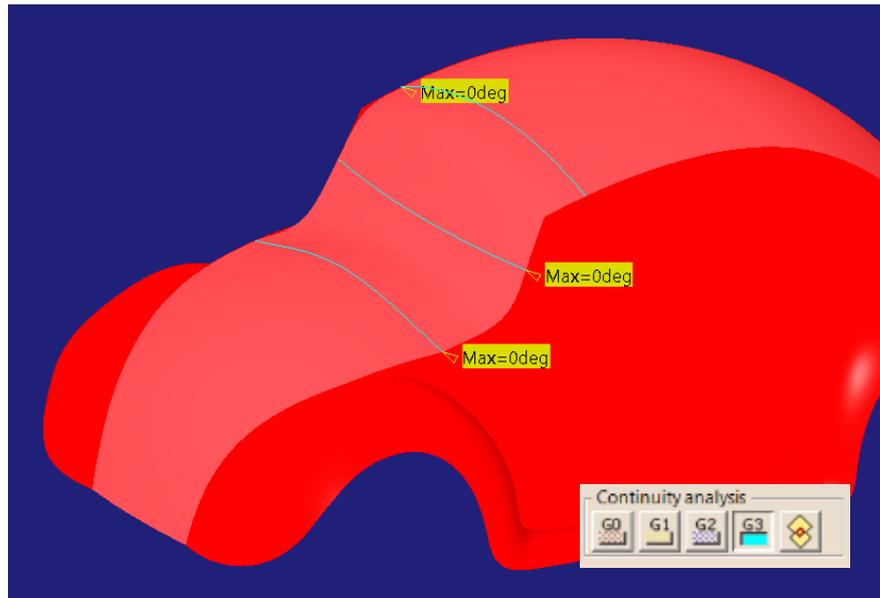


Figura 298. Análisis de continuidad entre superficies a través de la herramienta Connect Checker Analysis

Finalmente se destaca un aspecto que puede hacer llamar la atención (Figura 299). Se han creado “fisuras” en la zona de unión de capó y parabrisas debido a haber redondeado esa parte donde antes había una arista en la que se adaptaba en forma el lateral.

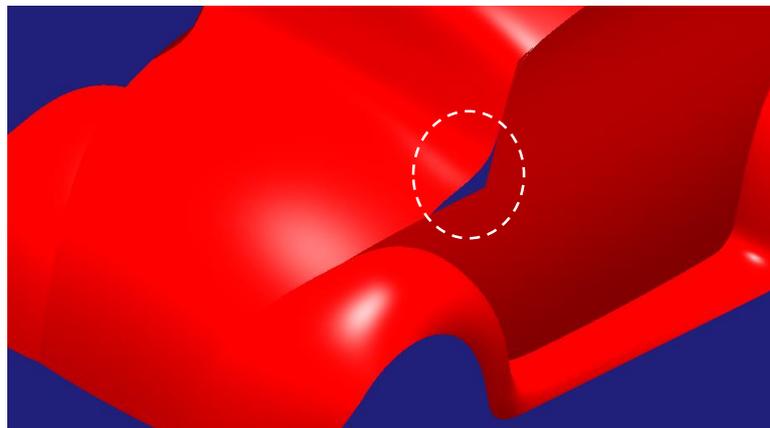


Figura 299. Fisura en la zona de unión entre capó, parabrisas y lateral

Dichas fisuras no deberían suponer un problema a priori, puesto que en pasos posteriores de la mejora del modelo se dará continuidad entre la superficie central y los laterales, de modo que esa continuidad absorberá las fisuras creadas.

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CONTINUIDAD ENTRE CAPÓ, PARABRISAS Y TECHO

- Cuando hay dos comandos que aparentemente hacen lo mismo cuestionarse que geometría de partida necesita cada uno, puesto que, como en este caso, uno de ellos no sea posible utilizarlo con las curvas o superficies de partida que se disponen.
- El comando *Blend Surface* no recorta las superficies de partida, de modo que es el mismo modelador el que debe realizarlo a mano.
- Si se crean brechas de modelado que según la planificación de operaciones posteriores desaparecerán no hay porqué preocuparse.

6.4.3. CONTINUIDAD SUPERFICIE CENTRAL – SUPERFICIES LATERALES

Una vez lograda una superficie central continua el siguiente paso es conseguir la continuidad entre dicha superficie y la carrocería lateral del vehículo.

Será utilizada la herramienta *Styling Fillet* dentro de la paleta *Surface Creation* de *ICEM Shape Design* de *CATIA V5*.

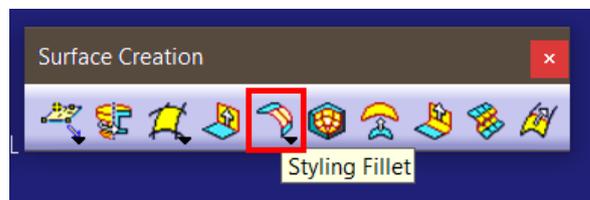


Figura 300. Localización de la herramienta *Styling Fillet* de *ICEM Shape Design*

Esta herramienta es similar a la explicada anteriormente (*Blend Surface*) en cuanto a que permite la creación de superficies de unión entre dos superficies marcadas, ambas útiles para crear redondeos entre aristas con una transición asegurando buena continuidad.

Para más información sobre la herramienta y su funcionamiento véase [3]

Se presentan dos diferencias principales:

- En el caso de *Blend Surface*, tal y como se ha visto, se crea una superficie nueva y las superficies de apoyo no se ven modificadas. En cambio, en el caso de *Styling Fillet* se crea la nueva superficie y el propio

comando se encarga de recortar adecuadamente las superficies de apoyo y unir las.

- En el caso de *Blend Surface*, se toman como entradas al comando las dos curvas entre las que se creará la superficie y el nivel de continuidad deseado. En el caso de *Styling Fillet* se introducen las dos superficies y el radio que se desea que tenga la superficie de redondeo, además del nivel de continuidad. En base a esto, la herramienta corta las superficies por la curva necesaria para lograrlo.

Cabe destacar que, a pesar de las diferencias mencionadas, el uso de la herramienta *Styling Fillet* bien podría haber sido utilizado en Apartado 6.4.2. sin problema. Se habrían creado ciertas “brechas” en las superficies, pero serían absorbidas por la operación de continuidad entre central y lateral que se desarrollará en el presente apartado como veremos a continuación. A pesar de ello, se ha preferido utilizar el comando *Blend Surface* en el apartado 6.4.2. de modo que se puedan apreciar el mayor número posible de comandos a lo largo del presente proyecto y las consecuencias de trabajo que acarrea la decisión que se tome.

A continuación, se presenta el resultado que se habría obtenido habiendo realizado el Apartado 6.4.2. simplemente con dos operaciones de *Styling Fillet* aplicadas a las superficies de capo – parabrisas y parabrisas – techo (*Figura 301*).

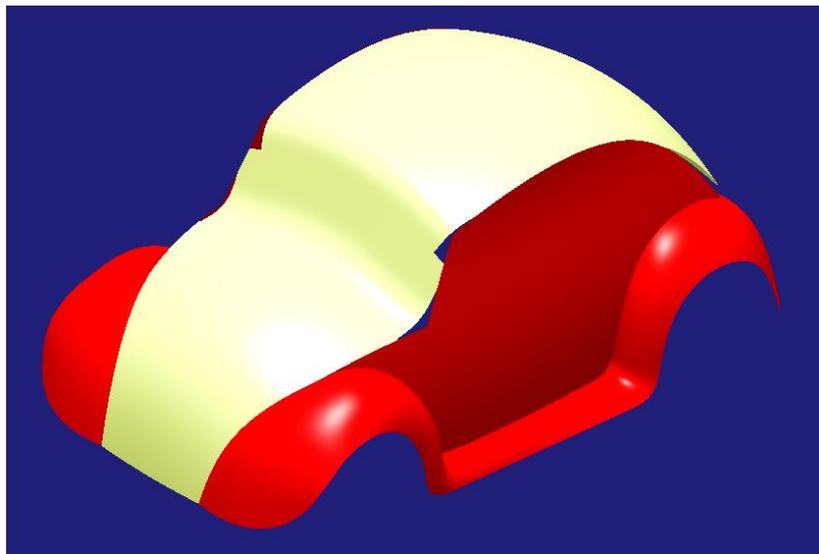


Figura 301. Resultado del Apartado 3.6.2. utilizando Styling Fillet

Tras este breve inciso, y volviendo a la superficie que se está tratando (continuidad entre carrocería central y carrocería lateral), se aplicará el comando *Styling Fillet* en dos ocasiones: una enfocada a la continuidad entre carrocería lateral izquierda y superficie central y otra orientada a la del lado opuesto.

Para ello simplemente se acciona el comando, seleccionado en él las dos superficies a unir, se define el nivel de continuidad más elevado (G3) y se define un radio, en este caso se ha fijado un radio que da resultados aceptables en 75 mm.

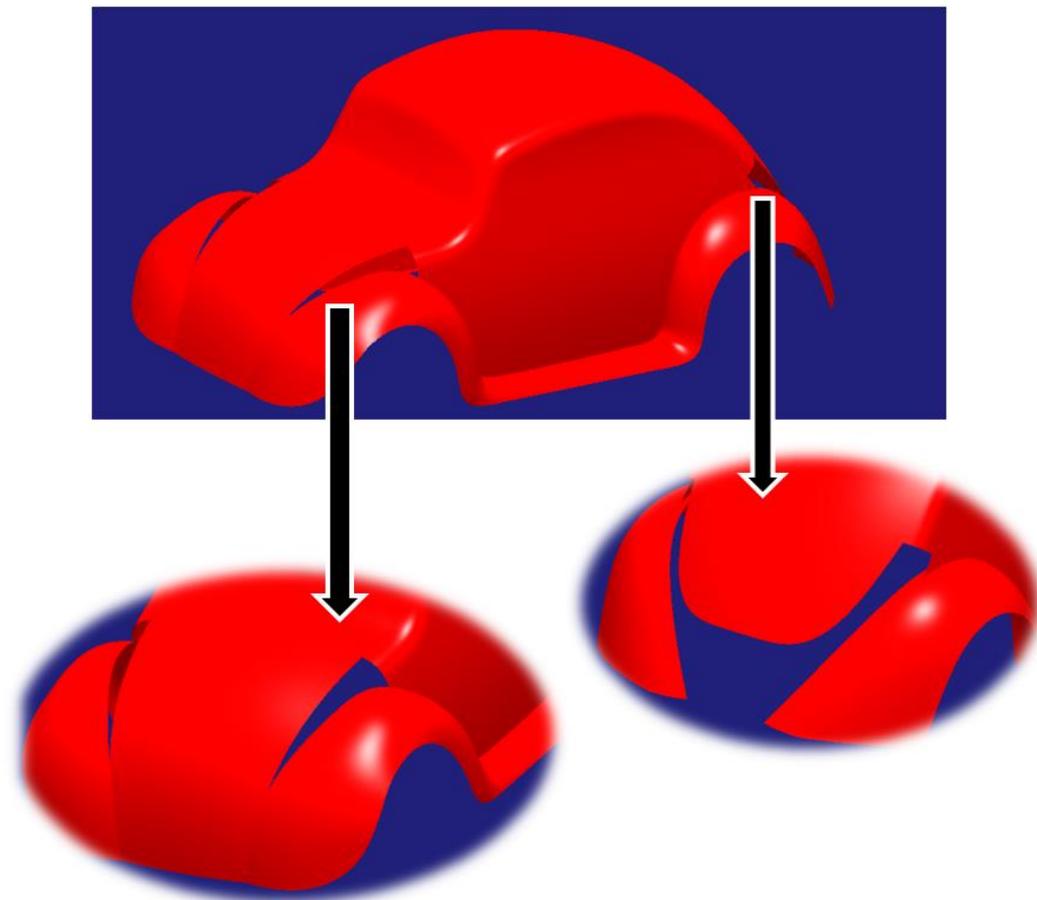


Figura 302. Resultado de la operación de redondeo en la unión entre carrocería central y lateral

Como se puede apreciar en el resultado de la operación anteriormente descrita (*Figura 302*) en las dos vistas de detalle de la figura, el redondeo crea brechas en las superficies que anteriormente no estaban. La situada en la parte trasera es deseable y facilitará el modelado de la parte trasera del vehículo puesto que anteriormente se tenía un espacio de trabajo para esa superficie acabada en vértice (punto conflictivo de cara al modelado de superficies de clase A) que

ahora se ha convertido en un contorno curvo mucho más adecuado para trabajar (Figura 303).

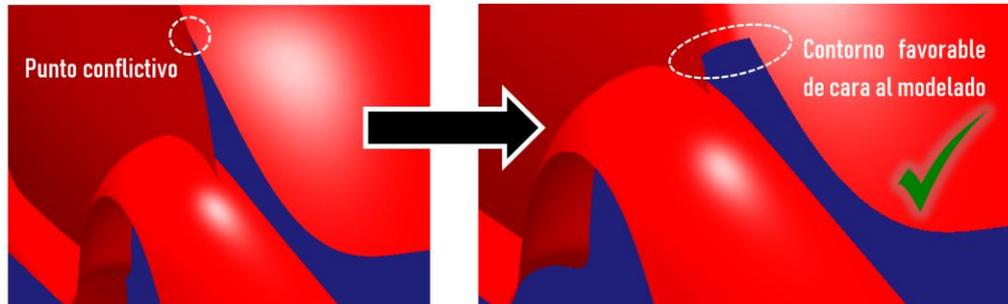


Figura 303. Resultado deseable para trabajar con el embellecedor trasero

Por el contrario, la “brecha” situada en la parte delantera del vehículo es indeseada puesto que rompe la unión continua entre carrocería lateral y capó, además de romper la unión en posición de ambas con el guardabarros delantero. No obstante, esta brecha de modelado puede ser reparada creando una superficie haciendo uso de la geometría colindante que queda tras la operación y controlando muy bien que se está haciendo para conseguir que la continuidad conseguida con el *Styling Fillet* avance por la superficie nueva creada y no se note en absoluto la presencia del “parche” introducido.

Para llevar a cabo el modelado de esta parte se utilizará el comando *Multisection Surface* de la paleta *Surface* de *Generative Shape Design*.

Como se aprecia en la *Figura 304* se utilizará el borde de la superficie de unión entre carrocería lateral y central como sección. En dicha sección se debe marcar explícitamente continuidad en curvatura con la superficie anteriormente mencionada. Por otro lado, se utilizará el contorno del capó tanto como curva espina como curva guía. En este caso también se deberá especificar continuidad en curvatura a través de esta guía con el capó.

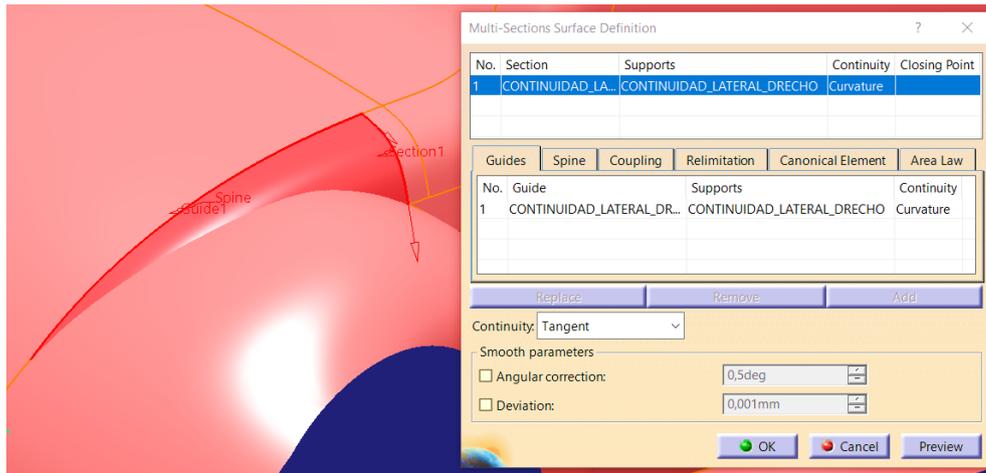


Figura 304. Parcheado de la superficie asegurando continuidad

Del mismo modo se realizaría en lado opuesto, o, aplicando operación de simetría gracias al comando *Symmetry* como se ha realizado en anteriores ocasiones.

A continuación, se evaluará el parche desde un análisis de reflejos aplicado a la zona para dictaminar el acabado de la superficie obtenida (Figura 305):

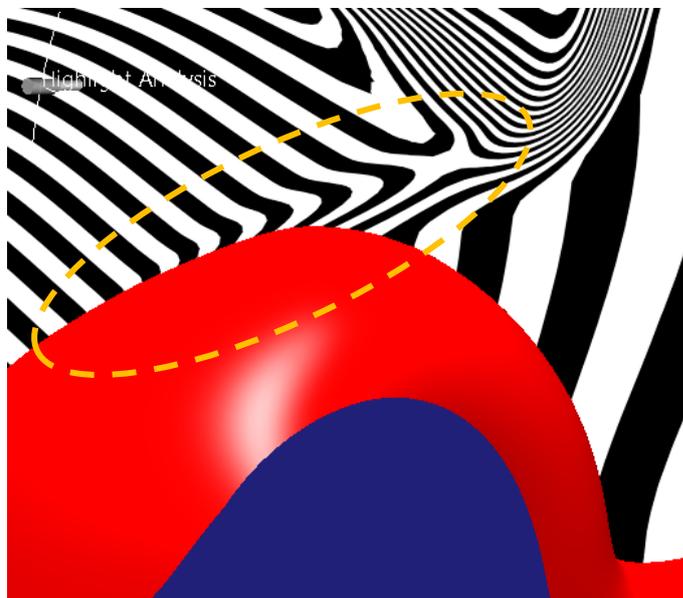


Figura 305. Análisis de reflejos de la zona parcheada del capó

Como se aprecia en la Figura 305, el resultado superficial obtenido se “acopla” con la superficie colindante, siendo imperceptible el parche introducido.

Para finalizar el apartado, se fija la atención en la zona de unión entre guardabarros y el parche creado (*Figura 306*). Se advierte una nueva brecha debida al redondeo creado que antes no aparecía.



Figura 306. Brecha de modelado generada entre el capó y el guardabarros delantero

Para eliminar dicha brecha se modificará el guardabarros delantero haciendo uso de la herramienta *Control Points* (*Figura 307*). No se debe modificar el parche creado puesto que es una superficie menor y creada con exigencias de continuidad. Una pequeña modificación puede hacer desaparecer la continuidad conseguida.

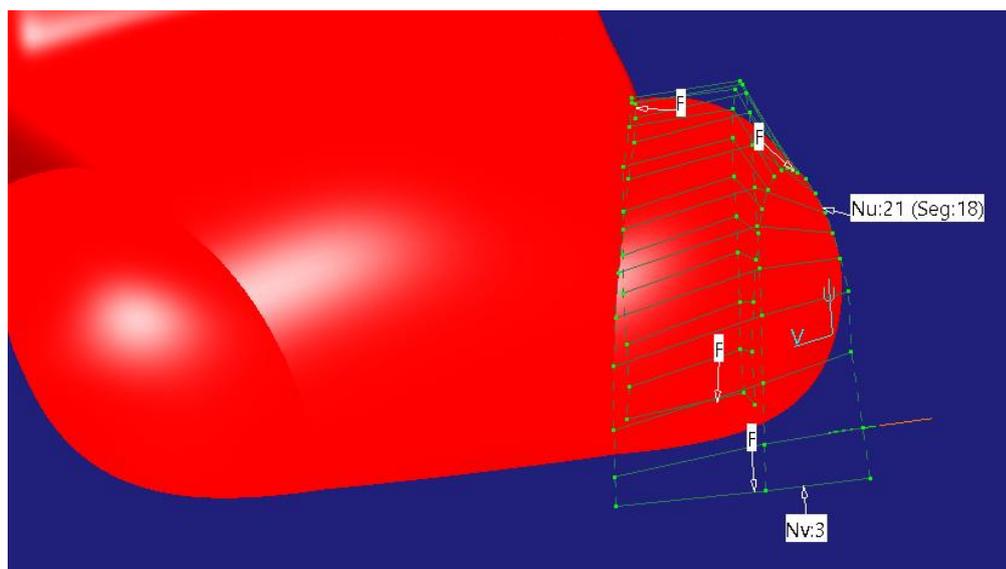


Figura 307. Modificación del guardabarros delantero hasta eliminar la brecha

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CONTINUIDAD ENTRE SUPERFICIES CENTRALES Y SUPERFICIES LATERALES

- A veces se crean brechas de modelado beneficiosas para un posterior modelado.
- Por el contrario, si se aprecian brechas de modelado no deseadas (y que no serán eliminadas por procesos de modelado posteriores) hay que actuar en ellas asegurando que el resultado final sea imperceptible en un análisis de reflejos.
- En el caso de tener que modificar superficies para eliminar una pequeña brecha o imperfección se modifica la superficie con menos restricciones.

6.4.4. SUPERFICIE EMBELLECEDORA DEL MALETERO

Tal y como se planificó en el *Apartado 6.3.*, en cuanto a las superficies secundarias y terciarias de la parte posterior del vehículo se tratará en primer lugar la correspondiente al embellecedor del maletero. (*Figura 305*).

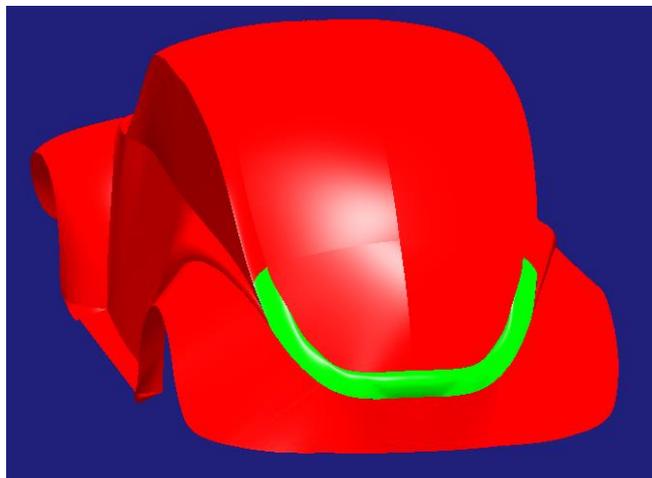


Figura 308. Superficie embellecedora de la parte posterior del vehículo (color verde)

En primer lugar, se van a establecer las condiciones que se desean para dicha superficie. Ha de ser continua con los redondeos de la zona de unión entre superficie central y lateral. Por otro lado, también ha de ser continua con la superficie del techo para crear una transición suave entre ambos (*Figura 309*).

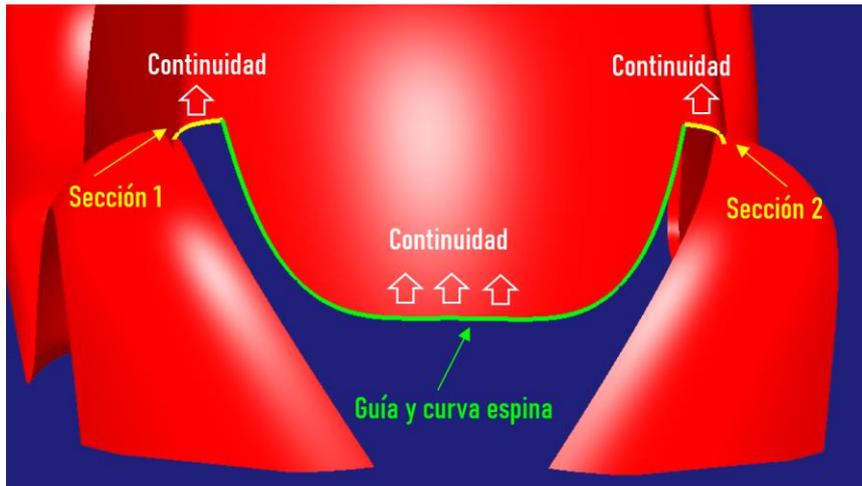


Figura 309. Planificación de la operación de multi-sección para el embellecedor del maletó

Será utilizado el comando ya conocido *Multi-Sections Surface* de la paleta *Surfaces* de *Generative Shape Design* de CATIA V5.

De modo que según lo explicado anteriormente se deben definir los bordes creados al hacer la continuidad central-lateral como secciones y marcar expresamente continuidad en curvatura a través de dichas curvas. Por otro lado, el contorno inferior del techo ha de ser marcado como guía con continuidad a través de ella con el techo y también actuará como curva espina (Figura 310).

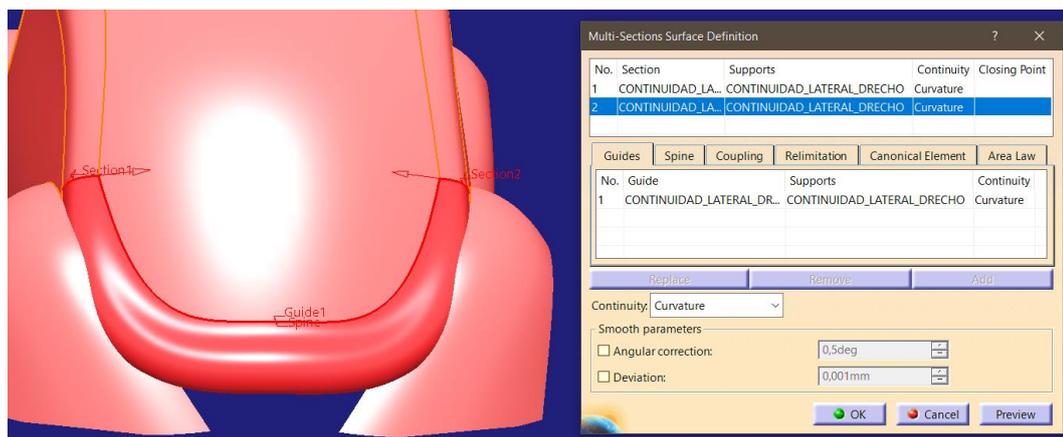


Figura 310. Resultado de la operación

Lo primero que llama la atención, antes de realizar el análisis de reflejos para comprobar la calidad superficial, es la zona de intersección de la nueva superficie con los guardabarros traseros (Figura 311). Aparece una zona no

muy agradable estéticamente caracterizada por un entrante de la superficie del guardabarros en el embellecedor del maletero.

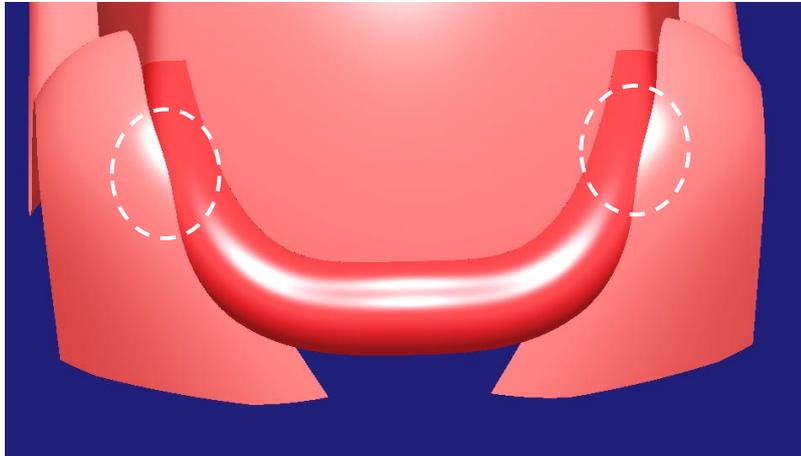


Figura 311. Mal acabado estético en la zona de unión con el guardabarros trasero

- Para solucionar este defecto estético se modifica la forma del guardabarros trasero en dicha zona haciendo uso del comando *Control Points* hasta conseguir un acabado estético de la zona aceptable. (Recuérdese: “En el caso de tener que modificar superficies para eliminar una pequeña brecha o imperfección se modifica la superficie con menos restricciones”).

Llegados a este punto, ya que hay que modificar el guardabarros trasero para eliminar este detalle de calidad, se plantea la cuestión de si será necesaria alguna otra modificación de cara al siguiente modelado, que será el de la superficie que une los guardabarros traseros en la parte inferior del vehículo.

Tal y como se encuentran actualmente los guardabarros se puede apreciar que en la parte central del vehículo la superficie se curva hacia la parte delantera del vehículo, de modo que si posteriormente se crea una superficie continua entre ambos guardabarros esta deberá “retorcerse mucho para adaptarse” (Figura 312). En cambio, si se le da una forma más plana esa adaptación será más suave.

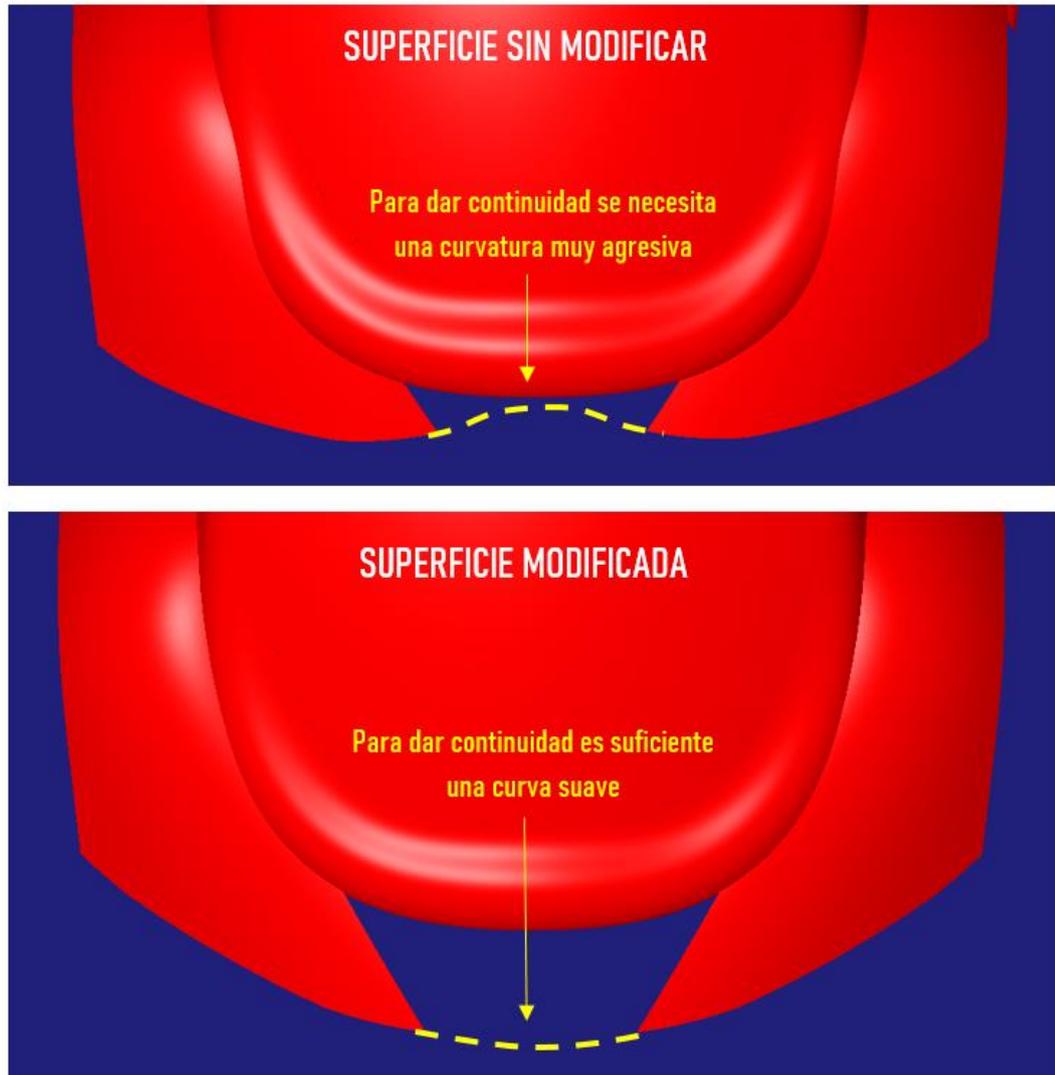


Figura 312. Consecuencias de modelado de no modificar la superficie del guardabarros o sí hacerlo

Esta acción que acaba de realizarse es muy recomendable en el modelado de superficies de clase A: “Cuando haya que modificar una superficie por el motivo que fuere es una buena acción pararse a pensar si ha de ser modificada también para un mejor modelado posterior, bien sea para aprovechar la operación de modificación o bien porque la modificación actual dificulte o imposibilite operaciones posteriores”.

Una vez modificada la superficie el resultado es el presentado en la Figura 313, en el cuál se ha conseguido un mejor acabado estético de la zona de unión con el embellecedor del maletero y una mejor transición para la superficie inferior del vehículo.

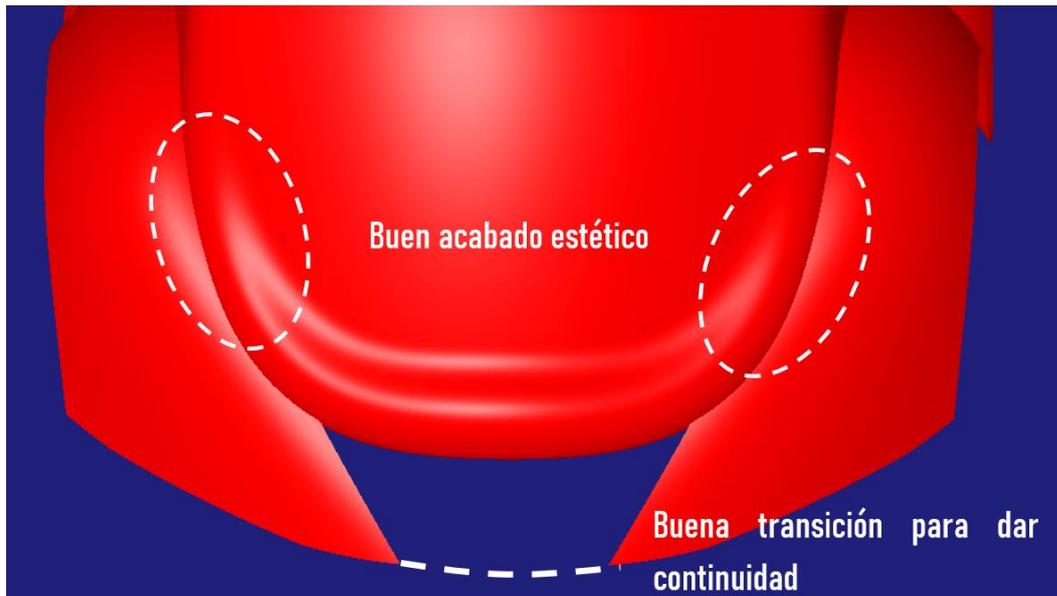


Figura 313. Resultado final con la superficie de los guardabarros modificada

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → EMBELLECEDOR DE MALETERO

- Asegurar las continuidades con las superficies necesarias.
- Antes de realizar una operación es una buena costumbre pensar en cómo afectará esta en posteriores trabajos sobre el modelo, ya sea para aprovechar la operación y tratar de dejar la pieza en una posición o forma favorable o para abortar la operación si esta dificulta el trabajo posterior.
- Ser detallista con la forma en que combinan estéticamente superficies colindantes.
- *En el caso de tener que modificar superficies para eliminar una pequeña brecha o imperfección se modifica la superficie con menos restricciones*

6.4.5. SUPERFICIE INFERIOR TRASERA.

A continuación, se finaliza el modelado de la parte trasera del vehículo con la superficie que resta: la superficie de unión entre guardabarros traseros, que define la forma trasera inferior de la carrocería del vehículo. Dicha superficie

ha de poseer continuidad con sendos guardabarros, no siendo así con el embellecedor del maletero creado en el paso anterior (*Figura 314*).

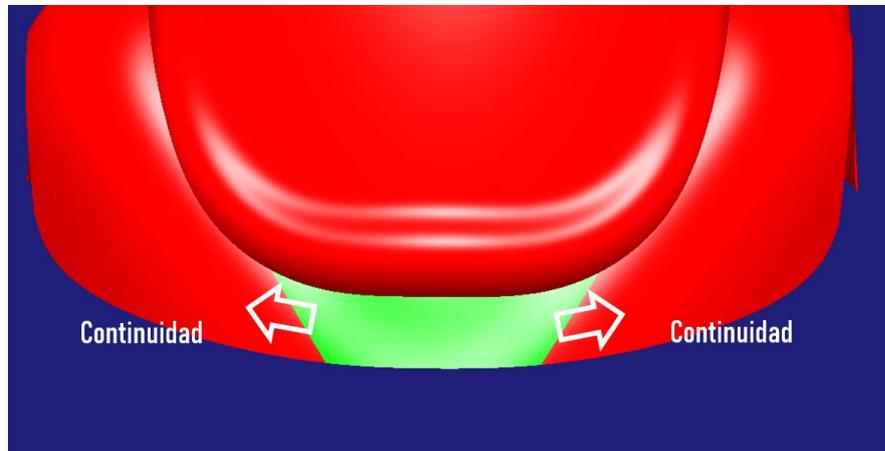


Figura 314. Planificación de la superficie

Al poseer dos superficies a unir con continuidad lo más lógico es usar el comando *Blend Curve* de *ICEM Shape Design*, en este caso definido entre dos bordes extremos de las superficies en lugar de isoparamétricas puesto que las superficies están distanciadas una de otra.

Llegados a este punto se hace necesario hacer un inciso sobre los bordes extremos a través de los cuales se dará continuidad a las superficies. Seleccionando el contorno total del guardabarros se seleccionará este al completo, desde el inicio del guardabarros hasta el final de este. Esto resulta algo indeseable puesto que esto creará una superficie continua a lo largo de todo el guardabarros (*Figura 315*) y lo que se desea es únicamente en la zona inferior de este. De modo que si se desea posteriormente modificar la superficie resulta mucho más cómodo trabajar solamente con el tramo que interesa que con una gran parte que no va a influir en el modelo.

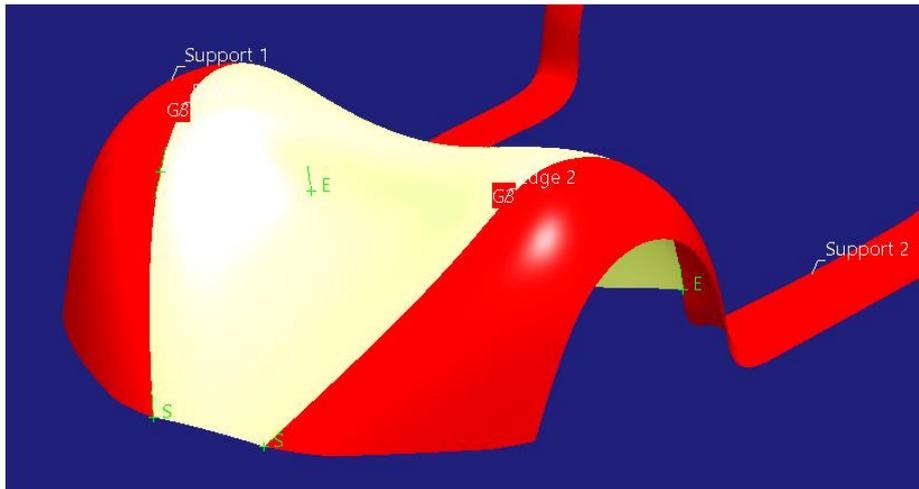


Figura 315. Resultado de Blend Curve con todo el contorno del guardabarros trasero

Por ello se ha de conseguir que solo se tome el tramo de borde exterior que el modelador desee. Para ello, es el mismo modelador el que debe prepararlo para que así sea.

Dicha preparación pasa por, en primer lugar, extraer el borde del guardabarros (Comando *Extract* de *Generative Shape Design*) (Figura 316).

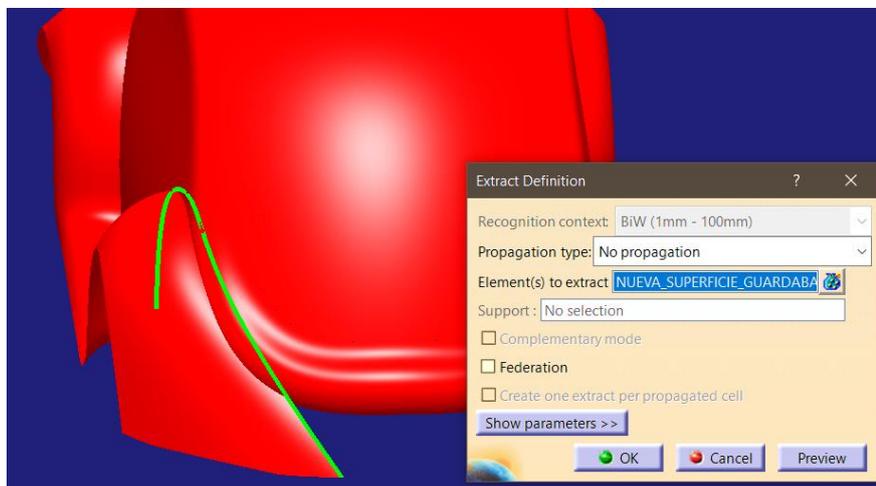


Figura 316. Extracción del borde exterior del guardabarros

A continuación, se recorta dicho borde con el embellecedor del maletero (Comando *Split* de *ICEM Shape Design*), puesto que llegando hasta dicha superficie es suficiente para aplicar el comando *Blend Curve* y que se cierre el modelo (Figura 317).

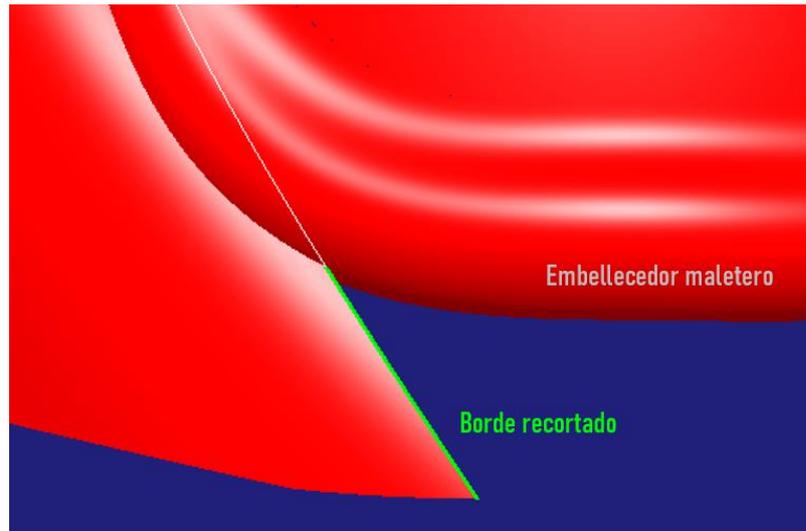


Figura 317. Recorte del borde extraído

Realizando lo mismo en el lado contrario, o mejor, aplicando la herramienta de simetría (Comando *Symmetry*) se obtiene el borde opuesto preparado.

Finalmente, solo resta aplicar el comando *Blend Surface*. Se definen ambos bordes con continuidad tipo G3 con sus guardabarros correspondientes (Figura 318).

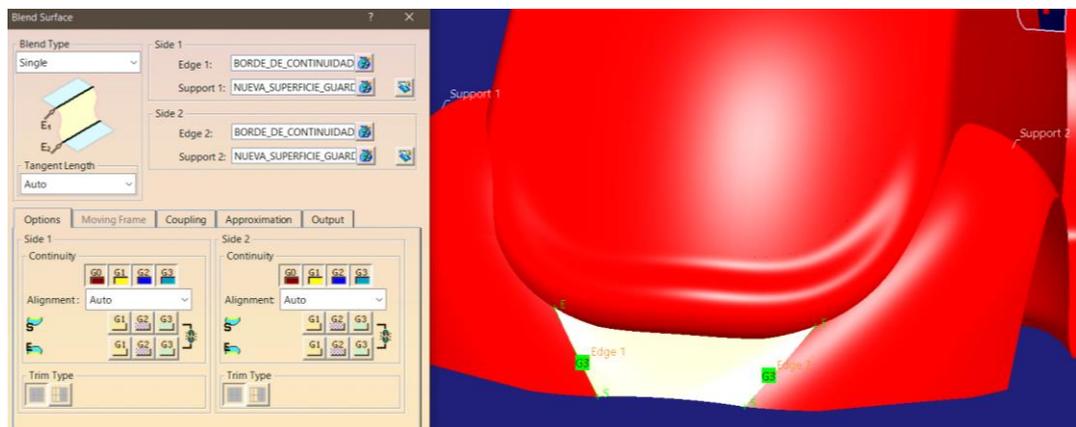


Figura 318. Operación de Blend Curve para la carrocería inferior trasera

Ahora bien, hay que adaptar en forma la superficie obtenida, puesto que como se aprecia con detalle en la Figura 319 no cierra el modelo con el embellecedor.



Figura 319. Falta de ajuste con embellecedor del maletero

Se debe adaptar hasta que corte con el embellecedor. Se hará uso del comando *Control Points*, pero, en este caso hay que prestar especial atención a los puntos de control que se modifican puesto que es una superficie continua en dos de sus extremos. Se ha de conseguir modificar sin que se pierda dicha continuidad.

Para ello se ha de tener claro que para la continuidad tipo G3 gobiernan las cuatro filas de puntos de control más próximas a la superficie con continuidad, dichas filas no pueden ser modificadas o se perderá la continuidad. Este resultado se extrapola a las demás continuidades y se organiza en el siguiente esquema:

- Para mantener la continuidad tipo G3 o en curvatura tangente, no se debe modificar la cuarta fila de puntos de control más próxima al borde donde se desea dicha continuidad ni las inferiores, siendo todas las demás filas (de la quinta en adelante) modificables sin temor a perder la continuidad tipo G3.
- Para mantener la continuidad tipo G2 o en curvatura, no se debe modificar la tercera fila de puntos de control más próxima al borde donde se desea dicha continuidad ni las inferiores, siendo todas las demás filas (de la cuarta en adelante) modificables sin temor a perder la continuidad tipo G2.
- Para mantener la continuidad tipo G1 o en tangencia, no se debe modificar la segunda fila de puntos de control más próxima al borde donde se desea dicha continuidad ni la inferior, siendo todas las demás filas (de la tercera en adelante) modificables sin temor a perder la continuidad tipo G1.

- Para mantener la continuidad tipo G0 o de posición, no se debe modificar la primera fila de puntos de control más próxima al borde donde se desea dicha continuidad, siendo todas las demás filas (de la segunda en adelante) modificables sin temor a perder la continuidad tipo G0.

Los puntos anteriormente descritos se ejemplifican en las Figuras 326, 327, 328 y 329.

En este caso (superficie de la carrocería inferior trasera con continuidad tipo G3 con sendos guardabarros traseros) no se podrán modificar las cuatro filas de puntos de control situadas más a la izquierda y las cuatro filas de puntos de control situadas más a la derecha. Si no fuesen suficientes las filas modificables es posible aumentar el número de puntos de control en la dirección correspondiente. Se explica con más detalle a continuación:

- Del resultado de la operación de Blend Surface se obtiene una superficie con continuidad de tipo G3 en ambos extremos (izquierdo y derecho) como se aprecia en la Figura 320.

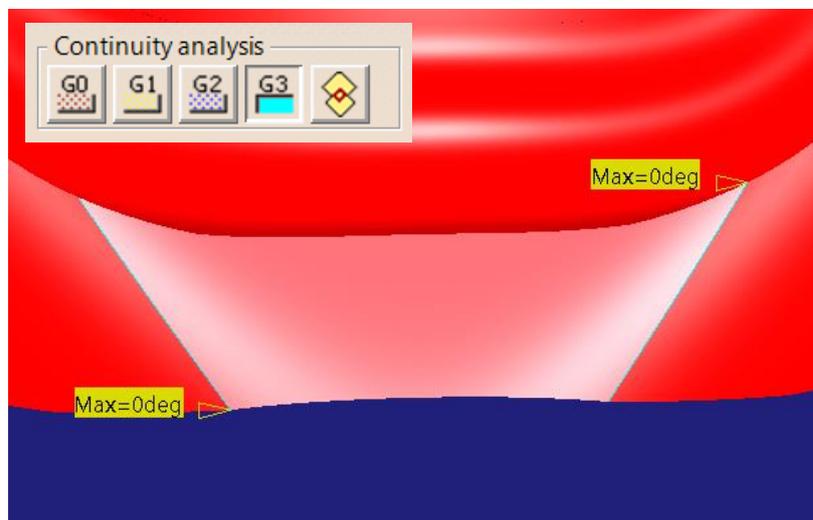


Figura 320. Superficie resultante de la operación Blend Surface con continuidad G3

Dicha superficie está formada, en origen (según se obtiene de la operación de Blend Surface, por 8 filas de puntos de control en dirección U, de modo que si 4 de ellas (las situadas más a la izquierda) no pueden ser modificadas para no perder la continuidad G3 con el guardabarros izquierdo y, las 4 restantes (las

situadas más a la derecha) tampoco pueden ser modificadas para no perder la continuidad G3 con el guardabarros derecho, entonces en este caso no se dispone de puntos de control para modificar la superficie (Figura 321).

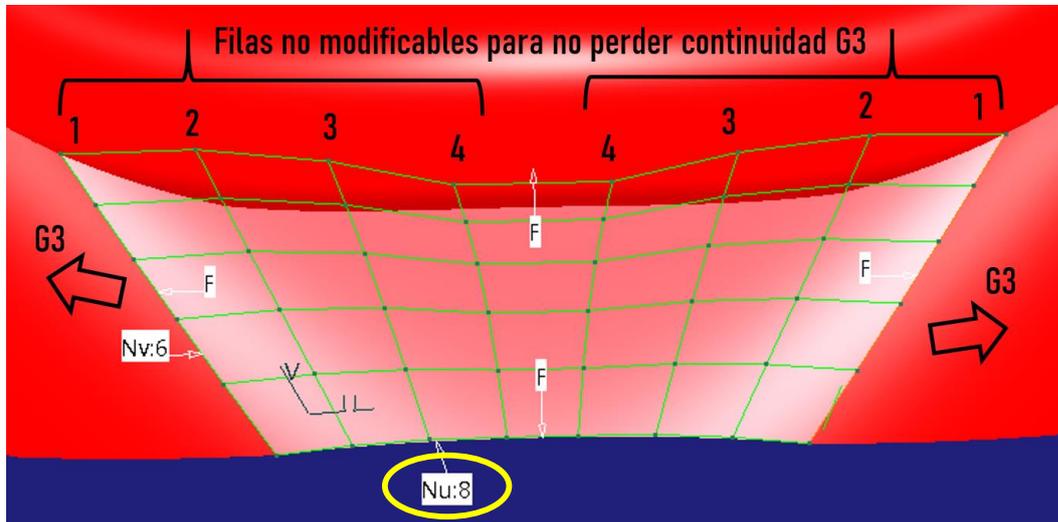


Figura 321. Filas de puntos de control modificables para mantener continuidad en la superficie creada para la carrocería inferior trasera

Entonces, para poder disponer de puntos de control modificables se debe aumentar el número de filas de estos en dirección U, en este caso se han aumentado a 12, por ejemplo (Figura 322).

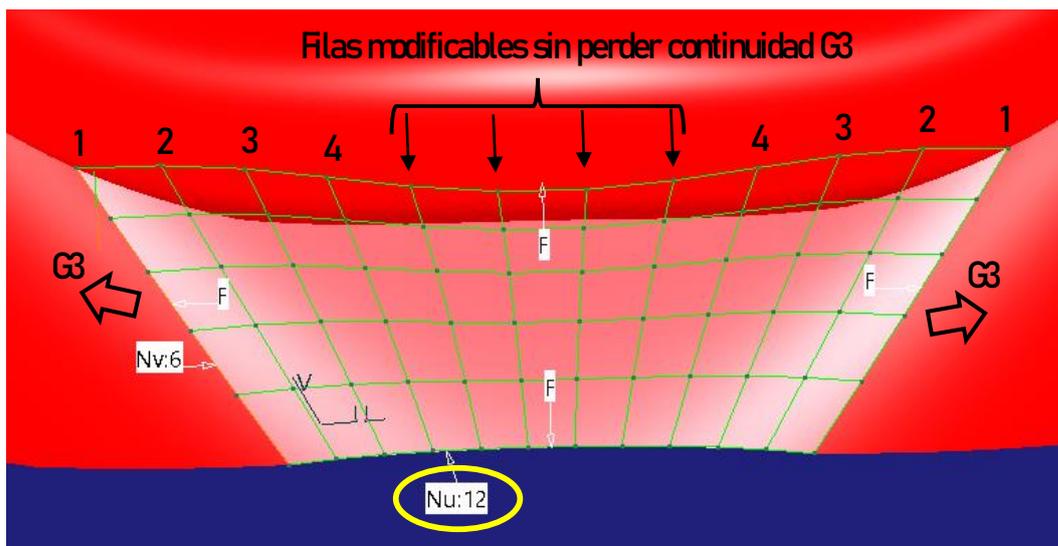


Figura 322. Aumento de las filas de puntos de control en dirección U para poder modificar la superficie sin perder continuidad

Cabe destacar que un aumento de filas de puntos de control no supone un problema de pérdida de continuidad, por supuesto, de hecho, como se ha dicho, las filas puntos de control “extra” son modificables sin pérdida de continuidad. El problema está en quitar filas de puntos de control. Si se reduce dicho número por debajo del mínimo necesario es imposible asegurar continuidad. Por ejemplo, en el caso de la *Figura 320*, se requería continuidad tipo G3 en ambos extremos, de modo que son necesarias 8 filas de puntos de control (4 para la continuidad con el borde derecho y 4 para la continuidad con el borde izquierdo). De hecho, el programa aportó solución (*Figura 321*) con el mínimo número de filas en dirección U.

Si, por ejemplo, se requiere una superficie continua con otras dos, en una de ellas con continuidad G1 y en la otra con continuidad tipo G2, se requieren 5 filas de puntos de control (2 filas de puntos de control en la unión con la primera y 3 filas en la unión con la segunda) (*Figura 323*).

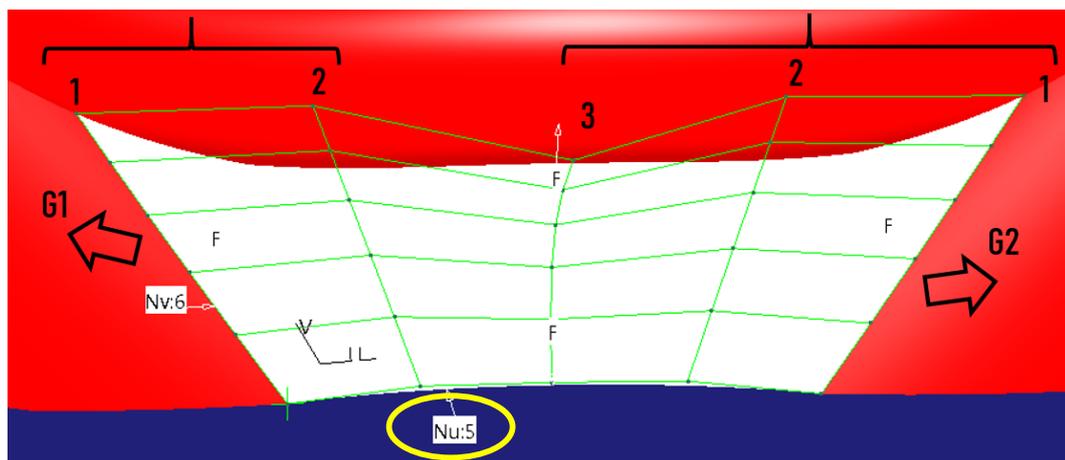


Figura 323. Ejemplo de cálculo de puntos de control necesarios para ciertos niveles de continuidad

Volviendo al caso de la carrocería inferior trasera, se ha dicho que se necesitaban 8 filas de control en total. De modo que si, por ejemplo, se reducen a 7, el resultado ya no conserva la continuidad exigida (*Figura 324*).

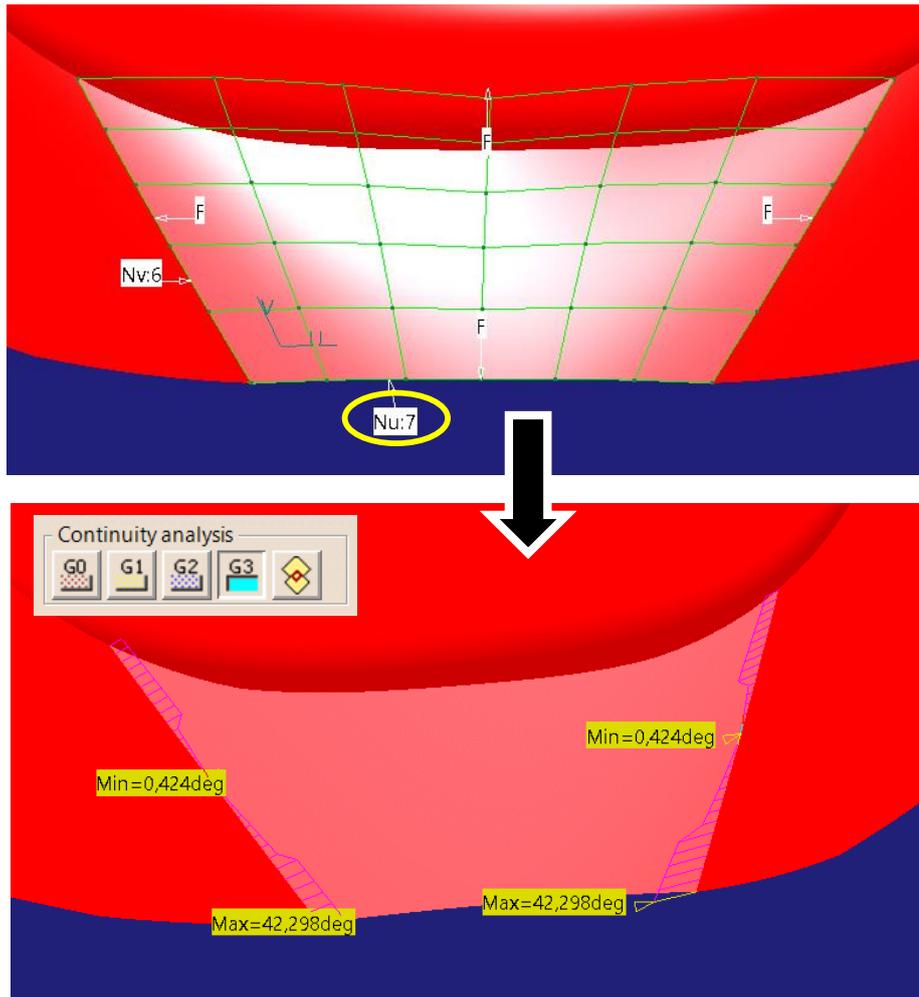


Figura 324. Reducción del número de filas de puntos de control por debajo del necesario (arriba) y las consecuencias de pérdida de continuidad G3 exigida

Ahora se verá el efecto de modificar las filas de puntos de control de la *Figura 322*. La superficie que en dicha figura se presenta está formada por 12 filas de puntos de control en dirección U, de modo que, como para lograr la continuidad son necesarios 8 de ellos, hay 4 filas de puntos de control modificables.

- En primer lugar, se modifica la 5ª fila de puntos de control contando desde la izquierda (*Figura 325*).

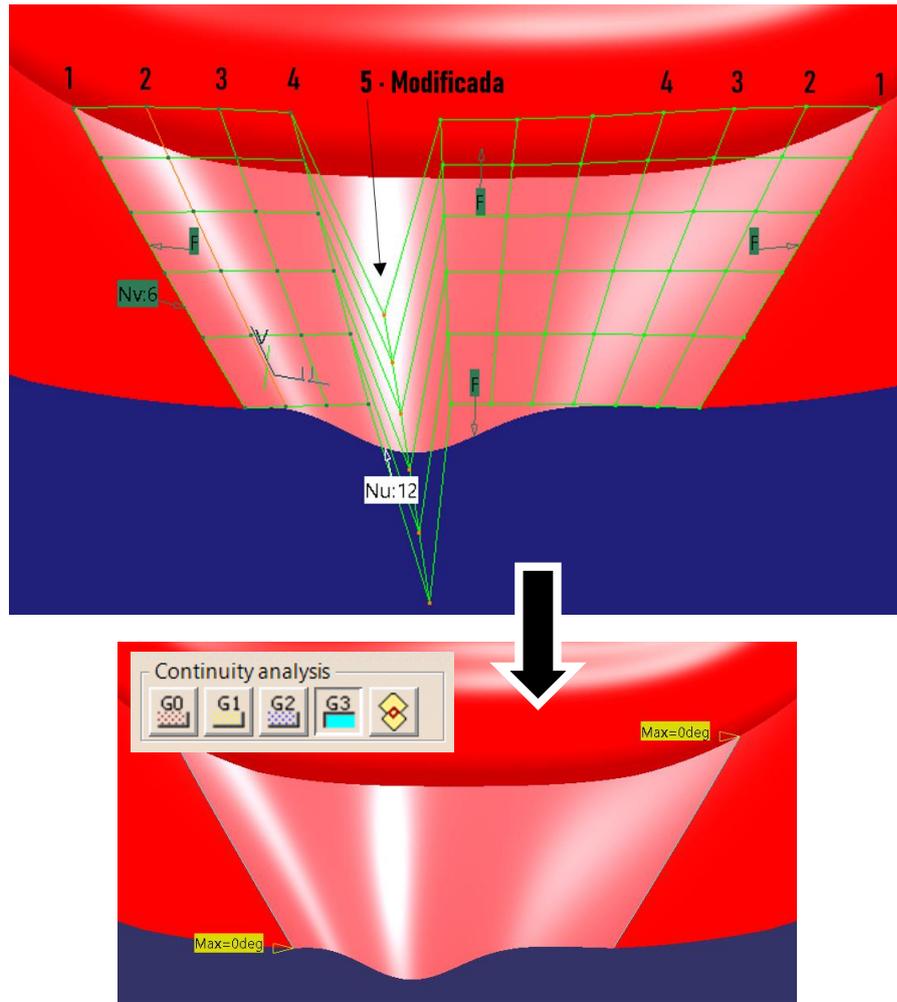


Figura 325. Modificación de la 5ª fila de puntos de control

Como se aprecia en la Figura 325, la modificación de la 5ª fila de puntos de control permite una modificación de la superficie sin perder continuidad de tipo G3, puesto que, para este tipo de sollicitación, es hasta la fila cuarta las que no pueden ser modificadas como se explicó anteriormente.

- A continuación, se modificará la 4ª fila de puntos de control contando desde la izquierda (Figura 326).

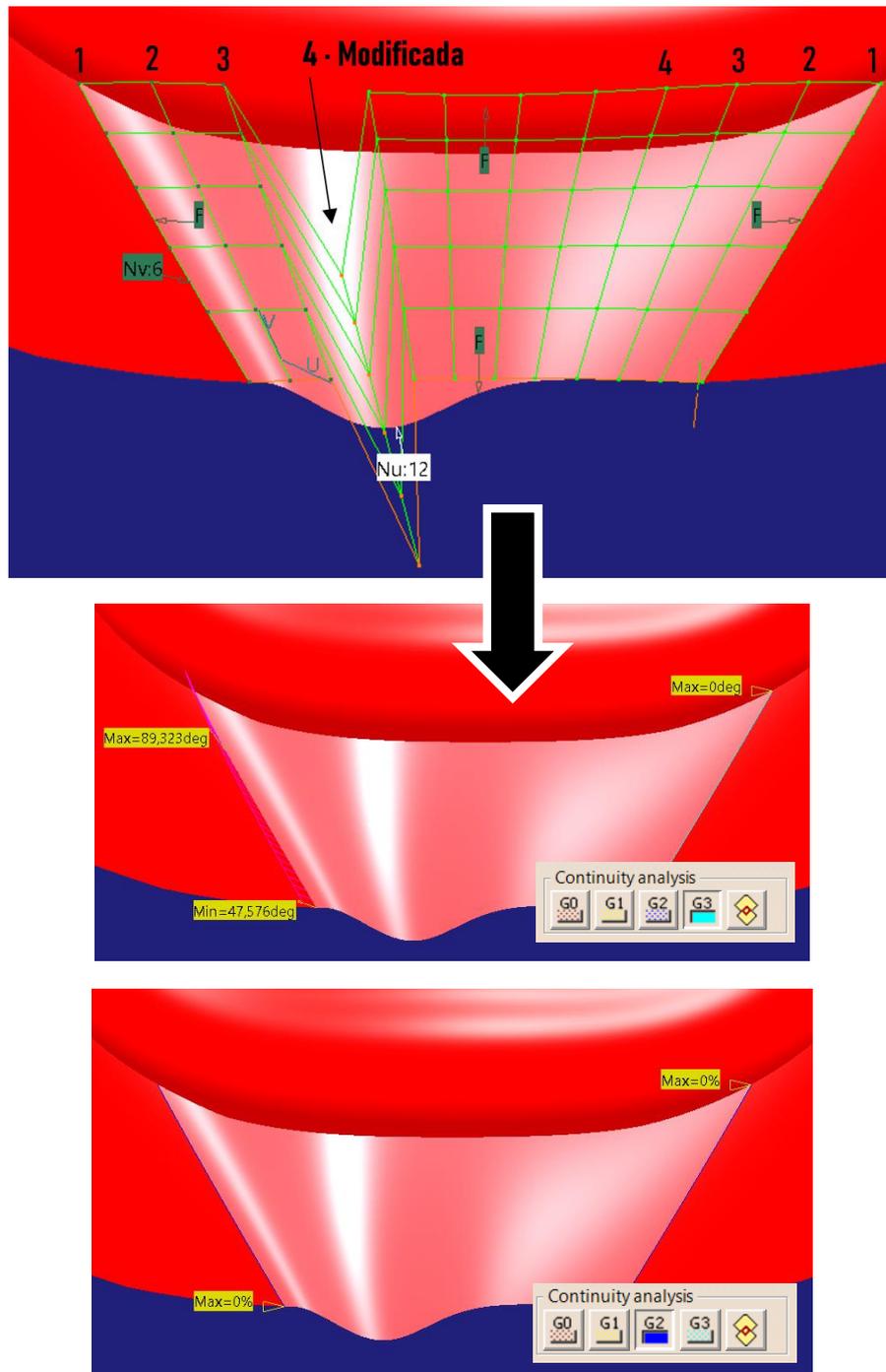


Figura 326. Modificación de la 4ª fila de puntos de control

Como se aprecia en la *Figura 326*, al modificar la cuarta fila de puntos de control contando desde la izquierda se pierde la continuidad G3 en dicho extremo, es decir, con el guardabarros izquierdo. Se ha mantenido la continuidad de rango inferior (G2) puesto que la tercera fila no ha sido modificada. En la parte derecha, como no se ha modificado nada se sigue manteniendo la continuidad G3.

- En siguiente lugar, se modificará la 3ª fila de puntos de control contando desde la izquierda (*Figura 327*).

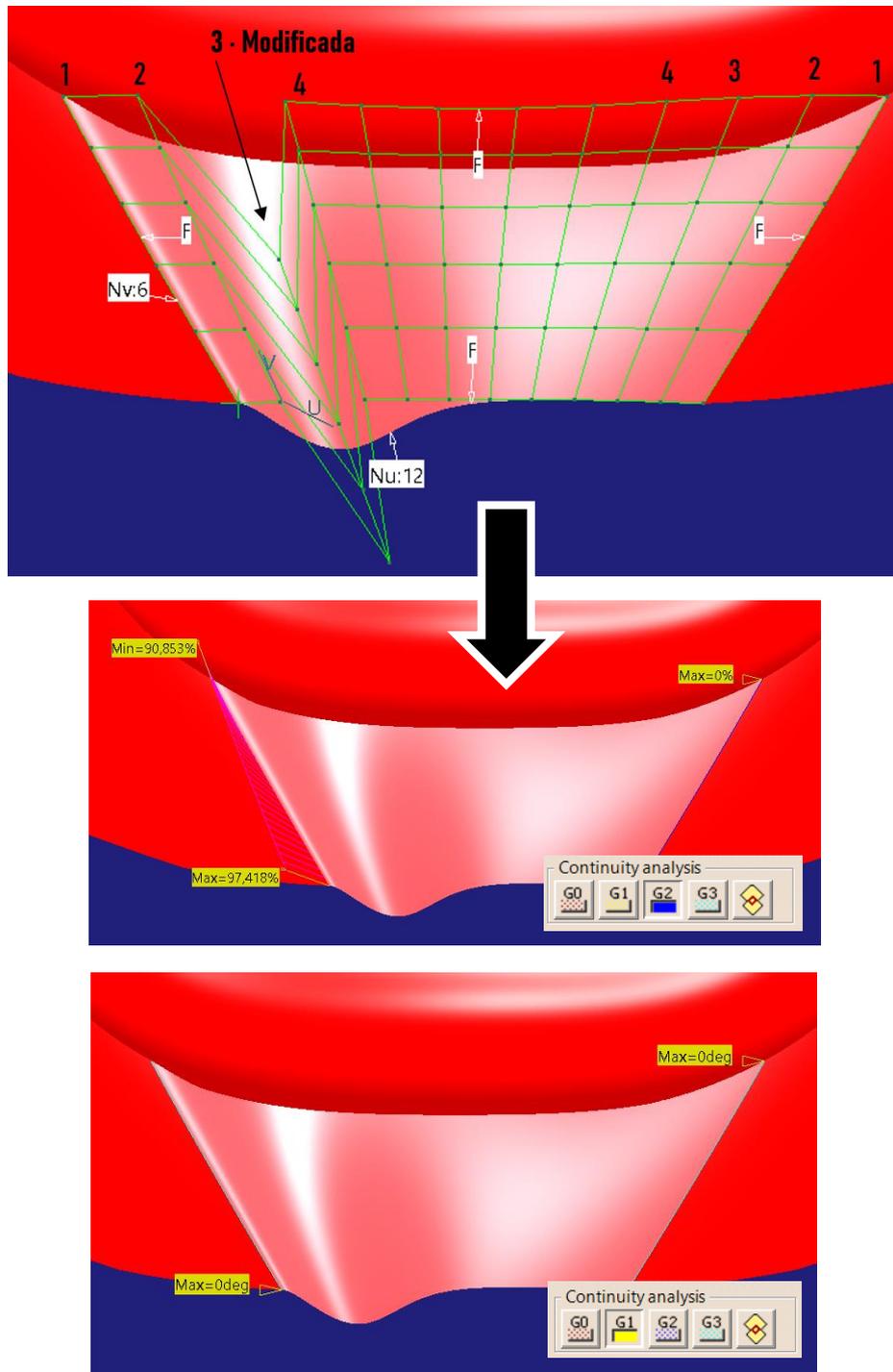


Figura 327. Modificación de la 3ª fila de puntos de control

Como se aprecia en la *Figura 327*, al modificar la tercera fila de puntos de control contando desde la izquierda, se pierde la continuidad en curvatura (G2) en dicho extremo, y por supuesto también en curvatura tangente (G3) permaneciendo la continuidad de rango inferior en dicho extremo (tangencia, G1) ya que la segunda fila de puntos de control no se ha visto modificada. En el lado derecho (unión con guardabarros derecho) se mantiene la continuidad G3 intacta (no se presenta en la figura) ya que las cuatro filas de puntos de control que gobiernan esa continuidad no han sido modificadas.

- A continuación, se modifica la 2ª fila de puntos de control contando desde la izquierda (*Figura 328*).

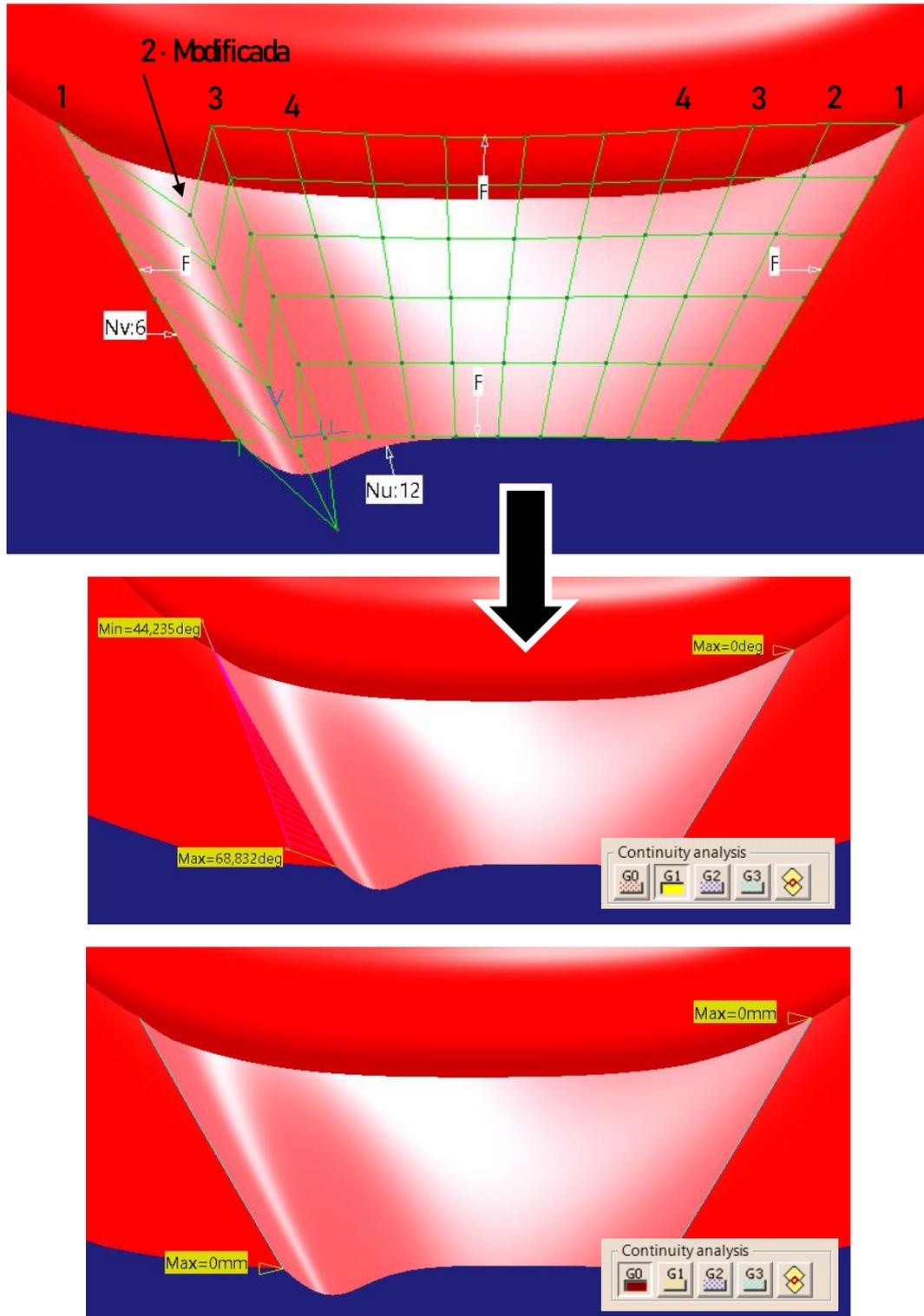


Figura 328. Modificación de la 2ª fila de puntos de control

Como se aprecia en la Figura 328, al modificar la segunda fila de puntos de control en el extremo izquierdo se pierde la continuidad en tangencia (G1) y, por supuesto, las de nivel superior, con el guardabarros izquierdo,

permaneciendo la continuidad en posición (gobernada por la primera fila de puntos de control). En el lado opuesto (unión con el guardabarros derecho) al no haberse modificado nada permanece la continuidad de tipo G3 (no se representa en la figura).

- Por último, se modifica la 1ª fila de puntos de control comenzando desde la izquierda (Figura 329).

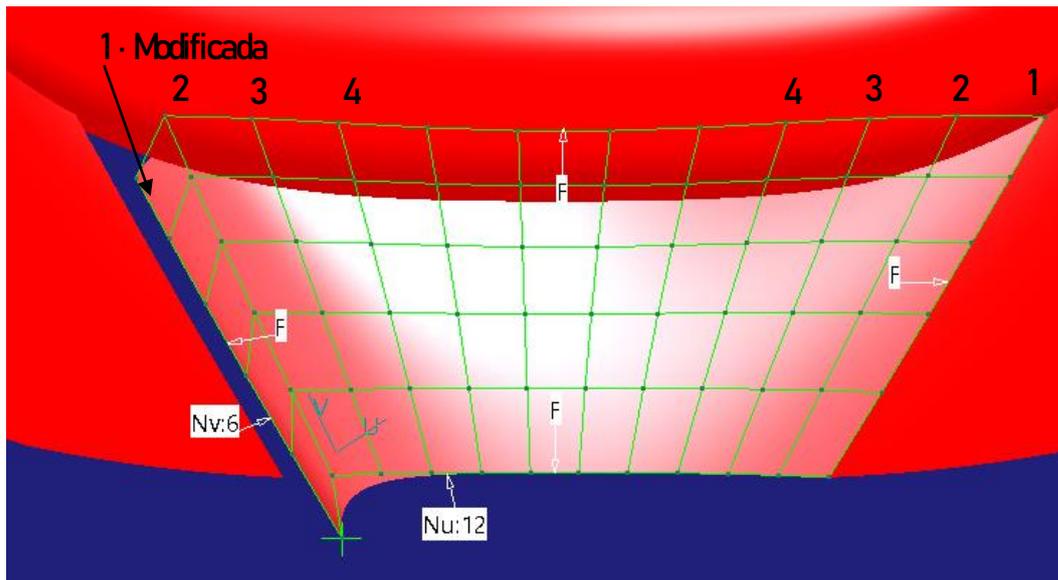


Figura 329. Modificación de la 1ª fila de puntos de control

Como se puede apreciar en la Figura 329, la modificación de la primera fila conlleva a una pérdida de contacto entre las superficies (discontinuidad G0), de modo que no se hace necesario presentar ningún análisis de continuidad puesto que es evidente. Del mismo modo que en anteriores ocasiones, la parte de la superficie que une con el guardabarros derecho permanece perfectamente continua con él puesto que no se han modificado los cuatro puntos de control que gobiernan dicha continuidad.

De modo que, volviendo a la mejora del modelo, y cumpliendo con la planificación de la Figura 322, son suficientes con 12 filas de puntos de control, de los cuales únicamente se modifican las cuatro filas de puntos de control centrales (por supuesto utilizando la opción de simetría del comando *Control Points*). En este caso resultan suficientes para controlar la superficie obteniendo el siguiente resultado (Figura 330), que como se puede apreciar crea una zona superficial estanca con el embellecedor del maletero.

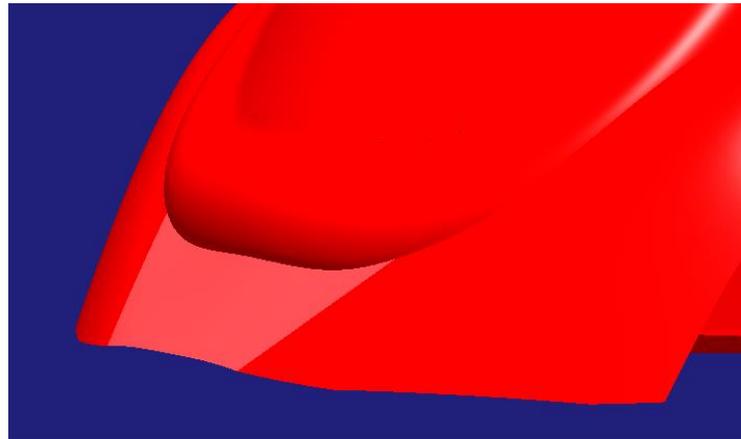


Figura 330. Resultado final de la carrocería inferior trasera con la superficie modificada

Con el fin de, posteriormente, recortar más fácilmente la forma posterior del vehículo en una sola operación se unirán las superficies perimetrales en una sola haciendo uso del comando *Join* (Recuérdese las denominadas superficies perimetrales: guardabarros delanteros, estriberas, guardabarros traseros y finalmente la superficie creada en el presente apartado). Las superficies perimetrales resultantes son las siguientes (Figura 331):

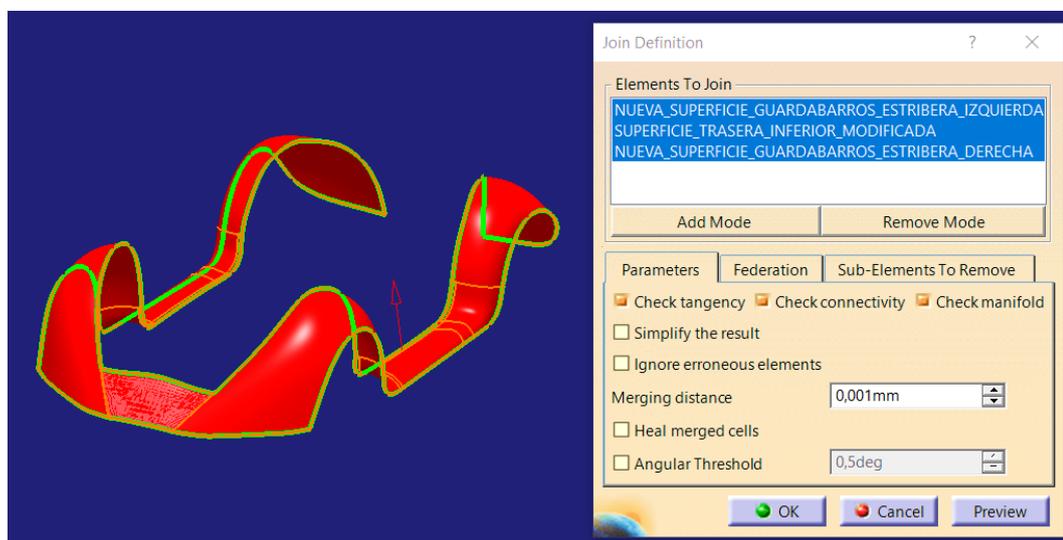


Figura 331. Superficies perimetrales

Para finalizar la parte trasera solo resta recortarla con la forma inferior que ha de tener. Para ello se crea la curva que define dicha forma, se extrude la

superficie de corte y, haciendo uso del comando Split, se recorta finalmente (Figura 332).

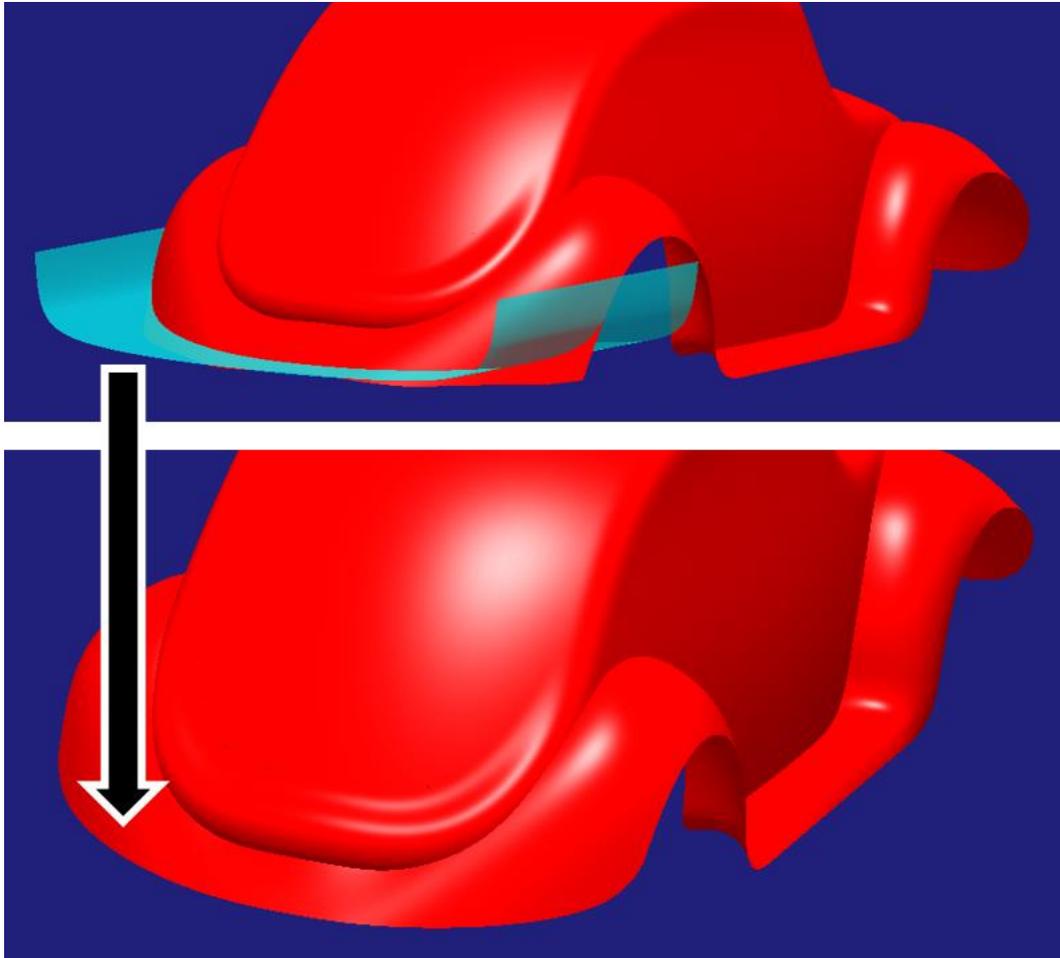


Figura 332. Recorte de la superficie inferior del vehículo

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CARROCERÍA INFERIOR TRASERA

- Si se va a crear una superficie con el comando *Blend Curve* en la que solo interesa una zona concreta tratar de aislar los bordes de la zona que nos interesa y actuar con ellos para, posteriormente, si hay que modificar la superficie, solo tratar con la zona de interés.
- Si se hace necesaria la modificación de una superficie creada con condiciones de continuidad con otras actuar con conocimiento de los puntos de control que pueden ser modificados y cuáles no. En caso de no ser suficientes los puntos modificables actuar sobre el número de estos a conveniencia.

6.4.6. DETALLE EMBELLECEDOR – RIGIDIZADOR EN RELIEVE NEGATIVO DE LA SUPERFICIE DEL CAPÓ

Como se aprecia en la *Figura 333*, indicado por flechas amarillas, el capó presenta dos zonas simétricas caracterizadas por aportar un relieve negativo. Esta construcción es debida a la necesidad de aportar rigidez al capó ya que es una pieza que estará sometida a la vibración del vehículo y sobre todo a los golpes que recibe al cerrar dicha chapa. En este caso se aprecia una necesidad mecánica más allá de la estética, aun así, esta última es importante conseguirla en una parte visible como es la que aquí se trata.

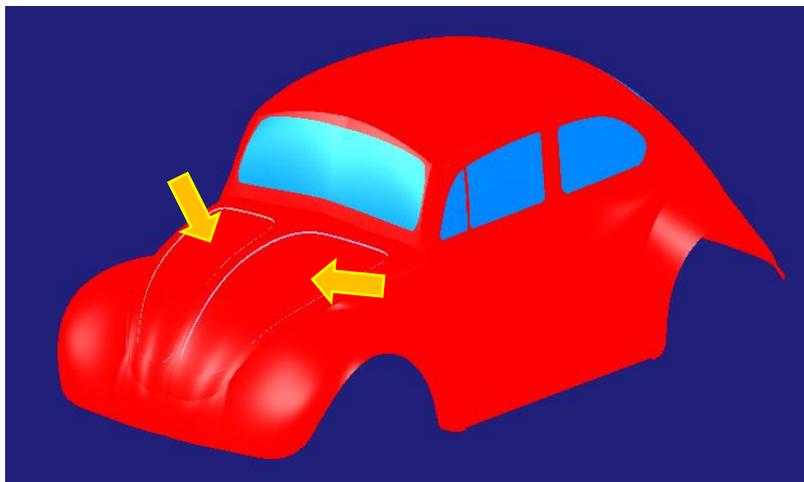


Figura 333. Detalle del embellecedor en forma de relieve del capó

Para recrear dicha zona en el modelo mejorado en base a técnicas de trabajo con superficies de clase A que se viene realizando se seguirán los siguientes pasos:

Se planifica un modelo por simetría del embellecedor - rigidizador del capó (como se ha realizado anteriormente siempre que ha sido posible), de modo que se realizan las operaciones necesarias en uno de los lados (izquierdo, por seguir con la tendencia llevada durante todo el proyecto) y posteriormente se copian por simetría las superficies necesarias al lado opuesto de modo que se minimice la carga de trabajo realizada.

En primer lugar, se ha definir la forma en planta que tiene dicho relieve, ello pasa por definir la curva 3D adaptada a la forma en planta (visto el vehículo

desde arriba) utilizando el comando *3D Curve*. Llegados a este punto cabe destacar un aspecto que no se había presentado hasta ahora: es la primera vez que se necesita realizar un contorno continuo cerrado. En anteriores ocasiones se ha definido un contorno cerrado para el corte del techo, pero no era continuo, sino que fue formado por dos curvas unidas entre sí como se aprecia mejor en la *Figura 334*.

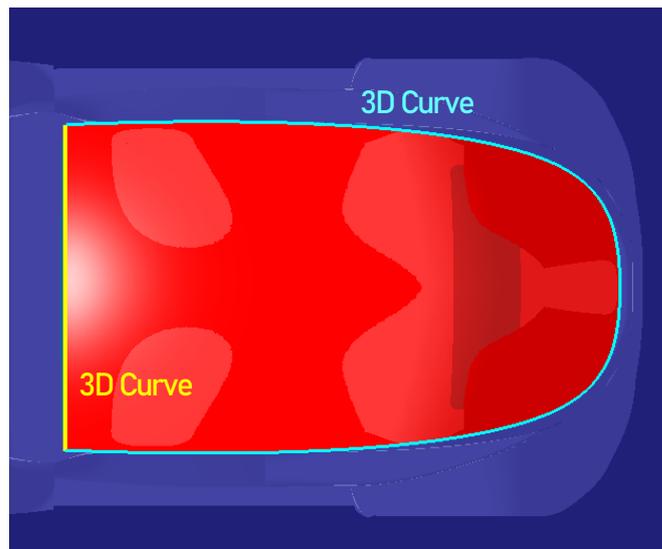


Figura 334. Detalle de la formación del contorno del techo a través de dos curvas 3D

Volviendo al caso del embellecedor del capó, se sabe que se necesita un contorno cerrado y continuo para definir dicha forma, el problema que aparece es el siguiente: no se puede crear una curva 3D cerrada. De modo que se ha de crear una vía de actuación válida para solventar este inconveniente.

La solución pasa por crear una curva 3D abierta adaptada a la forma deseada, dejando dicha abertura bien planificada y preparada en una posición favorable para posteriormente unir los extremos con continuidad en curvatura a través del comando *Connect Curve* de *Generative Shape Design* (El comando *Blend Curve* de *ICEM Shape Design* no permite unir los extremos de una misma curva) tal y como puede apreciarse en la *Figura 335*. Finalmente se unen ambas curvas (*3D Curve* y *Connect Curve*) con el comando *Join* formando un único contorno cerrado y continuo.

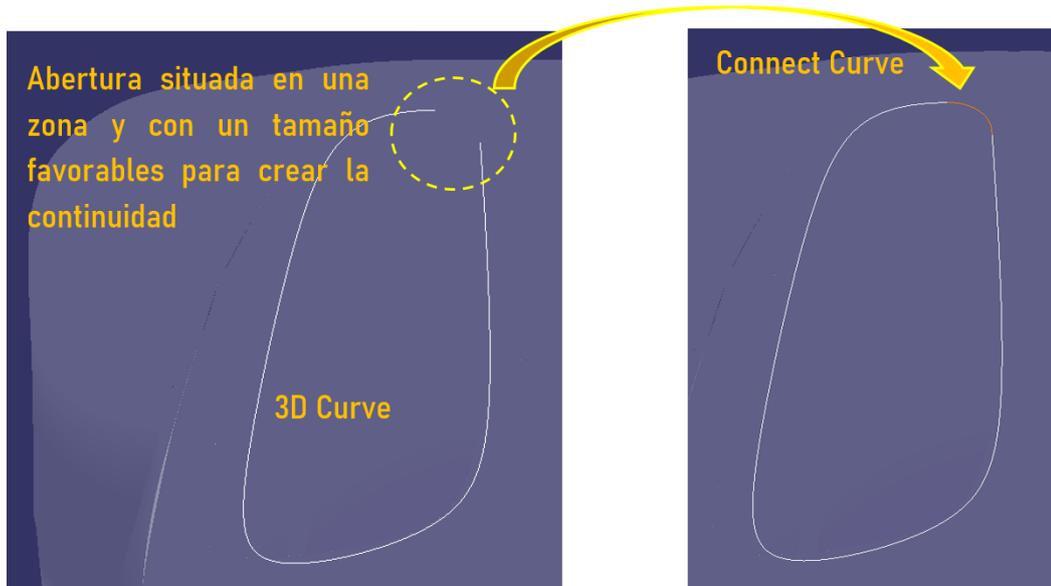


Figura 335. Creación de un contorno cerrado continuo

Una vez creado el contorno, se extrude a través del comando *Extrude* de modo que se disponga así con una superficie de corte. Posteriormente, se utiliza dicha superficie de corte para recortar el capó haciendo uso del comando *Split*, en este caso seleccionando la opción *Keep Both Sides* (Figura 336), ya que se necesitan las dos partes del corte para trabajar (La interior y la exterior definidas por la superficie de corte).

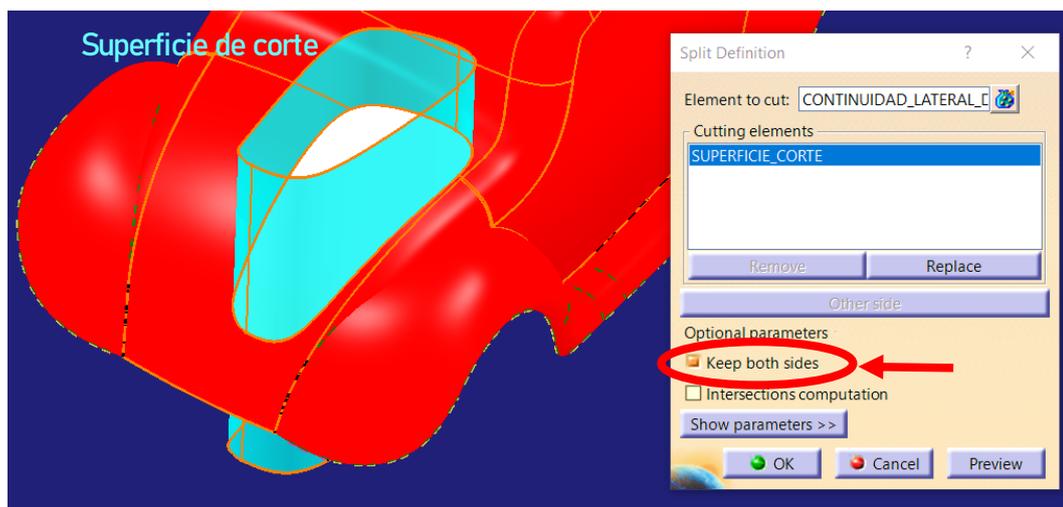


Figura 336. Operación *Split* para el embellecedor del capó

Una vez se tiene dos superficies independientes, se pasa a trabajar con la superficie interior (color amarillo crema en la *Figura 336*).

Dicha superficie ha de ser bajada ligeramente hacia abajo para crear el relieve negativo y ha de escalarse para permitir una continuidad fluida con el capó (*Figura 337*).

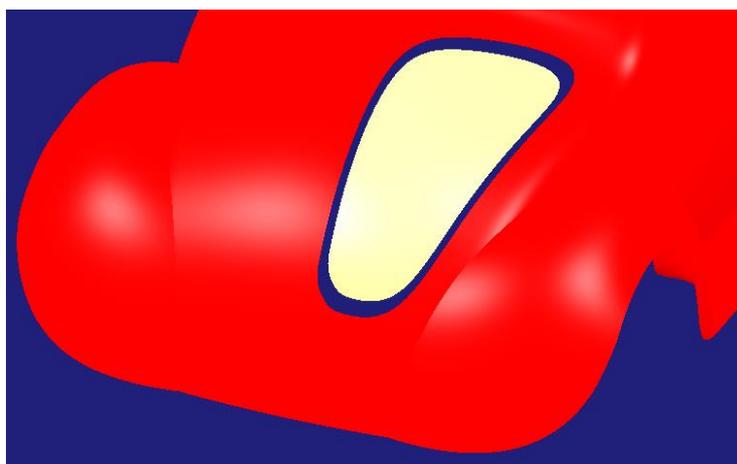


Figura 337. Traslado hacia abajo de la superficie y escalado de la misma

Finalmente, solo resta aplicar el comando *Blend Surface* de *Generative Shape Design* entre las dos superficies (parte interior del corte y capó) obteniendo el resultado presentado en la *Figura 338*, donde se ha coloreado de distinto tono la zona de unión puesto que es un detalle de relieve muy sutil que cuesta de apreciar utilizando el mismo tono de color que el resto del vehículo.

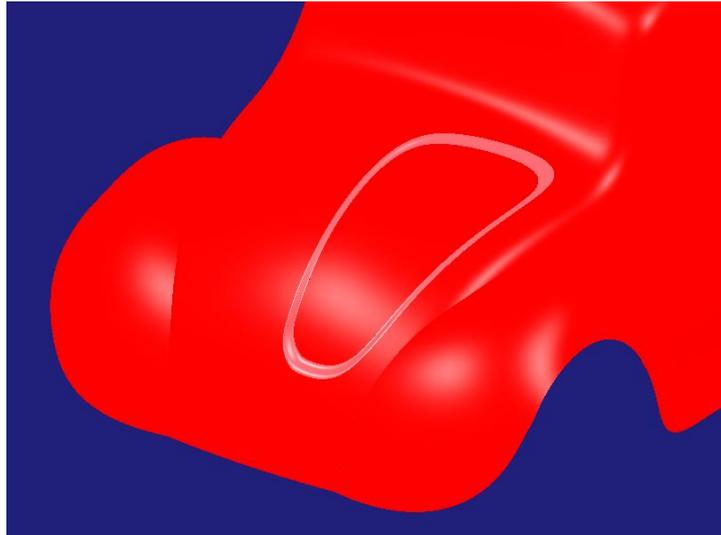


Figura 338. Embellecedor izquierdo del capó

Tal y como se adelantó se realiza el relieve opuesto aplicando simetría, llegando al resultado final presentado en la *Figura 339*, donde se ha oscurecido el modelo para poder apreciar mejor el relieve.

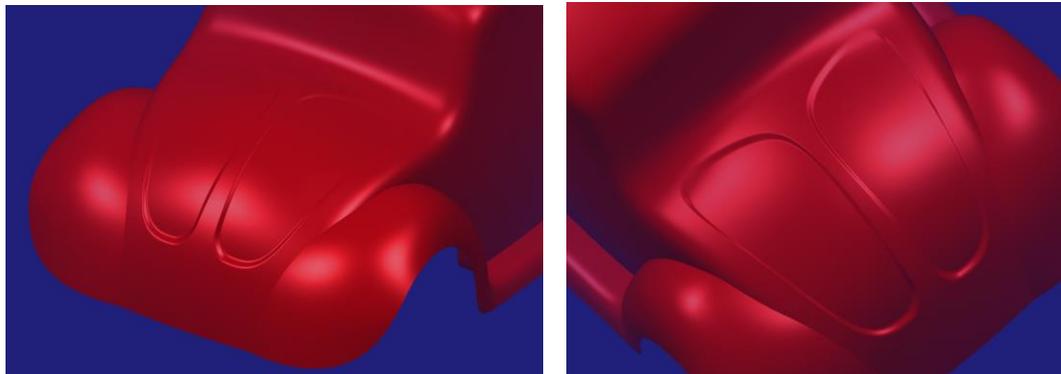


Figura 339. Resultado final del embellecedor de relieve del capó

✚ CLAVES RÁPIDAS DE ACTUACIÓN → CARROCERÍA INFERIOR TRASERA

- Ante la imposibilidad de crear curvas 3D cerradas, si se requiere crear un contorno cerrado continuo lo que se hace es crear una curva 3D abierta (Comando *3D Curve*) cuidando la posición y dimensiones de la abertura de modo que posteriormente permita cerrar de manera natural el contorno (Aplicando el comando *Connect Curve*). Finalmente se unen ambos tramos (Comando *Join*) formando un contorno cerrado y continuo.
- El comando *Connect Curve* de *Generative Shape Design* permite cerrar una curva entre sus dos puntos extremos, mientras que el comando *Blend Curve* de *ICEM Shape Design* no lo permite, tienen que ser extremos de curvas distintas.

6.5. PASO 5 – ANÁLISIS DE LAS SUPERFICIES DEL MODELO FINAL OBTENIDO

En primer lugar, se presentan una serie de imágenes (*Figuras 340, 341, 342, 343*) en las que pueden apreciarse desde el mismo punto de vista el modelo extraído de Internet y el modelo mejorado gracias a la aplicación de técnicas de modelado de superficies de clase A. De este modo se pueden apreciar las grandes mejoras visuales que supone un modelado controlado y en el que prima lograr un buen acabado superficial.

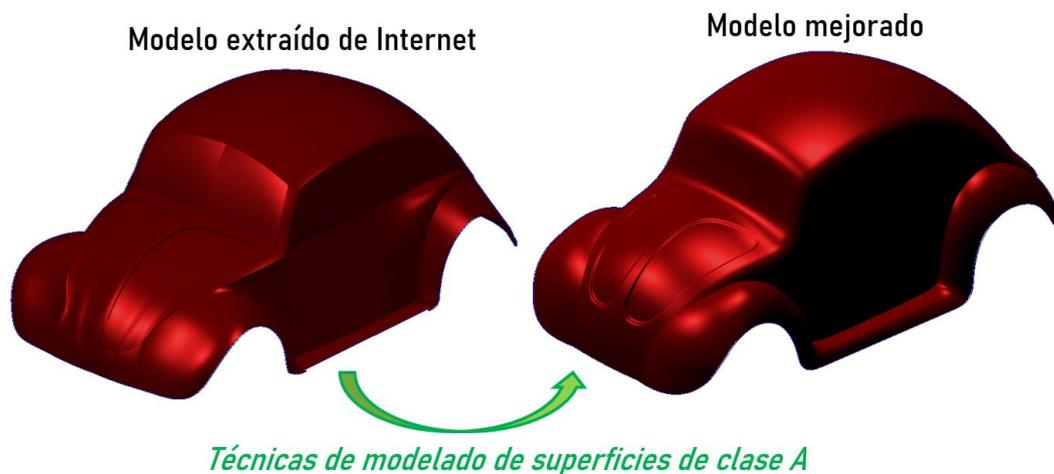


Figura 340. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen fronto-lateral delantera de los vehículos

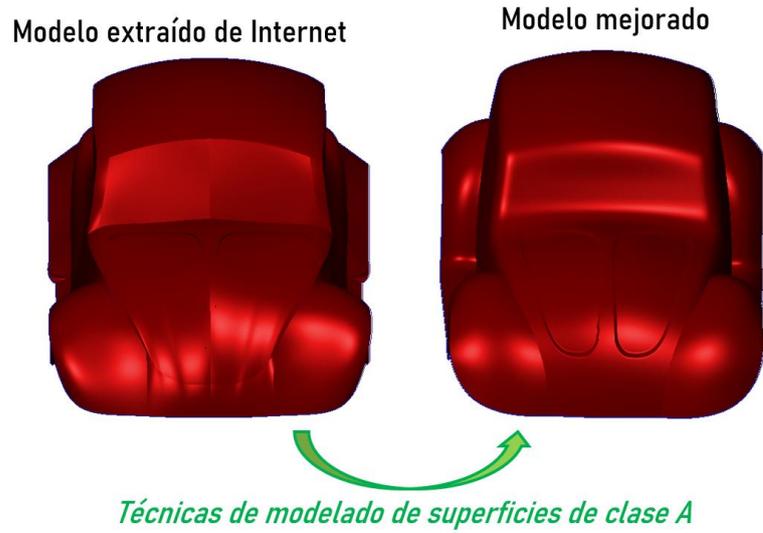


Figura 341. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen frontal de los vehículos

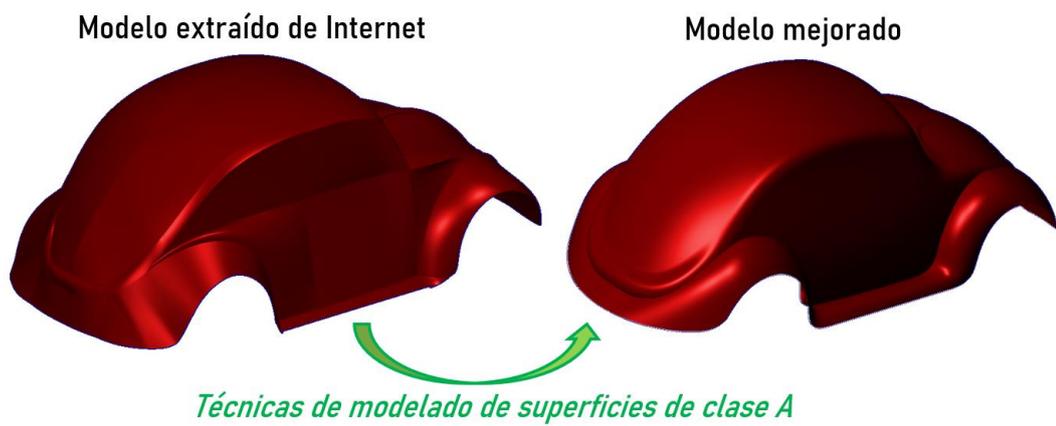


Figura 342. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen fronto-lateral trasera de los vehículos



Figura 343. Comparación del modelo extraído de Internet frente al mejorado. Imagen superior de los vehículos

En segundo lugar, se analizará la adecuación del modelo conseguido al modelo conceptual en el que se ha apoyado el modelado. Con esto lo que se pretende es dictaminar si la forma y dimensiones dadas son las adecuadas. Este punto no debería suponer ningún problema puesto que precisamente para cumplir con este punto se apoya el modelado en un modelo previo, pero de todos modos es buena costumbre realizarlo por si existe alguna zona que haya pasado desapercibida.

Para ello, se presentan conjuntamente el modelo obtenido y el modelo conceptual (*Figuras 344, 345, 346 y 347*) de modo que pueden apreciarse las formas básicas de cada uno, en que zonas sobresale un modelo u otro, etc.

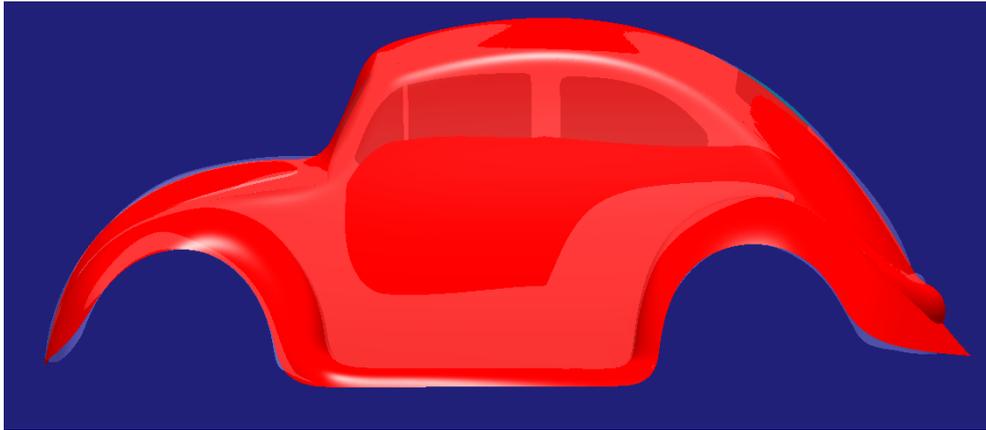


Figura 344. Vista desde el lateral del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente

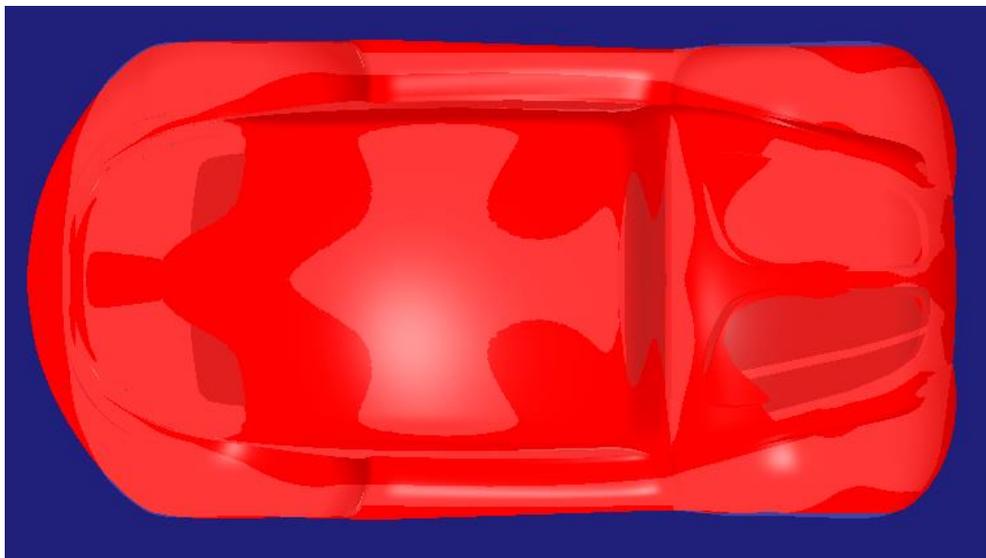


Figura 345. Vista desde el techo del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente

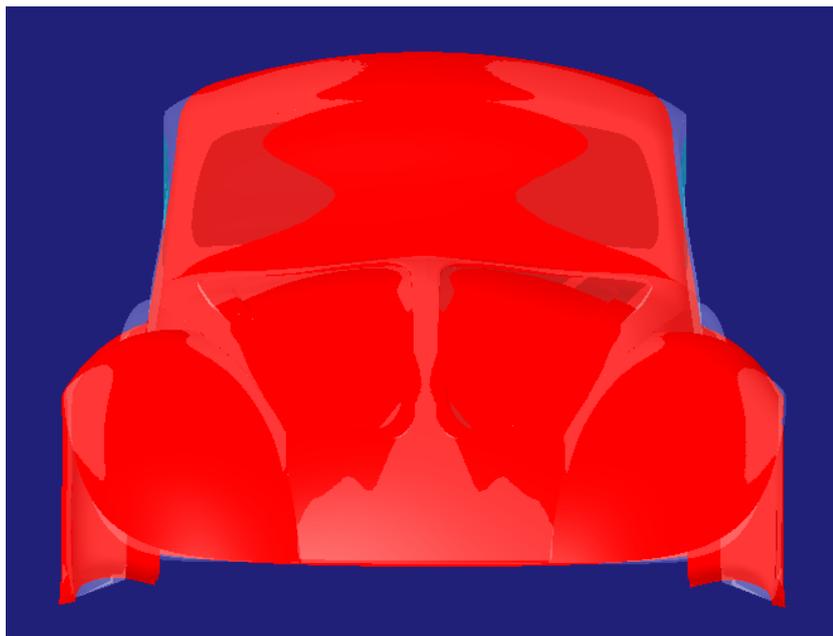


Figura 346. Vista frontal del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente



Figura 347. Vista desde trasera del modelo conceptual y modelo obtenido conjuntamente

Como se aprecia en las Figuras 344, 345, 346 y 347, el grado de adecuación al modelo conceptual es bastante adecuado en cuanto a forma y dimensiones. Existen zonas donde el modelo obtenido sobresale del conceptual (zonas de color rojo intenso en las imágenes) y zonas donde es el modelo conceptual el que sobresale sobre el modelo obtenido (zonas de rojo suave en las imágenes).

Esto no supone un problema, puesto que debido a la nueva creación de superficies más suaves y sencillas es imposible adecuar exactamente todos los puntos de la superficie a los del modelo conceptual. De modo que con un resultado obtenido como el de las imágenes anteriores es más que suficiente. En este punto no se busca precisión dimensional numérica ni nada por el estilo, sino más bien una evaluación visual del mismo y dictaminar la impresión que produce ver ambos modelos juntos, en este caso la impresión de similitud es bastante buena, y con eso es más que suficiente.

Por otro lado, hay ciertas zonas que no se aproximan de una manera tan fiel al modelo. Estas zonas no son fallos de diseño si han sido intencionadamente diseñadas de ese modo por cuestiones de diseño o de mejora del modelo. Por ejemplo, en la *Figura 348* se muestran dos zonas de detalle extraídas de la *Figura 346* que destacan de las demás por presentar una diferencia mayor con el modelo conceptual.

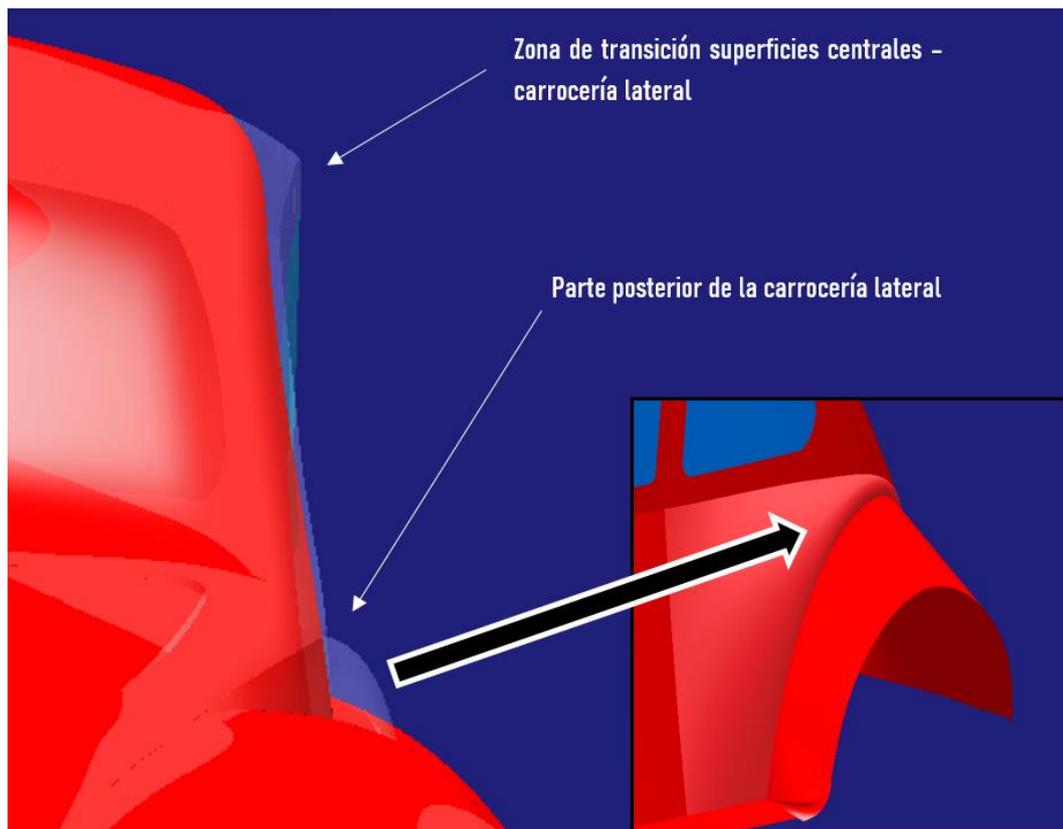


Figura 348. Detalles de zonas diferenciadas del modelo conceptual

Como se ha mencionado, estas zonas (*Figura 348*) no son un fallo de diseño si se tiene un motivo para no haberlas adecuado de una manera más fiel al modelo conceptual. El motivo es que, en ciertas ocasiones y para zonas muy concretas, si se adecua muy fielmente el modelado a la forma del modelo conceptual el resultado estético es muy deficiente. La zona de transición entre la carrocería central y lateral (*Figura 348*) del modelo conceptual (color grisáceo) se caracteriza por una superficie con una forma muy extraña acabada en pico, de modo que para dar continuidad entre ambas superficies manteniendo el pico el redondeo entre ambas iba a ser mínimo de modo que la curvatura sería excesivamente agresiva en dicho punto. Es decir, no mejoraría mucho de una arista a un borde redondeado de radio muy reducido. De modo que en este detalle se ha optado por que prevalezca la continuidad con un buen acabado estético que una adecuación más fiel al modelo conceptual. Recuérdese que lo que se está haciendo es trabajar con exigencias para superficies de clase A en busca de mejorar el modelo, de modo que este tipo de acciones están completamente justificadas si se pretende dar una solución mejor que la existente.

Del mismo modo sucede con el detalle de la parte posterior de la carrocería lateral (*Figura 348*). Se ha considerado que se trata de una forma poco apropiada de proceder (curvaturas excesivas en una zona muy reducida, acabada en punta...) puesto que el patrón de reflejos que proporcionaría sería muy caótico. Además sería una superficie que presentaría discontinuidad tanto con la carrocería lateral en su parte posterior como con el guardabarros trasero en su parte inferior.

A continuación se evaluarán las superficies de cara a la calidad de los reflejos que presenta el modelo. Cabe destacar que, cumpliendo con lo establecido en el *Apartado 3.6*. (“...es altamente recomendable ir realizando análisis de detalles clave a medida que se van creando superficies con el fin de asegurarse que no se comete ningún error que pueda acarrear el borrado de una gran cantidad de superficies al final del proceso”) se han realizado análisis a medida que se iban desarrollando las superficies primarias y terciarias, de modo que llegados a este análisis final gran parte del trabajo está realizado.

En primer lugar se aíslan los dos conjuntos de superficies básicos que componen el modelo (*Figura 349*): carrocería central-lateral (carrocería central, lateral y embellecedor del maletero) y carrocería periférica (guardabarros delanteros, estriberas, guardabarros traseros y carrocería inferior trasera). Se hace esta diferenciación puesto que, como se puede recordar del modelado de superficies primarias y terciarias, se definieron ciertas continuidades entre superficies, de modo que atendiendo a estas continuidades establecidas se puede partir en modelo en estos dos conjuntos de superficies.



Figura 349. Conjunto de superficies en cuanto a continuidad de la carrocería

En primer lugar, se analizará la carrocería central - lateral (Figura 350).

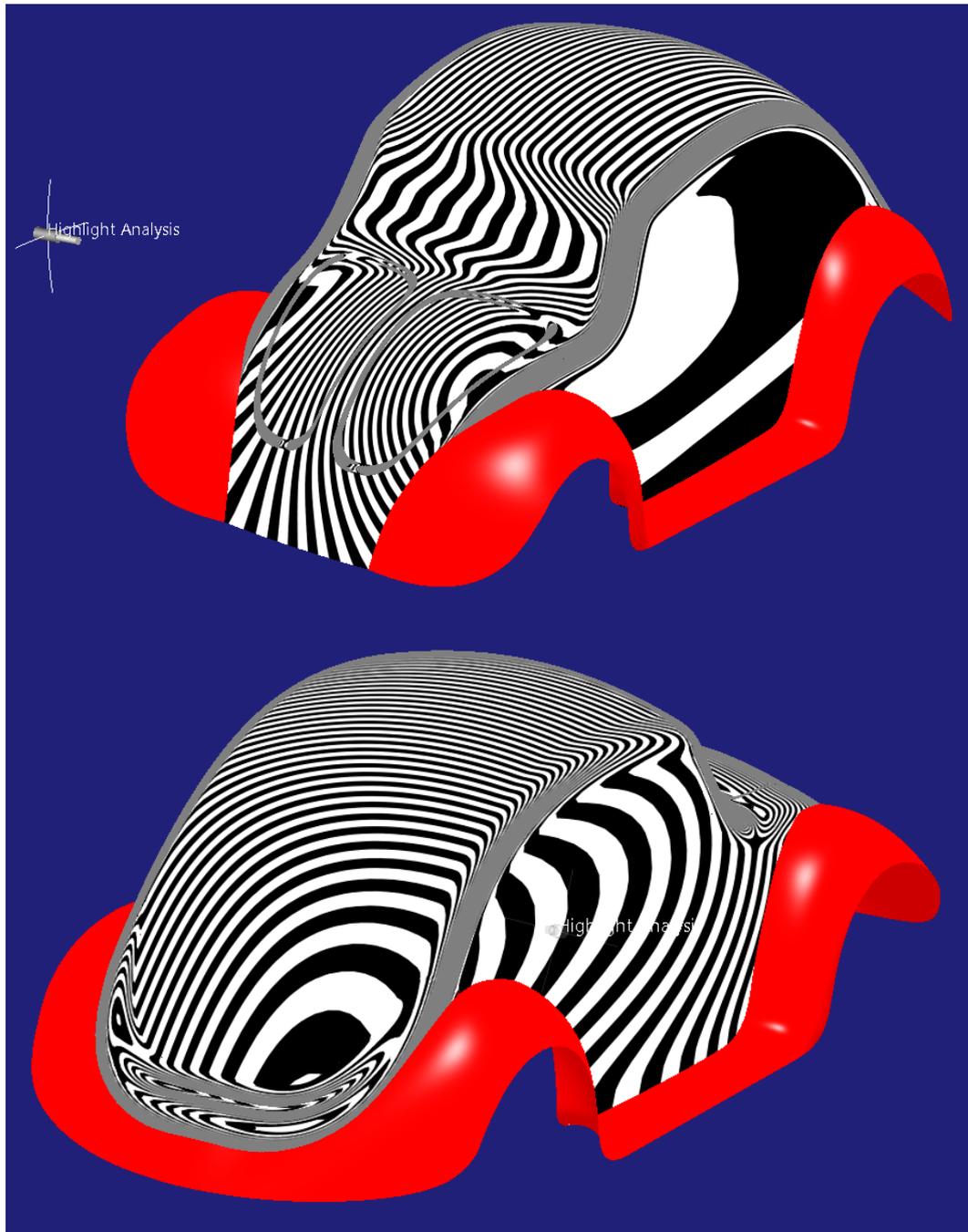


Figura 350. Resultado del análisis de reflejos de la carrocería central - lateral

(Como se sabe, las maneras de visualizar los reflejos son infinitas, de modo que aquí se presentan las vistas más representativas y que permiten ver el análisis general de las superficies de una manera más clara).

Observando la *Figura 350* se puede apreciar que el resultado obtenido es bueno de cara a la continuidad de las superficies. En primer lugar, se puede apreciar que el patrón de los reflejos en las superficies grandes es suave y

controlado. A continuación, se aprecia que las zonas de transición entre superficies presentan un flujo continuo de reflejos, sin interrupciones ni picos o aristas. Se aprecia mejor en las *Figura 351*.

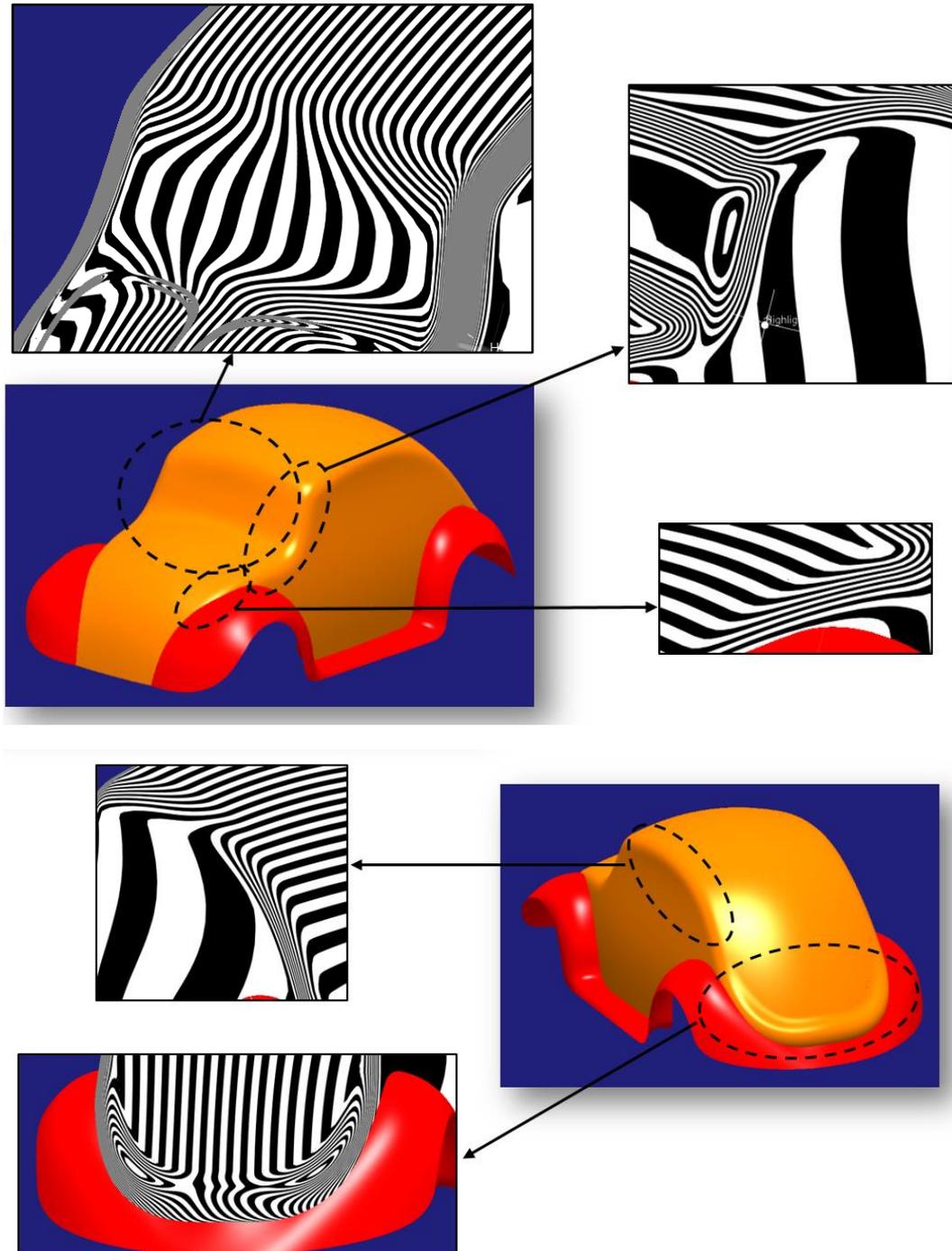


Figura 351. Detalles del análisis de reflejos en la carrocería central - lateral

En segundo lugar, se analizará la carrocería perimetral (*Figura 352*).

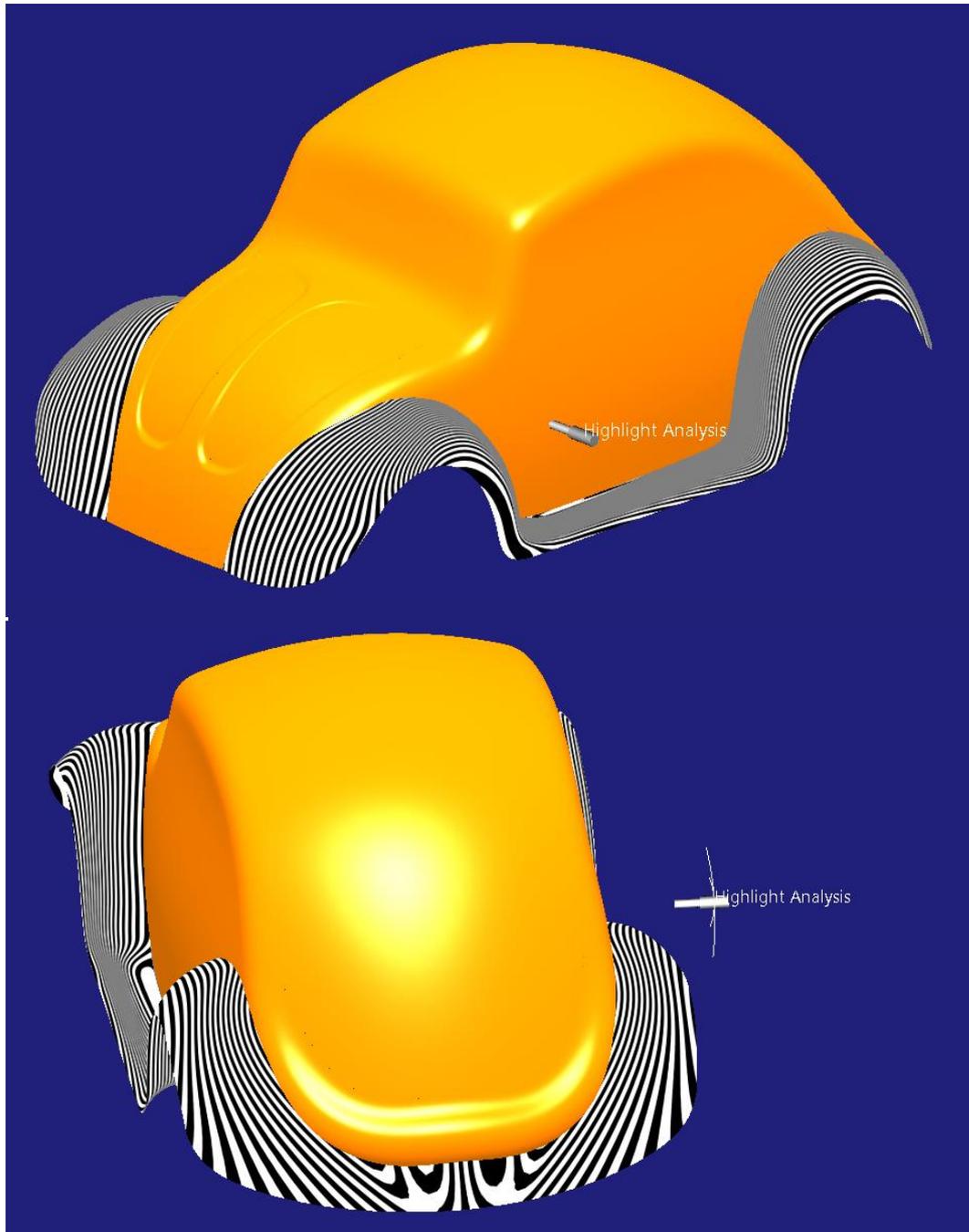


Figura 352. Resultado del análisis de reflejos de la carrocería periférica

Observando la *Figura 352* se puede apreciar que el resultado obtenido es bueno de cara a la continuidad de las superficies. El patrón de reflejos es suave y controlado.

A continuación, se aprecia que las zonas de transición entre superficies presentan un flujo continuo de reflejos, sin interrupciones ni picos o aristas. Se aprecia mejor en las *Figura 353*.

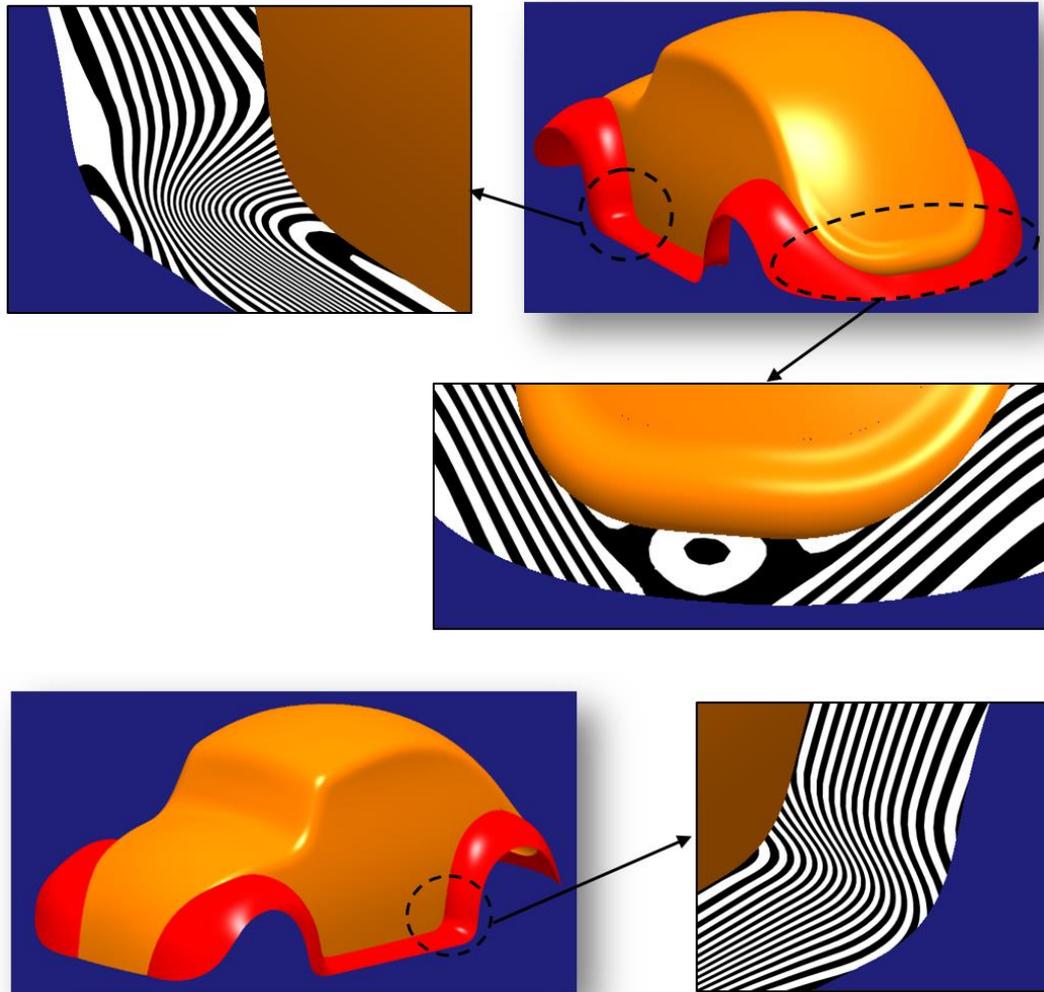


Figura 353. Detalles del análisis de reflejos en la carrocería perimetral

7. CONCLUSIONES

El proyecto surge como la continuación natural “teoría – práctica” del trabajo de fin de grado realizado por Marina Bartolomé Lorenzo con el área de conocimiento de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid titulado: “*Diseño con superficies de clase A con CATIA ICEM Shape Design*”. En el cual, la autora desarrolla un manual de uso de dicho módulo en el que expone las principales herramientas con las que cuenta el programa y su funcionamiento. De modo que, la labor de este proyecto como continuación del trabajo desarrollado por Marina Bartolomé ha sido la de hondar en la aplicación práctica de dichas herramientas, buscando un flujo de trabajo y unas reglas de modelado para que su uso sea lo más ordenado y eficaz posible y, posteriormente, aplicar todo lo anterior al análisis detallado de un modelo y al desarrollo de un nuevo modelo mejorado dando una explicación muy detallada del proceso.

La principal y más notable dificultad con la que se ha contado en el proyecto es el hecho de disponer de una escasa, o prácticamente nula, bibliografía del modelado de superficies de clase A con *ICEM Shape Design* de CATIA V5. De modo que el trabajo de Marina Bartolomé junto con este proyecto suponen un gran avance en cuanto a la investigación del uso de este tipo de superficies, aportando así nuestro “granito de arena” a que futuros alumnos o profesionales que quieran ejercer sus proyectos o trabajos con superficies de clase A en un programa tan potente y asentado en la industria como es CATIA dispongan de una mayor documentación al respecto.

El programa de modelado de superficies de clase A por excelencia es Autodesk Alias, del cual se puede encontrar bastante información como videos, tutoriales y ejemplos. Por el contrario, como ya se ha mencionado, el modelado de estas superficies con CATIA no se encuentra asentado todavía de modo que se ha tenido que hacer el esfuerzo de adaptar la información relativa al funcionamiento y modelado con estas superficies de Autodesk Alias a CATIA V5. Así, se ha trabajado ligeramente con el programa Autodesk Alias para comprender el funcionamiento de este tipo de superficies analizando pequeños ejemplos sencillos y posteriormente tratar de desarrollar las ideas vistas en el programa CATIA para construir un proyecto basado exclusivamente en la práctica con dicho programa.

En el desarrollo de las ideas básicas en las que se apoya el funcionamiento de las superficies de clase A, así como en la elaboración del flujo de trabajo y las reglas prácticas de modelado se ha colaborado con Pedro Vinuesa Rosa, alumno también de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid que desarrolla su proyecto de fin de grado sobre el modelado de

superficies de clase A enfocado a la aplicación práctica en Autodesk Alias. Esta colaboración supone un valor añadido para el proyecto de ambos puesto que trabajando y colaborando juntos se ha conseguido obtener una técnica de modelado universal para las superficies de clase A, aplicable al uso de cualquier programa comercial. El uso de cada programa, las herramientas de diseño de las que se disponen o los datos que las operaciones de creación de superficies necesitan son distintos y es trabajo del modelador adaptarse al uso de su programa pero, siguiendo el flujo de trabajo y las reglas expuestas en el presente proyecto, el modelador realizara su labor de una manera cómoda y eficaz.

A lo largo del desarrollo del proyecto se ha podido apreciar el nivel de dificultad que presenta el modelado de este tipo de superficies. Es necesario un alto nivel de concentración en detalles y tratar de ir siempre un paso por delante. Esto se logra planificando el modelado y previendo posteriores operaciones, a pesar de la dificultad que eso supone, puesto que, a priori, al realizar una pieza nueva, no se sabe exactamente dónde y cuándo se van a presentar las dificultades. Es trabajo del modelador coger, con el tiempo, la habilidad de hacer frente con soltura las múltiples dificultades que presenta trabajar con superficies de clase A. A pesar la dificultad que conlleva, los beneficios de trabajar de este modo son evidentes a la vista de los resultados obtenidos del modelo mejorado frente al analizado en el proyecto, puesto que se logra un gran salto en cuanto a la calidad estética.

Se han presentado y aplicado herramientas de análisis y creación de curvas y superficies, así como de modificación de estas. No obstante, debido a la gran extensión del módulo y del programa, y, por supuesto, a la inmensa diversidad de situaciones ante las que podemos encontrarnos, queda un largo camino hasta obtener un conocimiento completo de la totalidad de comandos, opciones que ofrecen y en qué situaciones y cómo utilizarlos. Desde aquí se desea y se hace un llamamiento a que más alumnos y profesionales se embarquen en proyectos como este y continúen profundizando en el trabajo con este tipo de superficies, puesto que de este modo se colabora en mejorar los conocimientos en materias tecnológicas que permitan el aprendizaje de nuevos métodos y teorías que permitan la adaptación a nuevas situaciones en el mundo tan dinámico en el que vivimos.

8. ESTUDIO ECONÓMICO Y TEMPORAL DEL PROYECTO

Se estima un coste económico del proyecto en 13985 euros, desglosado del siguiente modo:

- Ordenador e impresora (gastos de amortización)	250 €
- Conexión Internet (*)	105 €
- Material fungible de oficina	50 €
- Alquiler del lugar de trabajo (**)	1050 €
- Licencia de CATIA V5 – 6R2020 (***)	1465 €
- Licencia de Autodesk Alias (***)	1465 €
- Mano de obra por el tiempo empleado (****)	9600 €
<hr/>	
- TOTAL	13985 €

(*) Según la consulta del precio de varias compañías del mercado se estima un precio medio de 35€ mensuales

$$35 \text{ €/mes} \cdot 3 \text{ meses} = 105 \text{ €}$$

(**) Según la consulta de varios portales inmobiliarios se estima un precio mensual medio de 350 € mensuales por el alquiler de una oficina en la zona de Valladolid.

$$350 \text{ €/mes} \cdot 3 \text{ meses} = 1050 \text{ €}$$

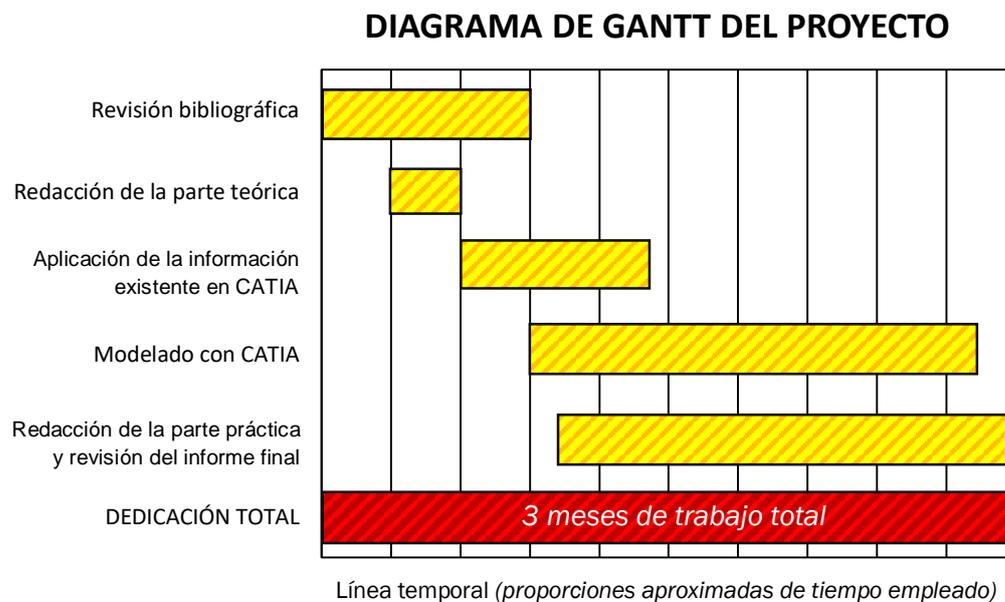
(***) Según la consulta de la página de Autodesk Alias se estima un precio de 5863 € para una licencia anual de dicho programa. Se estima un precio igual para una licencia del programa CATIA V5.

$$5863 \text{ €/año} / 12 \text{ meses} = 488.5 \text{ €/mes} \cdot 3 \text{ meses} = 1465 \text{ €}$$

(****) 3 meses · 20 días laborables/mes · 8 h/día = 480 horas

$$480 \text{ horas} \cdot 20 \text{ €/hora} = 9600 \text{ €}$$

A continuación, se presenta un diagrama temporal del proyecto o diagrama de Gantt, en el que se pueden apreciar la proporción de tiempo empleado en el desarrollo de los principales trabajos de los que se compone la realización del proyecto.



Referencias bibliográficas:

- [1] – Autodesk Help, “*Alias Foundation Tutorials*”. 24/03/2020. [En línea]. Disponible en: <https://autode.sk/3b5SL44>. [Fecha de último acceso 26/01/2021].
- [2] – Anup Chauhan (Usuario de la librería de objetos CAD en línea GrabCad). “*Volkswagen Beetle*”. 19/09/2019. [Descarga online]. Disponible en: <https://grabcad.com/library/volkswagen-beetle-11>. [Fecha de último acceso 26/01/2021]
- [3] – Bartolomé Lorenzo, Marina. “*Diseño con superficies de clase A con CATIA ICEM Shape Design*”, 09/2020. [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/45047>. [Fecha de último acceso 28/01/2021].
- [4] – Dassault Systèmes. “*ICEM Shape Design Center*”. 25/04/2011. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3phr5OS>. [Fecha de último acceso 06/01/2021].
- [5] – P. Muñoz y J. L. Coronel, “*Continuidad en superficies espaciales para diseño industrial*”, 10/12/2005. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jKhHSJ>. [Fecha de último acceso: 24/01/2021].
- [6] – Barry Kimball, “*Autodesk Alias Class A Surfacing Tutorial*”, 23/11/2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3dazml5>. [Fecha de último acceso 28/01/2021].