

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

TÍTULO: Rediseño de una carrocería de rally a partir de una maqueta de escala 1/24.

MEMORIA PRESENTADA POR:
Nombre y Apellidos: [Marcos Tamarit Caudeli]

GRADO DE [INGENIERÍA MECÁNICA]

Convocatoria de defensa: [09/2018]

INDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| 1. RESUMEN..... | 7 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2.1. Motivación | 10 |
| 2.2. Alcance del proyecto | 11 |
| 3. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES..... | 12 |
| 3.1. Metodología | 12 |
| 3.2. Tecnologías..... | 13 |
| 4. INGENIERÍA INVERSA | 15 |
| 4.1. Historia | 15 |
| 4.2. Definición | 17 |
| 4.3. Descripción del proceso | 17 |
| 4.3.1. Proceso de digitalización en 3D..... | 19 |
| 4.3.2. Preprocesamiento y segmentación..... | 21 |
| 4.3.3. Reconstrucción de superficies | 23 |
| 4.3.4. Parámetros de evaluación | 24 |
| 5. DISEÑO DE LA CARROCERÍA..... | 26 |
| 5.1. Digitalización 3D | 26 |
| 5.1.1. Ciclop Bq | 26 |
| 5.1.2. Optical Reveng Dental..... | 32 |
| 5.2. Programas y Softwares | 36 |
| 5.2.1. Meshlab | 37 |
| 5.2.2. Solidworks | 49 |
| 6. SIMULACIÓN Y RESULTADOS | 61 |
| 6.1. Coeficientes aerodinámicos | 61 |
| 6.2. Nuestro estudio | 66 |
| 6.2.1. Interpretación de resultados | 67 |
| 7. CONCLUSIONES | 77 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 78 |

INDICE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Ilustración 3-1. Metodología | 13 |
| Ilustración 4-1. Evolución de las herramientas | 15 |
| Ilustración 4-2. Segunda Guerra Mundial | 15 |
| Ilustración 4-3. Francesco Vianello | 16 |
| Ilustración 4-4. Ingeniería Inversa | 17 |
| Ilustración 4-5. Proceso de diseñado | 17 |
| Ilustración 4-6. Diagrama de flujo del proceso | 18 |
| Ilustración 4-7. Brazo de medición | 19 |
| Ilustración 4-8. Mesa de medición de coordenadas MMC..... | 19 |
| Ilustración 4-9. Sistemas de escaneado láser y ópticos..... | 20 |
| Ilustración 4-10. Tomógrafos axiales computarizados (TAC)..... | 20 |
| Ilustración 4-11. Ruido en el mallado | 21 |
| Ilustración 4-12. Herramientas del CAD | 21 |
| Ilustración 4-13. Nube de puntos y Mallado | 23 |
| Ilustración 4-14. Reconstrucción de superficies Nurbs..... | 24 |
| Ilustración 5-1. Ciclop Bq..... | 27 |
| Ilustración 5-2. Brillos y reflejos de la carrocería | 27 |
| Ilustración 5-3. Proceso de eliminación de los brillos de la carrocería | 28 |
| Ilustración 5-4. Color y Forma del objeto..... | 28 |
| Ilustración 5-5. Calibración de la cámara | 29 |
| Ilustración 5-6. Calibración del Patrón..... | 30 |
| Ilustración 5-7. Calibración de los láseres | 30 |
| Ilustración 5-8. Prueba de escaneado con luminosidad | 31 |
| Ilustración 5-9. Prueba de escaneo con baja luminosidad | 31 |
| Ilustración 5-10. Optical Reveng Dental | 32 |
| Ilustración 5-11. Software para el sector de la medicina | 33 |
| Ilustración 5-12. Proceso de escaneado | 33 |
| Ilustración 5-13. Patrón de luz..... | 34 |
| Ilustración 5-14. Posicionamiento de la carrocería | 34 |
| Ilustración 5-15. Parte delantera | 35 |
| Ilustración 5-16. Parte trasera | 35 |
| Ilustración 5-17. Parte central..... | 35 |
| Ilustración 5-18. Logotipo Meshlab..... | 37 |
| Ilustración 5-19. Ventana inicial del Meslab | 37 |
| Ilustración 5-20. Formato Obj..... | 38 |
| Ilustración 5-21. Proceso de Alineación | 38 |
| Ilustración 5-22. Las opciones para el alineado | 39 |
| Ilustración 5-23. Puntos de referencia..... | 39 |
| Ilustración 5-24. Orientación de las superficies | 40 |
| Ilustración 5-25. Opción “Flatten Visible Layers” | 40 |
| Ilustración 5-26. Renombrar y enumerar en versiones..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 5-27. Puntos de referencia..... | 41 |
| Ilustración 5-28. Orientación de superficies | 41 |
| Ilustración 5-29. Unión de superficies | 42 |
| Ilustración 5-30. Renombrar y enumerar en versiones..... | 42 |
| Ilustración 5-31. Puntos de referencias | 42 |
| Ilustración 5-32. Orientación de superficies | 43 |
| Ilustración 5-33. Unión de superficies | 43 |
| Ilustración 5-34. Renombrar y enumerar en versiones..... | 43 |
| Ilustración 5-35. Superficie no escaneada del alerón..... | 44 |
| Ilustración 5-36. Repartir el proceso de reconstrucción sin el alerón | 44 |
| Ilustración 5-37. Selección de imágenes..... | 45 |
| Ilustración 5-38. Puntos de referencia..... | 45 |
| Ilustración 5-39. Orientación de las superficies | 46 |
| Ilustración 5-40. Unión de las superficies | 46 |
| Ilustración 5-41. Renombrar y enumerar en versiones..... | 46 |
| Ilustración 5-42. Puntos de referencia..... | 47 |
| Ilustración 5-43. Orientación y unión de superficies | 47 |
| Ilustración 5-44. Alerón sin Filtro de Poisson | 48 |
| Ilustración 5-45. Alerón con Filtro de Poisson | 48 |
| Ilustración 5-46. Eliminar restos de malla..... | 48 |
| Ilustración 5-47. Gaps o errores en las superficies | 49 |
| Ilustración 5-48. Nubes de puntos de la carrocería | 51 |
| Ilustración 5-49. Primer paso: Concretar el croquis interior de la carrocería | 51 |
| Ilustración 5-50. Seleccionar la carrocería para croquizar el contorno..... | 51 |
| Ilustración 5-51. Segundo paso: Seccionar otra parte de la carrocería..... | 52 |
| Ilustración 5-52. Crear la superficie partiendo como referencia los dos croquis | 52 |
| Ilustración 5-53. Tercer paso: Creación de la superficie | 52 |
| Ilustración 5-54. Reconstrucción del faro y los cristales..... | 53 |
| Ilustración 5-55. Faro y cristales..... | 53 |
| Ilustración 5-56. Reconstrucción del paragolpes delantero y del capó..... | 53 |
| Ilustración 5-57. Paragolpes delantero y el capó..... | 54 |
| Ilustración 5-58. Reconstrucción del pase de rueda, luna delantera y la puerta | 54 |
| Ilustración 5-59. Pase de rueda, luneta delantera y puerta | 54 |
| Ilustración 5-60. Reconstrucción de la parte trasera del lateral y el techo | 55 |
| Ilustración 5-61. Parte trasera del lateral y el techo | 55 |
| Ilustración 5-62. Reconstrucción del pase rueda y paragolpes trasero | 55 |
| Ilustración 5-63. Pase rueda y paragolpes trasero | 56 |
| Ilustración 5-64. Simetría de la carrocería..... | 56 |
| Ilustración 5-65. Carrocería al completo..... | 56 |
| Ilustración 5-66. Reconstrucción de la parte superior del alerón..... | 57 |
| Ilustración 5-67. Simetría de la parte superior del alerón | 57 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 5-68. Reconstrucción de la parte inferior del alerón..... | 57 |
| Ilustración 5-69. Parte inferior del alerón..... | 58 |
| Ilustración 5-70. Simetría de la parte inferior del alerón | 58 |
| Ilustración 5-71. Todos los croquis que se han utilizado | 58 |
| Ilustración 5-72. Modelo CAD finalizado en 3D | 59 |
| Ilustración 5-73. Parte lateral de la carrocería..... | 59 |
| Ilustración 5-74. Parte trasera de la carrocería | 59 |
| Ilustración 5-75. Parte delantera de la carrocería..... | 60 |
| Ilustración 5-76. Parte superior de la carrocería..... | 60 |
| Ilustración 6-1. Coeficientes aerodinámicos según su forma | 62 |
| Ilustración 6-2. Coeficiente aerodinámico C_x | 62 |
| Ilustración 6-3. Ejemplos de coeficientes aerodinámicos C_x | 63 |
| Ilustración 6-4. Coeficiente aerodinámico C_z | 64 |
| Ilustración 6-5. Coeficiente aerodinámico C_y | 65 |
| Ilustración 6-6. Parámetro del flujo de aire en Dirección X 18 m/s | 68 |
| Ilustración 6-7. Elección del parámetro de Fuerza y Velocidad..... | 68 |
| Ilustración 6-8. Túnel de viento carrocería y alerón 2D | 68 |
| Ilustración 6-9. Fórmula del coeficiente aerodinámico C_x | 69 |
| Ilustración 6-10. Cálculo del estudio aerodinámico | 69 |
| Ilustración 6-11. Presión (Pa)..... | 70 |
| Ilustración 6-12. Velocidad (m/s)..... | 70 |
| Ilustración 6-13. Trayectorias del flujo de aire | 70 |
| Ilustración 6-14. Túnel de viento de la carrocería en 3D | 71 |
| Ilustración 6-15. Elección de los parámetros: Fuerza y Velocidad | 71 |
| Ilustración 6-16. Fórmula del coeficiente aerodinámico (C_x)..... | 72 |
| Ilustración 6-17. Cálculo del estudio aerodinámico | 72 |
| Ilustración 6-18. Presión (Pa)..... | 73 |
| Ilustración 6-19. Trayectorias del flujo de aire en 3D | 73 |
| Ilustración 6-20. Parámetro del flujo de aire en Dirección X 18 m/s | 73 |
| Ilustración 6-21. Túnel de viento del alerón en 3D | 74 |
| Ilustración 6-22. Fórmula del coeficiente aerodinámica | 74 |
| Ilustración 6-23. Cálculo del estudio aerodinámico | 75 |
| Ilustración 6-24. Presión (Pa)..... | 75 |
| Ilustración 6-25. Velocidad (m/s)..... | 76 |
| Ilustración 6-26. Flujo del aire en la parte superior del alerón..... | 76 |
| Ilustración 6-27. Flujo del aire en la parte inferior del alerón | 76 |

INDICE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 3-1.Aplicaciones | 14 |
| Tabla 6-1.Ejemplos de coeficientes aerodinámicos | 66 |
| Tabla 6-2.Coficientes aerodinámicos de Ford | 67 |

1. RESUMEN

Este proyecto consiste en conseguir una mejora aerodinámica al realizar un rediseño de una carrocería, partiendo de una maqueta de escala 1/24. La maqueta pertenece a un Ford Fiesta RS WRC 2011 de rally.

El proyecto se inicia sometiendo la maqueta de 1/24 a un proceso de escaneo para poder obtener el diseño en formato CAD en 3D, de manera que se pueda rediseñar la carrocería partiendo como base de su mallado.

Con el programa de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), Solidworks, se realizará las distintas operaciones o procesos, para determinar la geometría de la carrocería de rally al completo partiendo del mallado introducido anteriormente.

Para finalizar, se presenta todos los conceptos relacionados con la ingeniería inversa y el estudio aerodinámico:

Se trata de explicar el concepto de ingeniería inversa, permite analizar el funcionamiento del producto o del diseño que se requiera, y así crear nuevos diseños basados en otros que ya existe para mejorarlos u optimizarlos.

Se le aplica un estudio aerodinámico para tratar de entender y visualizar el comportamiento del flujo donde se compara los resultados de la carrocería inicial con la carrocería rediseñada. Además de observar el comportamiento y el rendimiento de la carrocería.

PALABRAS CLAVES:

- **INGENIERIA INVERSA:** Es un rediseño de diversos aspectos del producto original y de su análisis, y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible.
- **ESCÁNER 3D:** Dispositivo de digitalización que toma la información del objeto por medio de un sistema de no contacto (óptico o láser).
- **NUBE DE PUNTOS:** Conjunto de puntos de muestreo de una superficie digitalizada, almacenadas en coordenadas X, Y, Z.
- **MODELO CAD:** Diseño del objeto asistido por computadora.

1. RESUM

Aquest projecte consisteix a aconseguir una millora aerodinàmica en realitzar un redisseny d'una carrosseria, partint d'una maqueta d'escala 1/24. La maqueta pertany a un Ford Fiesta RS WRC 2011 de rally.

El projecte s'inicia sotmetent la maqueta d'1/24 a un procés d'escaneig per poder obtenir el disseny en format CAD en 3D, de manera que es pugui dissenyar la carrosseria partint com a base de la seva mallat.

Amb el programa de Disseny Assistit per Ordinador (CAD), Solidworks, es realitzarà les diferents operacions o processos, per determinar la geometria de la carrosseria de ral al complet partint del mallat introduït anteriorment.

Per a finalitzar, es presenta tots els conceptes relacionats amb l'enginyeria inversa i l'estudi aerodinàmic:

Es tracta d'explicar el concepte d'enginyeria inversa, permet analitzar el funcionament del producte o del disseny que es requereixi, i així crear nous dissenys basats en altres que ja existeix per millorar-los o optimitzar-los.

Se li aplica un estudi aerodinàmic per tractar d'entendre i visualitzar el comportament del flux on es compara els resultats de la carrosseria inicial amb la carrosseria redissenjada. A més de observar el comportament i el rendiment de la carroceria.

PARAULES CLAUS:

- **ENGINYERIA INVERSA:** És un redisseny de diversos aspectes del producte original i de la seva anàlisi, i s'aplica quan el procés de disseny o la documentació original no està disponible.
- **ESCÀNER 3D:** Dispositiu de digitalització que pren la informació de l'objecte per mitjà d'un sistema de no contacte (òptic o làser).
- **NÚVOL DE PUNTS:** Conjunt de punts de mostreig d'una superfície digitalitzada, emmagatzemades en coordenades X, Y, Z.
- **MODEL CAD:** Disseny de l'objecte assistit per ordinador.

1. SUMMARY

This project is to achieve improved aerodynamics to make a redesign of a body, based on a model of 1/24 scale. The model belongs to a Ford Fiesta RS WRC 2011 rally.

The project is initiated by subjecting the 1/24 scale model of a scanning process to get the design in 3D CAD format, so that the body can be designed as a basis for starting mesh.

With the program of Computer Aided Design (CAD), SolidWorks, the various operations or processes will be performed to determine the geometry of the body starting rally full meshing introduced above.

Finally, all concepts related to reverse engineering and aerodynamic study is presented:

It tries to explain the concept of reverse engineering, to analyze product performance or design is required, and create new designs based on others that already exists to improve or optimize them.

It is applied to an aerodynamic study to try to understand and visualize the flow behavior where the results of the initial body compared with redesigned body. In addition to observing the behavior and performance of the body.

KEYWORDS:

- **REVERSE ENGINEERING:** It is a redesign of many aspects of the original product and its analysis, and applies when the design process or the original documentation is not available.
- **3D SCANNER:** Scanning device that takes the object information through a system of non-contact (optical or laser).
- **POINT CLOUD:** Set of sampling points of a digitized surface stored in coordinates X, Y, Z.
- **CAD MODEL:** Object design assisted by computer.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Motivación

La idea del proyecto surgió por el interés de ver si era capaz de conseguir una mejora en el diseño de una carrocería de rally realizada por el fabricante y apreciar el proceso que se realiza cuando alguna empresa quiere mejorar su producto, pero en este caso, sin tener un diseño inicial, el cual se le debe aplicar el concepto de ingeniería inversa para partir de alguna referencia.

Además, se aprende a manejar con soltura los diferentes equipos empleados en este proyecto, como diferentes escáneres para diferenciar cuál de ellos es el más adecuado para el proyecto e incluso observar diferentes programas para recrear la carrocería lo más semejante posible y así eliminar los gaps o errores que se producen a la hora de diseñar la carrocería, como pueden ser el Meslab, Netfabb y el Meshmixer.

Los temas que siempre me han interesado y que han motivado a la hora de realizar algún trabajo o proyecto, han sido el Diseño y la Aerodinámica. A este interés, se le suma la necesidad de aprender el programa Solidworks durante el periodo que he estado cursando la carrera de ingeniería mecánica.

Por tanto, si se junta la enseñanza que he recibido y la curiosidad por la aerodinámica, se plantean muchas preguntas que se te pasan por la mente que buscas un razonamiento lógico, el cuál te sirve para albergar y aprender nuevos conocimientos sobre el estudio aerodinámico de una carrocería de rally.

Se clasificará en dos tipos de objetivos: Objetivo Global y Objetivo Específico.

OBJETIVOS GLOBALES:

- Elegir diferentes escáneres para compararlas y ver cuál es la mejor opción dependiendo de las características que aporten cada una de ellas.
- Necesidad de generar un diseño de modelo CAD, con el programa Solidworks, para reproducir la geometría de la carrocería.
- Finalidad de visualizar y entender el comportamiento del flujo de aire y como interacciona sobre la carrocería de rally.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Exportar el fichero en formato (*.stl), una vez terminada en proceso de escaneo, para que sean compatibles con los otros ficheros que se utilizan en Solidworks.
- Realizar todos los ajustes necesarios para poder usar el fichero exportado de la carrocería de rally.
- Determinar las condiciones del flujo que se aplicarán en la carrocería para hacer la simulación y las condiciones del túnel de viento que se realizan en el programa CAD.
- Ejecutar la simulación y el análisis de fluidos e interpretar los resultados obtenidos, para comparar la carrocería inicial y la carrocería diseñada por mí.

2.2. Alcance del proyecto

Se intenta comprender y cuantificar hasta qué punto se puede mejorar la eficiencia del rendimiento de la carrocería, es por eso, que el proyecto debe seguir una serie de requisitos:

- Entender los conceptos básicos de diseño y de aerodinámica
- Creación de la geometría de la carrocería de rally y determinar el modelo CAD para definir su mallado.
- Determinar los parámetros necesarios para la obtención del túnel de viento.
- Ejecutar las simulaciones e interpretar los resultados obtenidos.

Dentro del alcance del proyecto se incluye todo lo que se relacione con el diseño en 3D de la carrocería obtenida a partir de una maqueta de escala 1/24. La parte que queda fuera del proyecto es el estudio estructural de la carrocería y el estudio de materiales de fabricación de la carrocería, así como aspectos económicos.

3. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

3.1. Metodología

La Ingeniería Inversa es una metodología que se utiliza para obtener modelos o duplicados a partir de un objeto de referencia. A menudo, se confunde con la piratería por el copiado de productos, se define como aquel proceso analítico-sintético que busca determinar las características y funciones en un sistema, una máquina o un producto o parte de un componente o un subsistema.

Además, tiene una metodología asociada a una serie de fases:

- Fase 1: Conocimiento preliminar del objeto de referencia A.
- Fase 2: Diseño de un plan de investigación.
- Fase 3: Aplicación del plan al objeto de referencia.
- Fase 4: Sintetizar la información generada por el plan, generar el modelo B y demostrar la equivalencia entre generar el modelo B y el objeto de referencia A.
- Fase 5: Caracterizar el modelo B.
- Fase 6: Usar B para diversos propósitos.

Por otro lado, en tareas industriales, la Ingeniería Inversa se aplica de manera directa o indirecta en procesos, máquinas y el duplicado de partes y componentes. La experiencia indica que casi un 80 % de las actividades de la industria, están relacionados con algún método de la Ingeniería Inversa.

El procedimiento convencional se realiza por métodos de ingeniería concurrente, donde se desarrolla un producto a partir de unas especificaciones y exigencias previas (1), que permitirá generar un diseño inicial (2) para plasmar el concepto del producto y así fabricar lo buscado (3), con la característica de ser un proceso muy lento de desarrollo que requiere de estudios especializados y con la posibilidad de no cumplir con las expectativas del consumidor.

Por el contrario, la ingeniería inversa parte del producto final (3) y mediante la obtención de datos con equipos de alta tecnología y de manufactura avanzada consigue el diseño del producto (2) que será modificado según las exigencias y especificaciones del nuevo concepto y producirlo con éxito (3), con la característica de ser un proceso rápido (ya que parte de una solución), podrá introducir formas y geometrías libres que combinan precisión, disminución del tiempo de diseño y manufactura, reducción de costos de fabricación y desperdicios en proceso de diseño, lo cual ayuda a que las empresas manufactureras sean más eficientes en sus nuevos desarrollos en busca de una mayor competitividad.

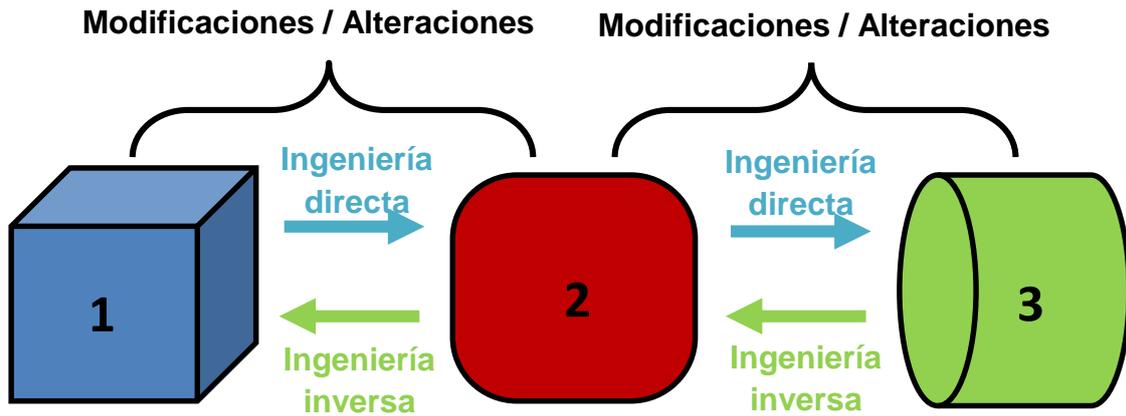


Ilustración 3-1. Metodología

3.2. Tecnologías

La principal tecnología corresponde al proceso de captura de la información geométrica de un objeto físico mediante herramientas tecnológicas de adquisición de datos, como: escáneres láser, digitalizadores ópticos, brazos de contacto, palpadores, mesas de medición de coordenadas y tomógrafos axiales computarizados. A esto se le llama digitalización en 3D.

Estos sistemas pueden medir objetos en tres dimensiones y almacenar la información geométrica capturada en un ordenador para ser manipulado posteriormente. La selección del sistema de digitalización depende de una serie de parámetros: precisión, velocidad, características del material, condiciones de la superficie, tamaño del objeto y condiciones de montaje.

Los digitalizadores se pueden dividir en dos tipos, son:

- **Digitalizadores de contacto:**

Estos sistemas utilizan probetas en forma cónica y esférica para capturar la información de los objetos cuando se produce contacto con la superficie del objeto. La información es adquirida en nubes de puntos, no capturan datos de topología y no son útiles para medir superficies deformables con la presión de contacto.

Aplicaciones: Las mesas de medición de coordenadas (MMC), los brazos de medición y los palpadores adaptables a sistemas CNC.

- **Digitalizadores de no contacto:**

Estos sistemas usan principios ópticos, acústicos o magnéticos para la captura de la información, permiten capturar la nube de puntos y la topología de la superficie en una malla poligonal de triángulos.

Aplicaciones: escáner láser y el escáner óptico, y en medicina se utilizan los tomógrafos axiales computarizados.

| EQUIPO | PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO | APLICACIONES |
|---|---|--|
| Escáner Láser 3D | Barrido láser de la pieza | Piezas pequeñas y medianas con formas libres |
| Mesa de medición de coordenadas y palpadores | Palpador mecánico de una probeta sujeta a un brazo o ejes móviles | Piezas con figuras geométricas de poca forma libre |
| Digitalización óptico | Tomas por medio de cámaras usando fotogrametría | Piezas de cualquier tamaño, con formas libres |
| TAC | Tomografías axiales computarizadas, Rayos X | Medicina |

Tabla 3-1. Aplicaciones

4. INGENIERÍA INVERSA

4.1. Historia

La Ingeniería Inversa ha sido utilizada desde la época primitiva del ser humano, para ir mejorando las herramientas y métodos de caza, siembra y cosechas, etc. Durante el transcurso de los años, se han modificado los materiales de las herramientas variando la forma de fabricarlos, hasta llegar a hoy en día.



Ilustración 4-1. Evolución de las herramientas

Por otro lado, la Ingeniería Inversa se ha utilizado en la Segunda Guerra Mundial, los aliados usaron la Ingeniería Inversa para poder ser competitivos con relación a la tecnología que mantenían los alemanes.

En muchos aspectos la guerra fue ganada por el hecho de conocer, duplicar y mejorar las armas y métodos que desarrollaron los alemanes.

En cuanto a estrategia de innovación tecnológica se refiere, son los países asiáticos como Japón y China, son el claro ejemplo de haber usado la Ingeniería Inversa como método de desarrollo tecnológico para mejorar sistemas, máquinas y procesos de fabricación.



Ilustración 4-2. Segunda Guerra Mundial

Más tarde, apareció la primera persona que se cuestionó una serie de preguntas inquietantes sobre la Ingeniería Inversa. Algunas de las preguntas que se hizo son las siguientes:

- ¿La ingeniería Inversa restringida se podrá aplicar solo a los productos terminados?
- ¿Puede la ingeniería Inversa aplicarse entre organizaciones?
- ¿Se podrá utilizar como copia para mejorar estructuras y sistemas?

Esta persona que obtuvo otro punto de vista de la Ingeniería Inversa y que desarrollo y estudió esta nueva tecnología, se llama Francesco Vianello (30 de agosto de 1952 hasta el 3 de mayo de 2009), conocido como “Fravia”, su tiempo lo dedicó a su archivo web de las técnicas y trabajos sobre Ingeniería Inversa.

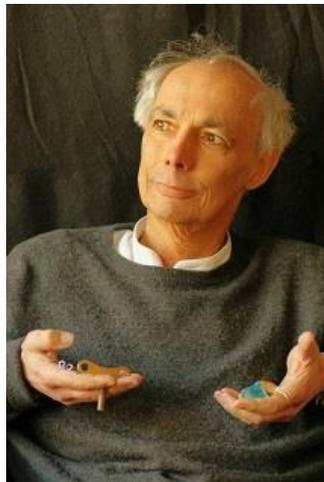


Ilustración 4-3. Francesco Vianello

En la actualidad (en pleno siglo XXI), los productos sometidos a la Ingeniería Inversa son los programas de computadoras y los componentes electrónicos, pero, en realidad, cualquier producto, estructura o sistema puede ser objeto de un análisis de Ingeniería Inversa.

En el mundo actual, la Ingeniería Inversa se aplica para todo tipo de empresas, de todos los ámbitos tecnológicos. Algunos de los usos principales son los siguientes:

- Investigar, analizar y comprender la tecnología utilizada por otras naciones o por otras empresas.
- Analizar los productos de la competencia sin infringir las patentes de las otras empresas.
- Desarrollar productos que sean compatibles con otros productos, sin tener acceso a los detalles técnicos de estos últimos.
- Comprobar la seguridad de un producto, en informática, por ejemplo, para conocer las brechas de seguridad que pueda tener el programa.

4.2. Definición

La Ingeniería Inversa (RE = Reverse Engineering) se puede describir de distintas maneras, como:

- *“Aquel proceso por el cual una parte existente o un modelo físico es recreado o clonado.”*
- *“Es el proceso de diseñar un sustituto, el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. La Ingeniería Inversa es un rediseño de diversos aspectos del producto original y de su análisis, y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible.”*

La Ingeniería Inversa puede ser aplicada en cualquier fase que componen el proceso de desarrollo del producto, de igual forma puede aplicar a cualquier sector industrial como: automoción, cosmética, electrónica, etc. así como para cualquier tipología de piezas o producto como: piezas estructurales, de diseño, de plástico, metal, etc.



Ilustración 4-4. Ingeniería Inversa

4.3. Descripción del proceso

El proceso de la ingeniería inversa se compone de dos etapas: la digitalización 3D del objeto físico, y la reconstrucción de superficies mediante la aplicación de sistemas CAD/CAM/CAE especializados para la ingeniería inversa.

El modelo CAD obtenido puede ser manipulado de acuerdo a las necesidades del diseño, y generalmente se procede a la manufactura del objeto empleando herramientas CAM, maquinado CNC y sistemas de Prototipado Rápido.

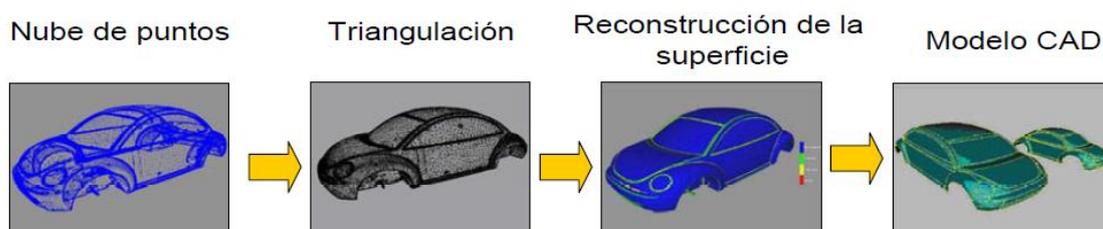


Ilustración 4-5. Proceso de diseño

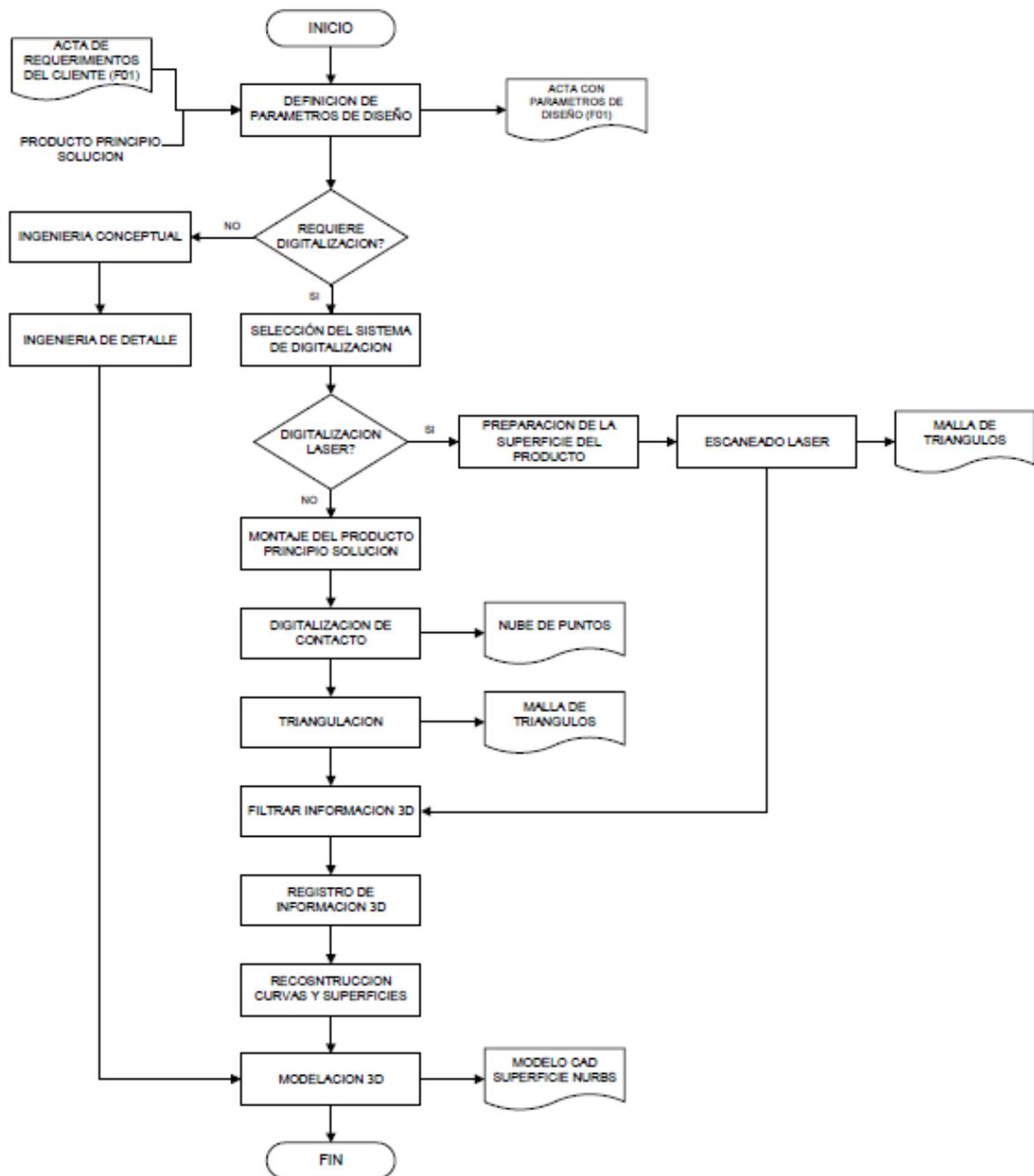


Ilustración 4-6. Diagrama de flujo del proceso

Con el diagrama de flujo se muestra un proceso de Ingeniería Inversa donde se integran los procesos de digitalización, reconstrucción de superficies e integración de modelo CAD.

Por tanto, las tres técnicas que se basa la Ingeniería Inversa son las siguientes:

- Proceso de digitalización
- Reconstrucción y mallado de las superficies
- Integración del modelo CAD

4.3.1. Proceso de digitalización en 3D

Como se ha dicho anteriormente, La digitalización se basa en captar toda la información geométrica de un objeto que va a ser estudiado, mediante herramientas y datos que obtienen los equipos.

El proceso de digitalización se produce de acuerdo a su principio de funcionamiento:

- **Nubes de puntos segmentadas:**

Consiste en que el técnico seleccione distintos puntos aleatorios sobre la pieza o el producto para generar entidades geométricas de referencia a aquellas superficies que tengan una forma compleja y así conformar el objeto 3D. La nube de puntos está compuesta por un conjunto de puntos cartesianos (X, Y, Z) almacenados en un archivo de texto.



Ilustración 4-7. Brazo de medición

- **Nube de puntos no segmentada:**

Se basa en crear una muestra indiscriminada de puntos sobre la superficie del objeto. Se produce una nube de puntos mediante sistemas automáticos de palpadores, cuya densidad depende del tamaño del objeto, sistema de digitalización y resolución de digitalización.

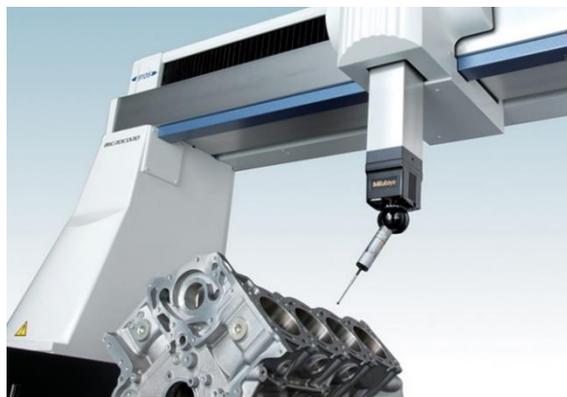


Ilustración 4-8. Mesa de medición de coordenadas MMC

- **Mallas poligonales:**

Captura los datos geométricos de la nube de puntos y la conectividad entre puntos mediante las mallas poligonales triangulares.

La malla poligonal se puede definir como la primera aproximación al modelo CAD del objeto físico digitalizado. Puede ser utilizado en manufactura, prototipado rápido en herramientas CAE.



Ilustración 4-9. Sistemas de escaneo láser y ópticos

- **Archivos de imágenes DICOM:**

Consiste en generar unas imágenes de corte sobre un cuerpo, además, estas imágenes utilizan una escala de colores asociada a la densidad de cada tejido o superficie.

Cada archivo de las imágenes es en 2D, pero al unir todos los cortes realizados en una muestra se obtiene en 3D. Se utiliza en el sector de la medicina.



Ilustración 4-10. Tomógrafos axiales computarizados (TAC)

4.3.2. Preprocesamiento y segmentación

El preprocesamiento y la segmentación son procesos que preparan la información 3D para la reconstrucción de superficies Nurbs (Superficies curvas complejas) dependiendo de los elementos propios del proyecto, la calidad de la información de captura y el estado de segmentación de la información.

La finalidad que pretende conseguir, es mejorar la calidad de la información para facilitar la reconstrucción y la integración del modelo CAD. Para mejorar la calidad lo que se intenta, es reducir el ruido al máximo posible consiguiendo una triangulación de los nodos correcta y la malla y su volumen perfectamente definidos.

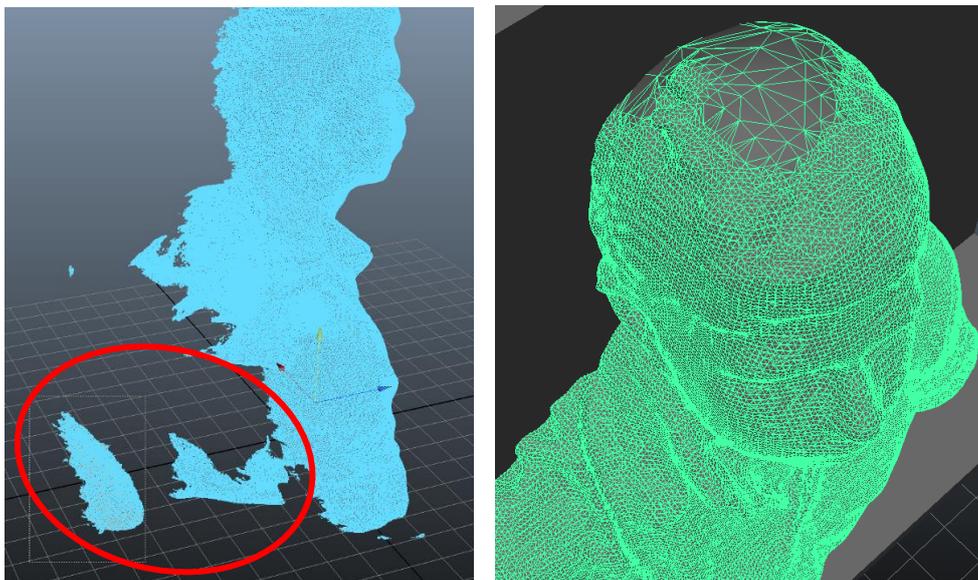


Ilustración 4-11. Ruido en el mallado

El trabajo del ingeniero es utilizar herramientas del programa CAD para crear las superficies mediante operaciones como la de extrusión, revolución, barridos, recubrimiento, ... para obtener el objeto 3D.

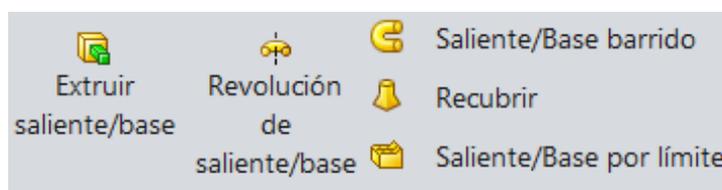


Ilustración 4-12. Herramientas del CAD

A continuación, se tratará de explicar brevemente los procesos que debe realizar el ingeniero durante el preprocesamiento y segmentación de cualquier proyecto de ingeniería inversa:

- **Tratamiento de nube de puntos segmentada:**
Permite importar los paquetes CAD desde la digitalización para utilizar los puntos como referencia y así generar entidades geométricas para conformar e objeto 3D.
- **Tratamiento de nube de puntos no segmentada:**
Se filtra la nube de puntos para eliminar información ruidosa de la medición y prepara la nube de puntos para la generación de la malla triangular, respetando la distancia entre nodos.
- **Triangulación:**
La nube de puntos puede ser trianguladas mediante algoritmos que detectan la unión entre nodos generando la topología de las caras triangulares.
- **Generación de contornos a partir de la nube de puntos:**
Es un proceso en el cual se segmenta la información de la nube de puntos en distintos niveles. Con el objetivo de unir un conjunto de curvas mediante la operación de recubrimiento o barrido.
- **Tratamiento de información a partir de tomografías axiales computarizadas:**
Se utilizan los archivos DICOM, consiste en un campo escalar tridimensional de densidades mediante una escala de colores para mejorar la imagen y el contraste de los objetos 3D.
- **Filtro de información malla poligonal:**
Busca eliminar la información escaneada no perteneciente al modelo del objeto, eliminar el ruido, disminuir la densidad de puntos sin disminuir su precisión y eliminar caras incorrectas en la malla como caras cruzadas.
- **Segmentación:**
Permite decidir la malla poligonal en superficies. Se requiere analizar las zonas de los puntos, determinar el número de superficies presentes en la información escaneada y analizar los vectores normales y la curvatura en la malla poligonal.
- **Registro de imágenes de rango:**
Los procesos de digitalización realizan múltiples escaneados a un objeto para obtener las vistas en diferentes ángulos. Las vistas capturadas unidas entre sí generan una malla que representa la superficie visible de objeto. El registro es el proceso donde las imágenes de rango son ubicadas en posición para ser unidas y formar una única superficie.

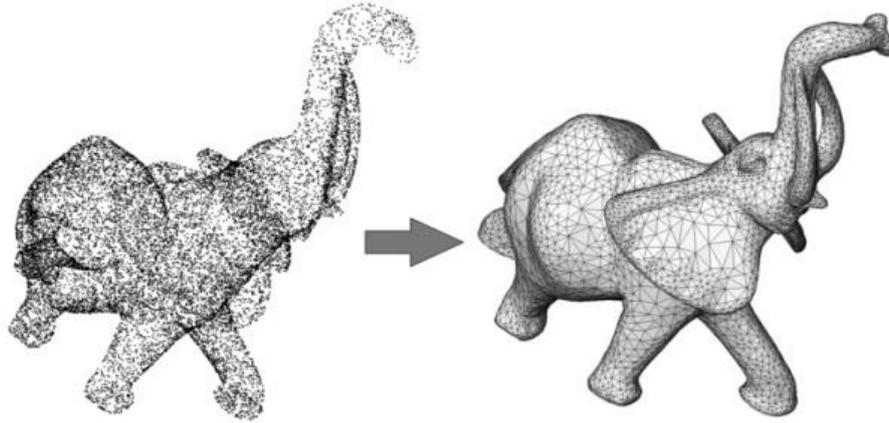


Ilustración 4-13. Nube de puntos y Mallado

4.3.3. Reconstrucción de superficies

La reconstrucción del modelo, parte de convertir la malla de triángulos a superficies Nurbs para poder ser utilizadas en los sistemas de CAD/CAM/CAE. El resultado que se consigue es la de un modelo CAD integrado en las superficies nurbs.

Además, sigue una serie de pasos para obtener correctamente la reconstrucción de las superficies en los distintos objetos:

- **Optimización de malla poligonal:**
Se optimiza la malla mediante la eliminación de agujeros existentes, suavizar la superficie de la malla, eliminación de errores que no se desean en el diseño y mejorar la distribución y la orientación de los triángulos de la malla.
- **Ubicación malla poligonal:**
Se realiza la ubicación del sistema de coordenadas para facilitar el manejo de entidades de referencia como planos, ejes, vectores, etc. Incluso, en los programas CAD aparecen herramientas que permiten la rotación y la translación en modelo dependiendo de la posición que se requiera.
- **Detección de simetrías y reparaciones:**
Permite simplificar al máximo la reconstrucción de superficies mediante cuerpos simétricos y al mismo, detectar aquellas áreas que necesiten una reparación.
- **Verificación de la malla:**
Se verifica las dimensiones principales del objeto y la coherencia dimensional del modelo para detectar errores en el proceso de digitalización y en la ubicación y el registro del objeto 3D.

- **Detección de rasgos:**
Permite detectar curvas características del modelo CAD incluso aquellos rasgos donde se ha suavizado la superficie con redondeos mediante algoritmos de extracción de superficies.
- **Generación de curvas y superficies Nurbs:**
Permite detectar aquellos cambios de curvatura que se producen en las superficies del objeto diseñado. Se suelen utilizar herramientas como curvas de nivel, curvas radiales, curvas interpolares, curvas de frontera y curvas de referencia.
- **Verificación de las superficies Nurbs:**
Se verifica la malla para determinar su calidad mediante el análisis de desviación dimensional de la superficie con respecto a la malla poligonal. También se debe verificar los cambios de curvatura y sus formas libres orgánicas.
- **Integración de modelo CAD:**
Se realiza la unión de superficies en un modelo CAD sólido para garantizar una calidad adecuada en el resultado final.
- **Definición de detalles:**
Los detalles como los redondeos se realizan al final del proceso para que no se vea interferido con la reconstrucción de las superficies Nurbs y de la integración del CAD.

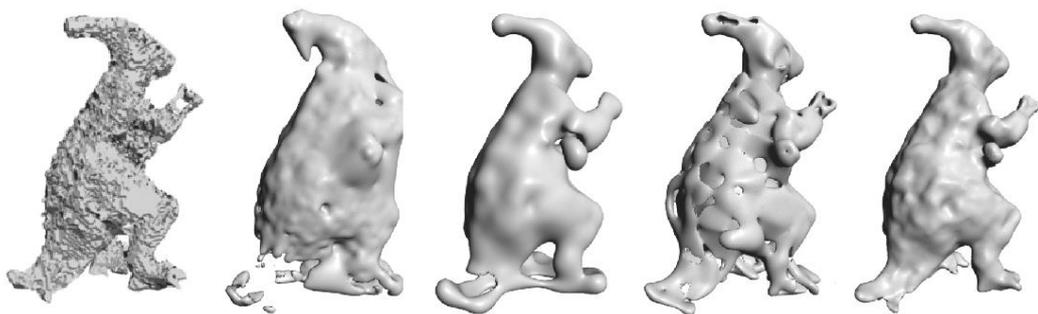


Ilustración 4-14. Reconstrucción de superficies Nurbs

4.3.4. Parámetros de evaluación

En la ingeniería inversa se requiere de los siguientes parámetros para evaluar la calidad, el coste y las etapas de desarrollo de los distintos objetos 3D que se hallan diseñado:

- **Precisión:**
Es el grado de incertidumbre del modelo desarrollado con el objeto medido.
- **Resolución:**
Es el espacio que existe entre dos puntos obtenidos en el proceso de digitalización. Cuando mayor sea la resolución más detalles e capturan, pero aumenta su tiempo de operación.
- **Rango:**
Es la dimensión máxima que se puede acceder para definir el objeto de manera manufacturarle, y en algunas ocasiones requiere de un determinado número de etapas para ser desarrollado.
- **Tiempo:**
Es el tiempo de evaluación proyectado respecto al tiempo real de ejecución.
- **Coste:**
Es la evaluación entre el coste del presupuesto con respecto al coste real.
- **Manufacturabilidad:**
Es la característica del producto que posibilita la manufacturación de un diseño de acuerdo al volumen que requiere el cliente.

5. DISEÑO DE LA CARROCERÍA

Se procede a la digitalización del diseño de la carrocería a partir de una maqueta a escala 1/24 en 3D, se aplicará dos procesos de escaneo diferentes para determinar cuál de los dos procesos es el que mejor se adapta a nuestras características del proyecto. Los procesos de escaneo son: Proceso de escaneado por láser y el proceso de escaneado por una luz estructural.

Posteriormente, se realizarán las diferentes capturas de imagen a partir de un escáner, y con la ayuda de un software que permitirá unir las distintas imágenes seleccionadas en una sola imagen, además de poder mejorar la calidad y el contraste de la imagen.

Finalmente, se desarrolla la reconstrucción del modelo CAD, con la ayuda del programa Solidworks, provocando un rediseño de la carrocería. Se realizará una impresión 3D del prototipo de la carrocería modificando a una escala menor.

5.1. Digitalización 3D

En el proceso de digitalización 3D, se comparará dos formas de realizar el escaneo: Proceso de escaneado por láser (Ciclop Bq) y proceso de escaneado por luz estructural (Optical Reveng Dental). Se escoger aquel proceso de escaneo que sea conveniente para los requisitos que se plantean en este proyecto.

Se consigue realizar un proceso de adquisición de la geometría mediante la captura en imágenes del rango de mallas poligonales que se almacenan en la nube de puntos y en la topología de la malla.

5.1.1. Ciclop Bq

Este equipo consiste en un escáner basado en una plataforma rotativa de triangulación 3D. Este escáner 3D, está formado por una estructura de piezas impresas en 3D, pueden ser construidas por el cliente, y está compuesto por una serie de varillas, una cámara web, dos láseres de línea y una plataforma que gira 360 ° mediante un motor paso a paso.

En relación con este equipo, ha sido desarrollado desde cero por Horus, una aplicación completa de escritorio para escaneo 3D, y ha sido publicado a la comunidad bajo licencia Creative Commons Attribution- ShareAlike 4.0.

Ciclop utiliza la proyección de dos láseres, el cual el punto donde se cruzan ambos láseres, esté situado en el centro del objeto que va a ser escaneado, consiguiendo capturar la geometría y la textura de la carrocería del vehículo de rally a través del giro que se realiza en la plataforma.



Ilustración 5-1. Ciclop Bq

FACTORES

Dependiendo de si se quiere realizar un escaneo con o sin textura, las condiciones a tener en cuenta son diferentes. Se procederá a determinar los factores que se tiene que tener en cuenta a la hora de realizar este tipo de escaneo. Los factores son los siguientes:

- **Iluminación:** Se debe situar en una zona donde haya buena iluminación, pero esta debe de ser indirecta y de densidad media. Evitando la aparición de reflejos y brillos en la superficie de la carrocería que se está escaneando. Intentar evitar situaciones donde se proyecten sombras sobre la carrocería



Ilustración 5-2. Brillos y reflejos de la carrocería

- **Material de la carrocería:** Hay que tener en cuenta el material, ya que algunos objetos tienen acabados brillantes o reflectantes y la cámara web los capta como parte del objeto. Por otra parte, los objetos con acabados mates dan muy buen resultado al ser escaneados, por eso se le puede añadir un quitamanchas en polvo aquellas piezas con mayor grado de brillo, durante el secado de la misma.



Ilustración 5-3. Proceso de eliminación de los brillos de la carrocería

- **Color del objeto:** El haz de luz que proyectan los láseres es de color rojo, por esta razón la pieza a escanear no puede ser de color roja ya que daría problemas a la hora del escaneado. El mismo problema se produce cuando el color es demasiado claro o demasiado oscuro. Se recomienda ajustar el Umbral, el Brillo y el Contraste de escaneo para obtener resultados coherentes.
- **Forma del objeto:** Las nubes de puntos resultantes de escanear objetos con agujeros, huecos o caras ocultas pueden mostrar puntos en zonas donde no existe material o bien pueden no mostrar partes que hayan quedado ocultas.



Ilustración 5-4. Color y Forma del objeto

CALIBRACIÓN

Para el equipo Ciclop Bq se deberá instalar el programa Horus para el escaneado. Antes de proceder al escaneado de la carrocería, se deberá calibrar el equipo de escaneo.

- Calibrar el giro y la velocidad del motor paso a paso.
- Calibrar la proyección de los dos láseres, se puede utilizar un láser izquierdo o derecho, o ambos. Se ajusta la verticalidad de los láseres mediante patrones
- Calibrar el LDR (Sensor de luz lumínica). El rango de este sensor va de 0 a 1023 lum.
- Regular la cámara Web.

El trabajo de calibración permite editar los ajustes de los componentes del escáner:

- **Parámetro Cámara:**
Modifica los ajustes de las imágenes capturas por la cámara.
Si el patrón aparece con los vértices destacados por puntos de colores y unidos por líneas como aparece en la ilustración, significa que se ha detectado correctamente. Si no aparecen las líneas se deberá modificar los parámetros de la cámara hasta conseguir detectarlas.

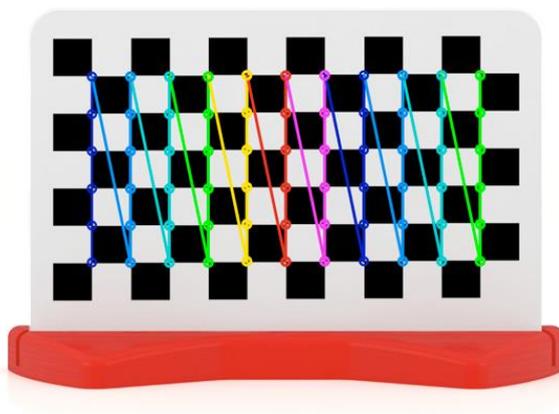


Ilustración 5-5. Calibración de la cámara

- **Parámetros Patrón:**
Modifican los parámetros del patrón de calibración.
Por defecto el patrón está formado por cuadrados negros y blancos de 13mm de lado. Los parámetros que hay que introducir son las columnas y filas formadas por los vértices de los cuadrados interiores.

La distancia del patrón se refiere a la distancia entre el lado superior del cuadrado de la parte inferior izquierda del patrón hasta la plataforma giratoria del escáner, tal y como se muestra en la ilustración. Todos estos parámetros se pueden modificar en caso de que se utilice un patrón diferente.

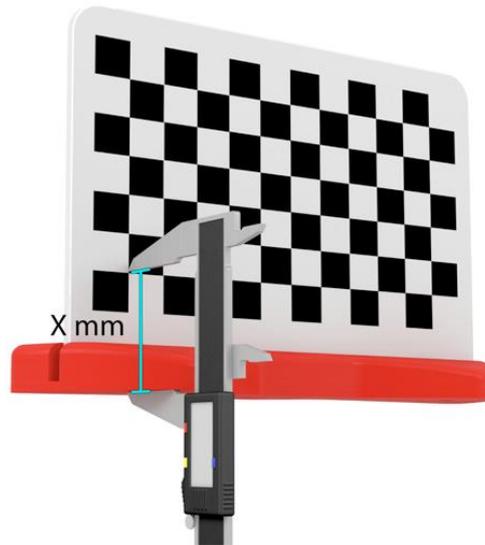


Ilustración 5-6. Calibración del Patrón

- **Parámetros Láser:**

Modifican el parámetro de detección de taller. También permite encender y apagar los láseres.

La triangulación del láser consiste en determinar la inclinación y distancia de la intersección entre los dos láseres y el plano central de la cámara. Es una de las calibraciones más importantes. Se ajusta la verticalidad de los láseres utilizando el patrón.

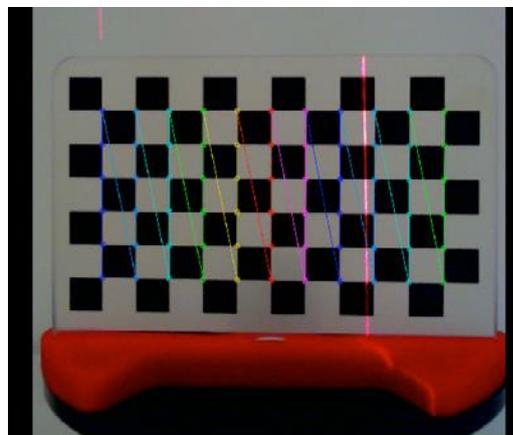


Ilustración 5-7. Calibración de los láseres

ESCANEADO

Una vez que se realiza toda la calibración y se determina todos los parámetros del escáner, se procede a realizar distintas pruebas de escaneado.

La prueba se realizó con una luminosidad baja, e incluso, se colocó una caja para eliminar aún más la luminosidad del aula. Se observa que este tipo de escáner no nos conviene para este proyecto ya que se producen problemas de iluminación y ruido en el ambiente que se deberán de eliminar con otro programa ya que el Horus no tiene la opción de eliminar ruidos.

Por tanto, se optó en cambiar el tipo de escáner. EL escáner que a continuación se explicar con detalle, que es la Optical Reveng Dental.

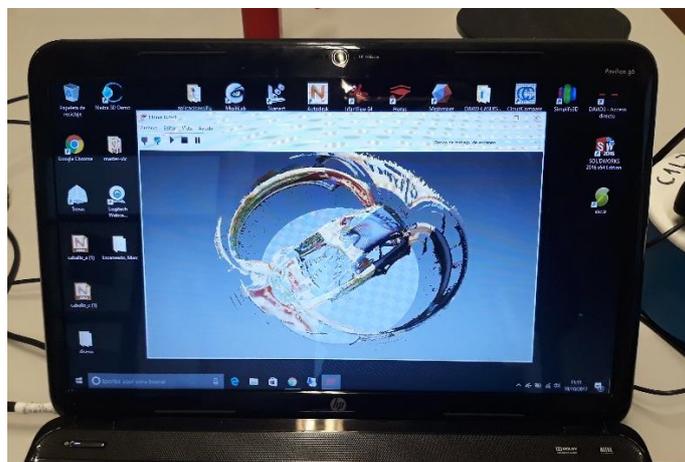


Ilustración 5-8. Prueba de escaneado con luminosidad



Ilustración 5-9. Prueba de escaneo con baja luminosidad

5.1.2. Optical Reveng Dental

APLICACIONES

Este escáner se utiliza para el sector de medicina como, para la reconstrucción de dientes, obtener un modelo de dientes para realizar un estudio más exhaustivo y detectar los problemas que suelen aparecer. Pero para este proyecto, se ha optado este tipo de proceso de escaneo ya que nos permite una mayor calidad y el poder eliminar del propio escáner cualquier ruido que aparezca al realizar el escaneo de imágenes, con respecto a la Ciclop Bq.



Ilustración 5-10. Optical Reveng Dental

La forma de escaneado se realiza mediante un software proporcionado por la misma compañía, que permite determinar los giros de la plataforma en 360°, por tanto, obtendremos más puntos y mayor calidad de imagen.

Una de las ventajas que nos proporciona este tipo de tecnología es su buena resolución y calidad de imagen, pero económicamente es de las más caras.

Uno de los inconvenientes, se produce cuando se realiza el escaneado con la compuerta abierta ya que puede detectar ruidos debido a los reflejos de las luces que pueden incidir del exterior. Otro inconveniente es que permite el escaneado de aquellas piezas que entren en el habitáculo del escáner sin sobre pasar su altura.

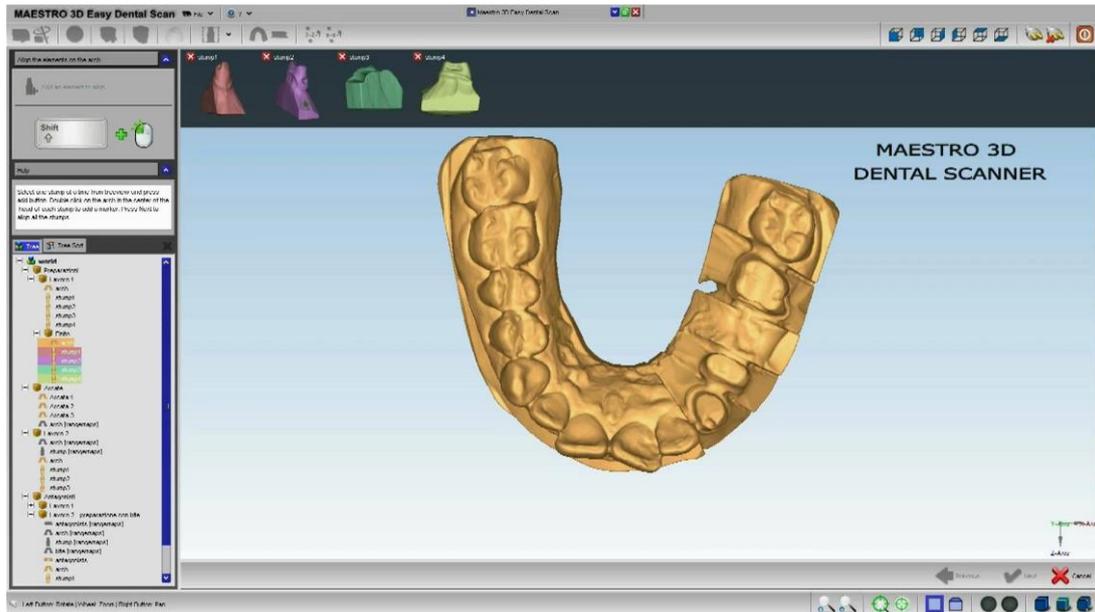


Ilustración 5-11. Software para el sector de la medicina

PROCESO DE ESCANEADO

Se trata de un escáner óptico que proyecta un patrón de luz, que puede ser de diferentes colores, este patrón de luz recibe el nombre de luz estructurada. Puede ser de diferentes colores ya que la luz ambiental puede influir en la lectura del escáner, la luz para la que está preparada, es del mismo color, al igual que el color del objeto también influye en el escaneado. Un escáner de luz blanca, al tener un espectro más amplio, se ve menos afectado, pero tendrá dificultades con un objeto completamente negro.



Ilustración 5-12. Proceso de escaneado

Su principio de funcionamiento consiste en generar una multitud de bandas que se van orientando con distintas angulaciones, pudiendo variar estos ángulos.

El equipo incorpora una plataforma giratoria, que consiste en realizar particiones de luz, por cada giro (entre 0° y 45°) puede realizar desde 8 hasta 20 captaciones o fotogramas, dependiendo del ángulo que le introduzcamos.

Además, la plataforma puede bascular entre 0° y 45° , para piezas de gran tamaño donde hay zonas que el escaneado no suele apreciarse correctamente.



Ilustración 5-13. Patrón de luz

FACTORES

Uno de los factores más importantes que se ha tenido en cuenta, es el posicionamiento de la carrocería ya que su escala era demasiado grande para la zona que requiere del escaneo. Se hicieron varias pruebas para posicionar la carrocería y así detectar hasta que zona o área permitía el escaneo.



Ilustración 5-14. Posicionamiento de la carrocería

Como se puede observar en las imágenes anteriores, no se pudo posicionar de esta manera, ya que no era la forma más adecuada de sujetar el objeto a la plataforma giratoria y podía caer el objeto durante el proceso de escaneado.

Por tanto, se obtuvo que la mejor manera de realizar el escaneado es dividiendo la carrocería en tres partes: parte delantera, parte trasera y parte central.

Una vez que se situó la zona de escaneado, se procedió a realizar distintas pruebas modificando los parámetros de precisión y calidad del software del escáner. Se capturó distintas imágenes de la parte delantera, trasera y central de la carrocería, y así escoger aquellas imágenes que nos convengan y unir las entre sí para completar la carrocería, mediante otro programa (Meslab), se explicará en el siguiente apartado.



Ilustración 5-15. Parte delantera



Ilustración 5-16. Parte trasera

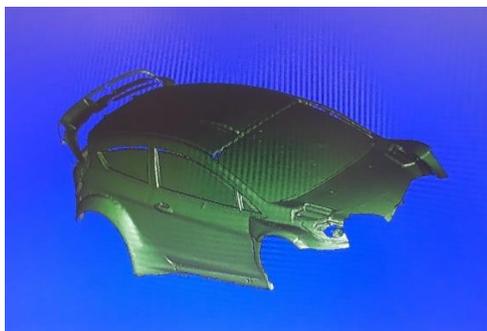


Ilustración 5-17. Parte central

En comparación con los de luz láser, estos escáneres tienen mayor exactitud debido a que cuentan con más información y tecnología. La luz estructurada tiene una exactitud de 5 μm y una precisión de 2 μm , según el fabricante.

A igual que en el Ciclop Bq, se ven afectados por superficies donde las zonas del objeto sean brillantes o translúcidas. Para solucionar este problema, se le suele añadir un spray para eliminar el brillo que pueda existir en el objeto a escanear.

La aplicación Optical Reveng Dental se pensó para permitir llevar a cabo una serie de operaciones:

- **Escaneado óptico 3D:** Es la generación de las imágenes de profundidad de la parte del objeto enfocado por el escáner.
- **Alineación de las imágenes de profundidad:** Es el conjunto de funciones que permiten integrar escaneados de objetos, o partes de ellos, diferentes para posicionarlos con precisión el uno con el otro.
- **Pulido de las imágenes de profundidad:** herramientas que permiten eliminar los puntos sueltos indeseados presentes en las imágenes de profundidad.
- **Generación de malla triangular:** Es el conjunto de funciones t algoritmos que pueden convertir las imágenes de profundidad en mallas triangulares.
- **Edición de la malla:** Herramientas para elaborar la malla triangular, como ejemplo, alisado, eliminación de picos,

5.2. Programas y Softwares

En este apartado, se va a proceder a determinar aquellos programas o softwares que permitan la reconstrucción del modelo CAD a partir de las imágenes que se han seleccionado anteriormente en el proceso de escaneado y así, empezar con la reconstrucción de la carrocería como un objeto sólido.

Se realiza un procesamiento de la geometría e integración del modelo CAD. La integración del modelo CAD se logra mediante el registro de las imágenes de rango, producto del proceso de escaneado. El proceso de registro es la alineación de las imágenes de rango de aprovechando a la zona compartida entre cada par de imágenes, debe existir un área amplia y con rasgos característicos para que exista un buen ensamblaje de toda la superficie del producto. Uniendo las imágenes de rango, se obtiene el modelo CAD.

5.2.1. Meshlab

Meshlab es una herramienta avanzada de procesamiento de mallas 3D y un sistema de software muy utilizado en áreas más técnicas de desarrollo en 3D y manejo de datos. Es un software libre de código abierto, bajo la licencia GNU (GPL).

Se trata de un sistema orientado a la transformación de modelos 3D no estructurados a partir del proceso de digitalización en 3D. Meshlab está orientado a la gestión y procesamiento de mallas no estructuradas y proporciona un conjunto de herramientas para la edición, limpieza, reparación, inspección, representación y conversión de este tipo de mallas.



Ilustración 5-18. Logotipo Meshlab

Este programa se caracteriza por poder aplicar distintos filtros de limpieza de mallas incluyendo la eliminación de duplicados, vértices sin referencias, aristas no múltiples, caras y vértices nulos. Las herramientas de remallado se basan en el error cuadrático, superficies de subdivisión y algoritmos de reconstrucción de la superficie de las nubes de puntos (Técnica “ball-pivoting”) y el enfoque de la reconstrucción de superficie de Poisson. Para la eliminación de ruido, Meshlab posee varios tipos de filtros de suavización y herramientas para el análisis y visualización de la curvatura.

Meshlab está disponible para la mayoría de plataformas: Windows, Linux, Mac OSX, y con funcionalidad reducida para IOS y Android. El sistema es compatible con los siguientes formatos: PLY, STL., OFF, OBJ, 3DS VRML 2.0, U3D, X3D y COLLADA.

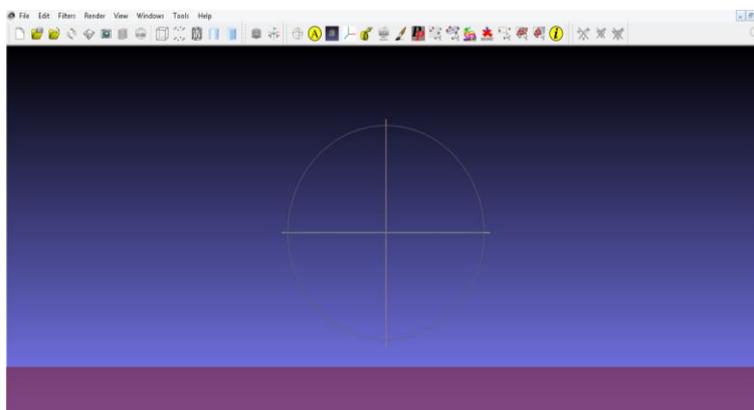


Ilustración 5-19. Ventana inicial del Meshlab

RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO 3D

1. ELECCIÓN DE FORMATO

Antes de iniciar la reconstrucción del modelo CAD, todas las imágenes realizadas en el proceso de escaneo se deberá elegir aquel formato que sea compatible con el programa Meshlab. El formato que se utiliza es el “obj.” (Archivo Objeto 3D). Por tanto, en el proceso de escaneo con la Optical Reveng Dental se deberá cambiar el formato a OBJ.

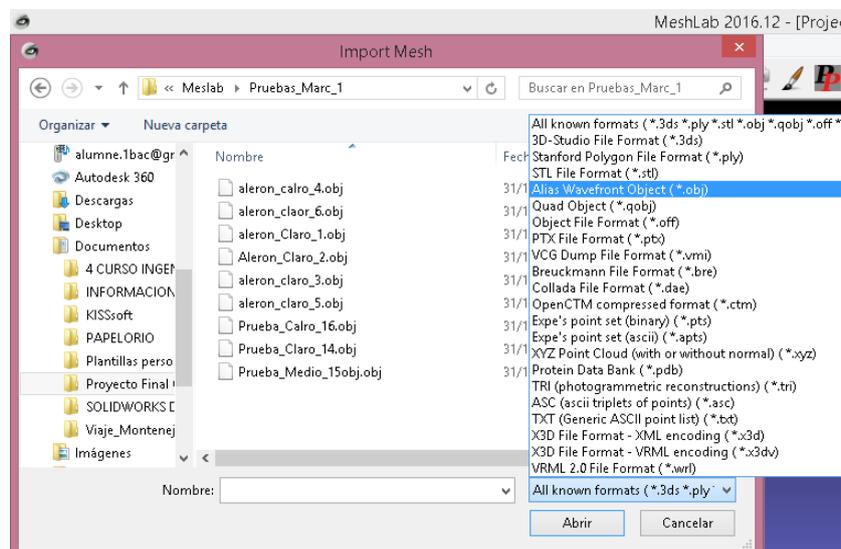


Ilustración 5-20. Formato Obj

2. ALINEACIÓN

El proceso de alinear consiste en determinar aquellas imágenes que tenga mayor información de la malla y mayor calidad de imagen que se han capturado durante el proceso de escaneo, para orientar y unir diferentes superficies mediante unos puntos de referencia que nosotros determinamos.

En primer lugar, se visualizarán las dos imágenes escaneadas que se quieran unir, una de las imágenes se le dará la opción de “Glue Here Visible Meshes”, permite que la superficie sea visible para realizar el alineado, mientras que la otra imagen, se mantendrá seleccionada y se dará la opción de “Point Based Glueing”, permite añadir los puntos de referencia.



Ilustración 5-21. Proceso de Alineación

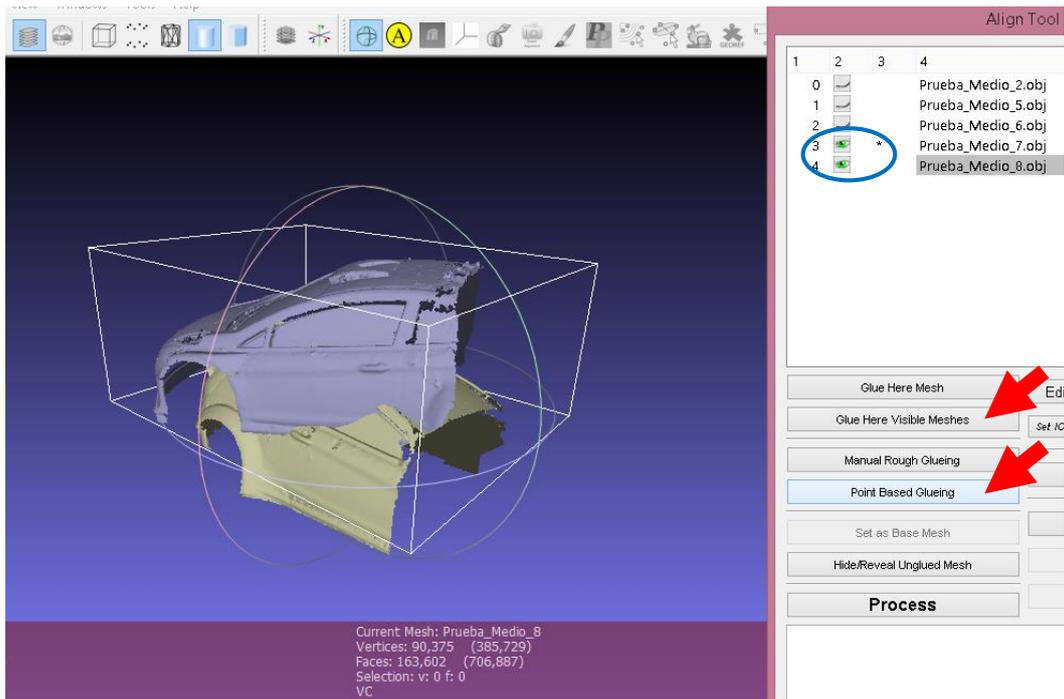


Ilustración 5-22. Las opciones para el alineado

A continuación, se procederá añadir los puntos de referencias en zonas donde sean visibles y donde coincidan los puntos de una imagen con la otra imagen, para poder realizar correctamente la unión. Al menos se añadirán siete puntos de referencia, siguiendo un orden de enumeración y una orientación.

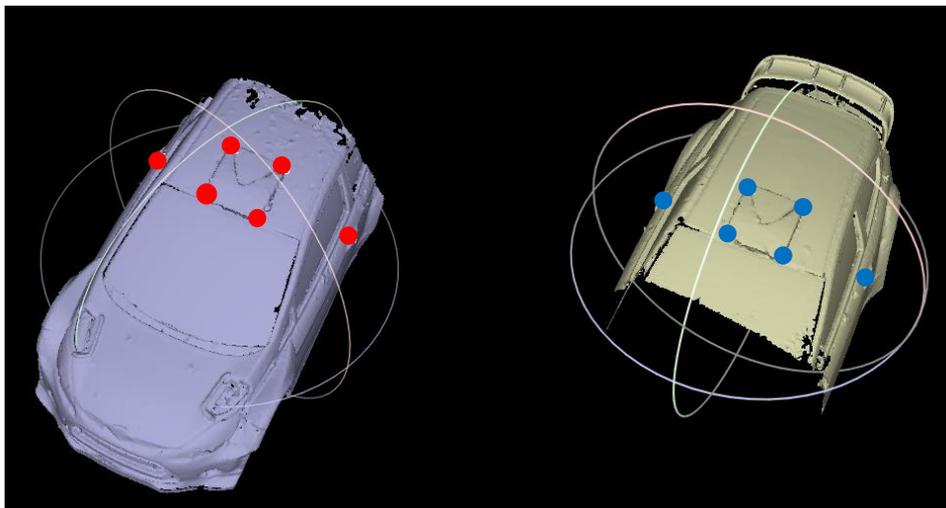


Ilustración 5-23. Puntos de referencia

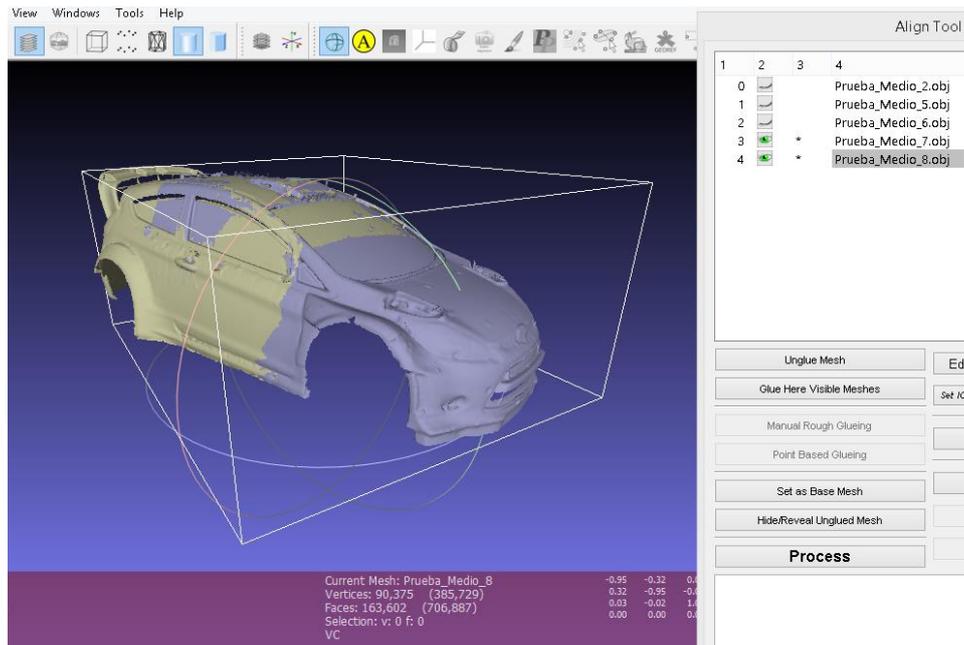


Ilustración 5-24. Orientación de las superficies

Para la unión de estas superficies, se debe seleccionar una opción de “Flatten Visibles Layers”, permite la unión de las dos imágenes y transformándola como un sólido. Luego, se renombrará la unión que se ha realizado para saber cuántas uniones se han hecho falta, y se introducirá el número de versión, ya que este proceso se realizará varias veces hasta conseguir un único sólido de todas las imágenes que se han seleccionado.

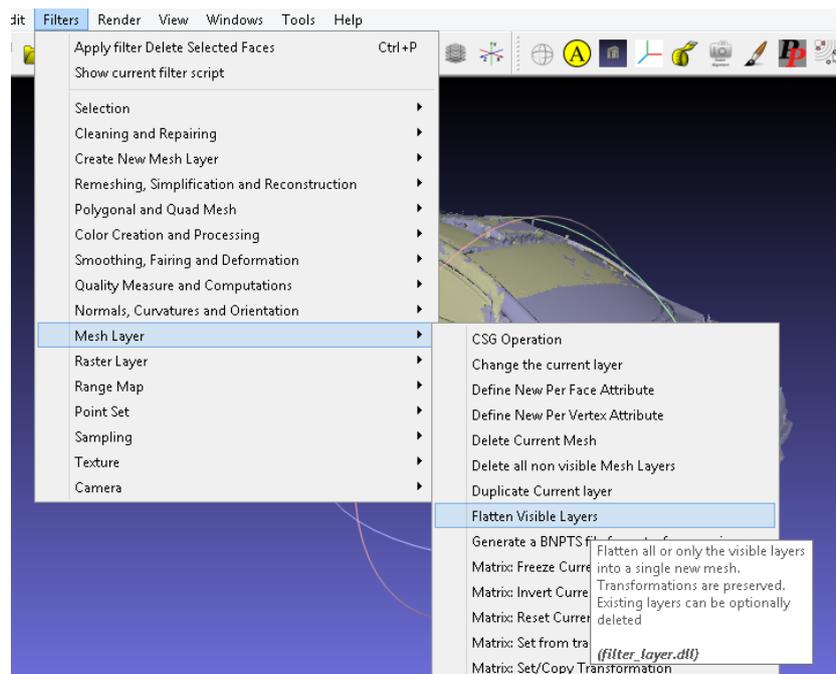


Ilustración 5-25. Opción “Flatten Visibles Layers”

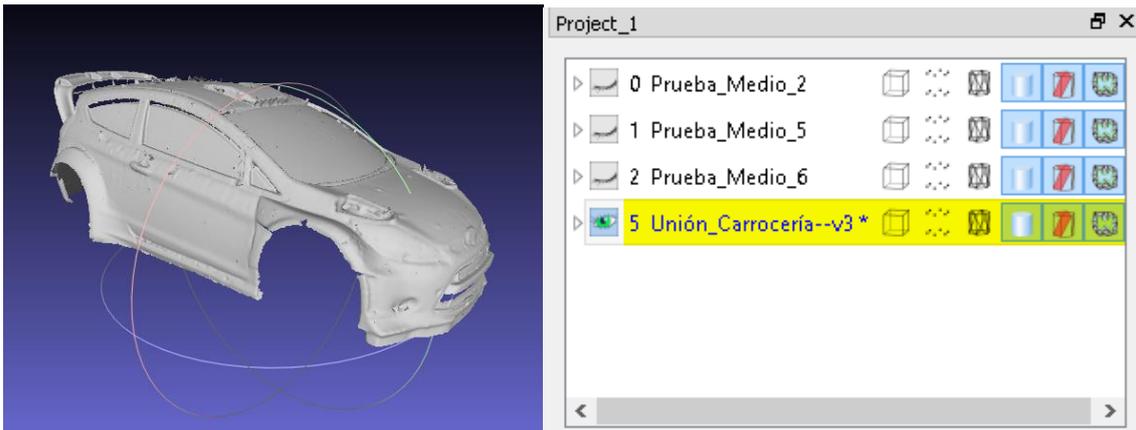


Ilustración 5-26. Renombrar y enumerar en versiones

Este mismo proceso se continuará realizando para las otras imágenes. A continuación, se introducirán algunas de las uniones que se han optado:

VERSIÓN 4:

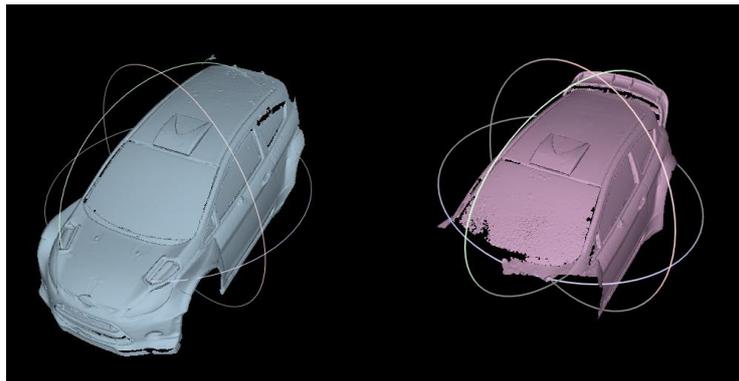


Ilustración 5-27. Puntos de referencia

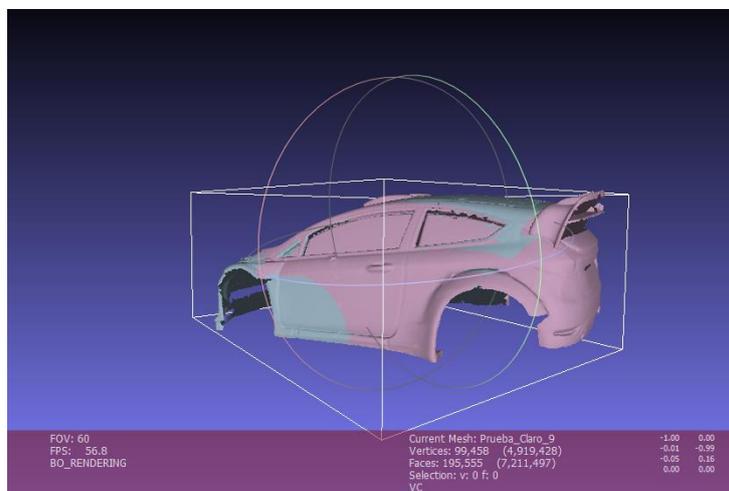


Ilustración 5-28. Orientación de superficies

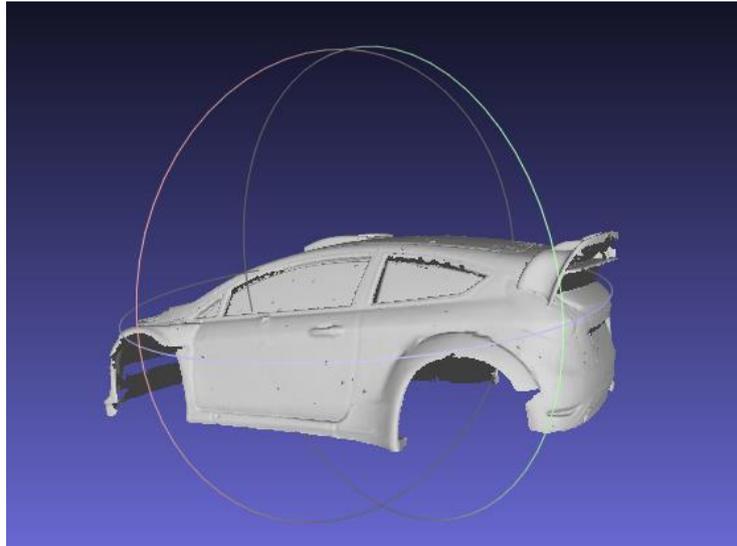


Ilustración 5-29. Unión de superficies

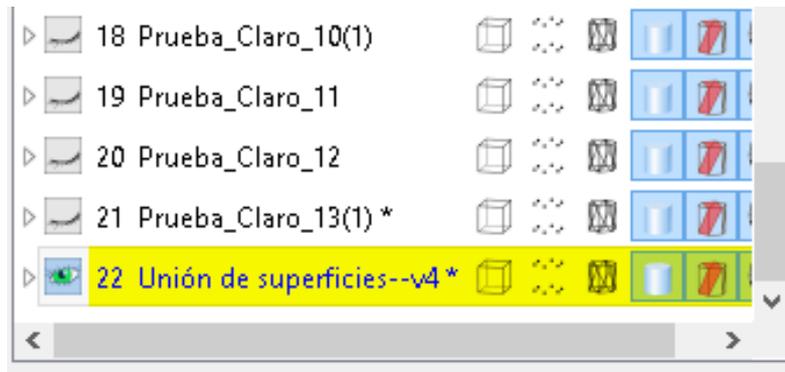


Ilustración 5-30. Renombrar y enumerar en versiones

VERSIÓN 5:

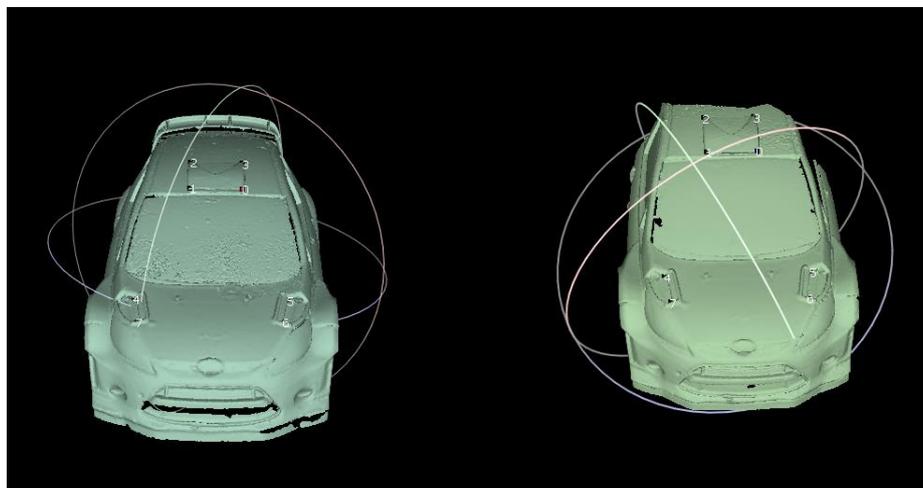


Ilustración 5-31. Puntos de referencias

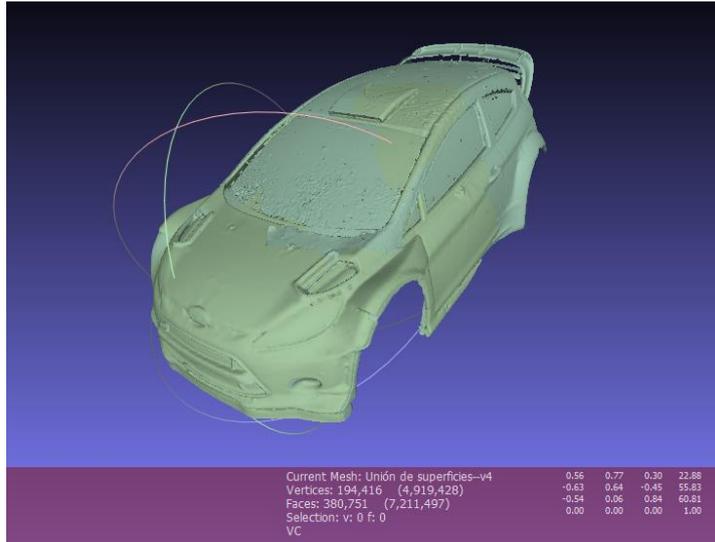


Ilustración 5-32. Orientación de superficies

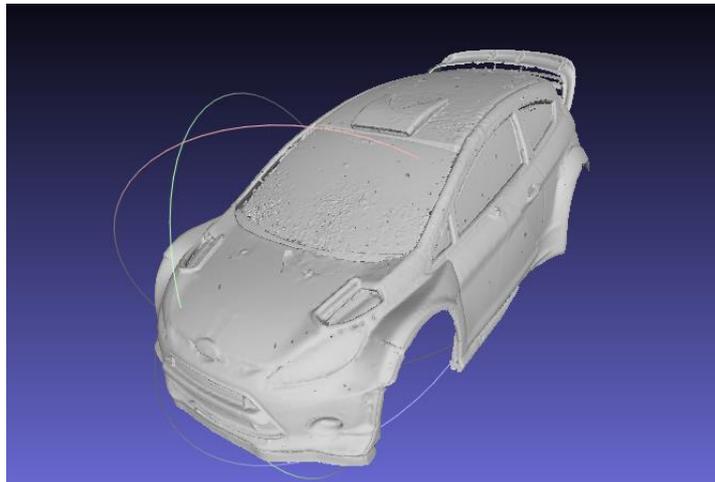


Ilustración 5-33. Unión de superficies

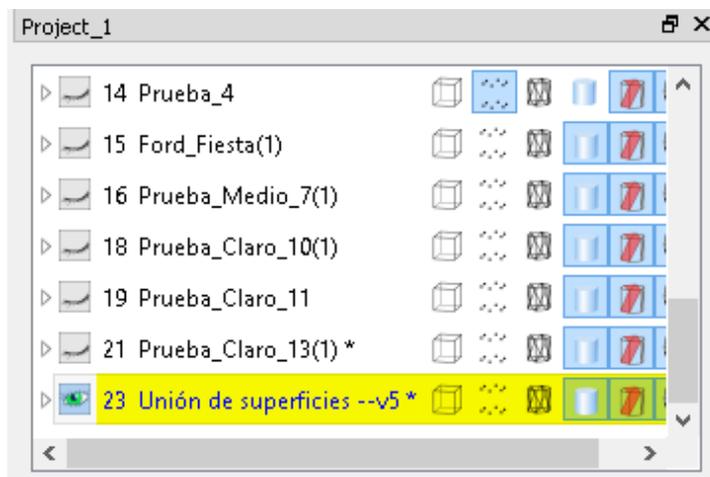


Ilustración 5-34. Renombrar y enumerar en versiones

3. CONSECUENCIAS

Una de las consecuencias que surgió una vez realizado todo el proceso de alineación, es que la parte del alerón y la parte de la carrocería debían ir por separado ya que las superficies internas del alerón no se escanearon correctamente, apareciendo agujeros en el interior, como si no hubiese superficie. Por tanto, se tuvo que realizar otra vez el mismo proceso de alineación, pero por separado, y finalmente unirlos entre sí mediante puntos de referencia.

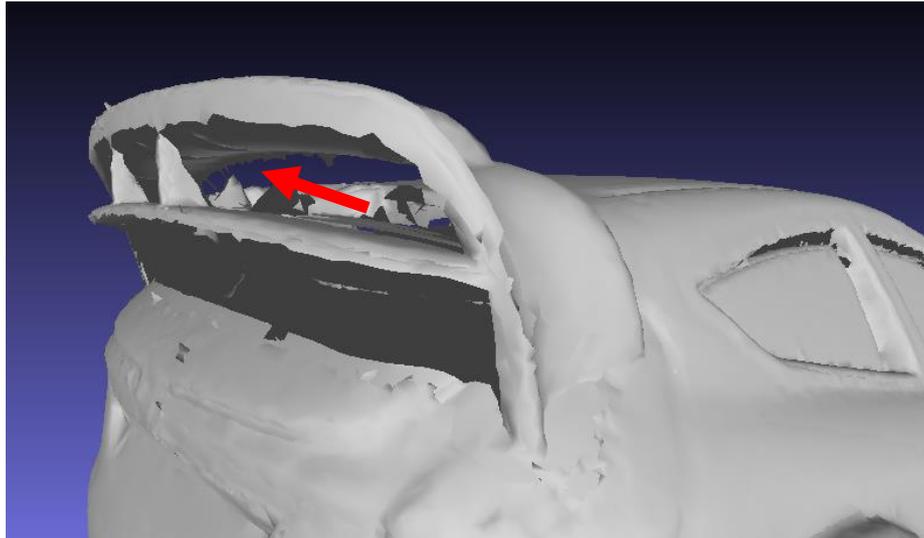


Ilustración 5-35. Superficie no escaneada del alerón

A continuación, se procederá a la obtención de imágenes de la carrocería sin el alerón y con el alerón por separado.

CARROCERÍA SIN ALERÓN:

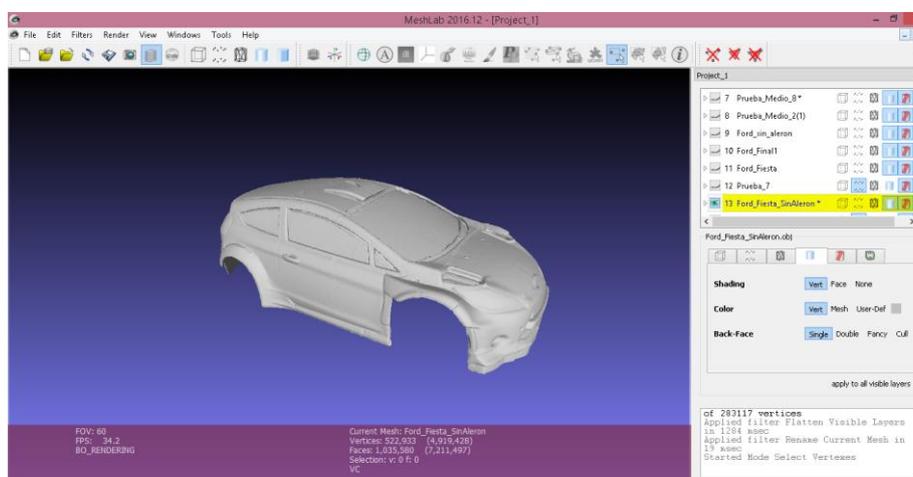


Ilustración 5-36. Repartir el proceso de reconstrucción sin el alerón

ALERÓN TRASERO:

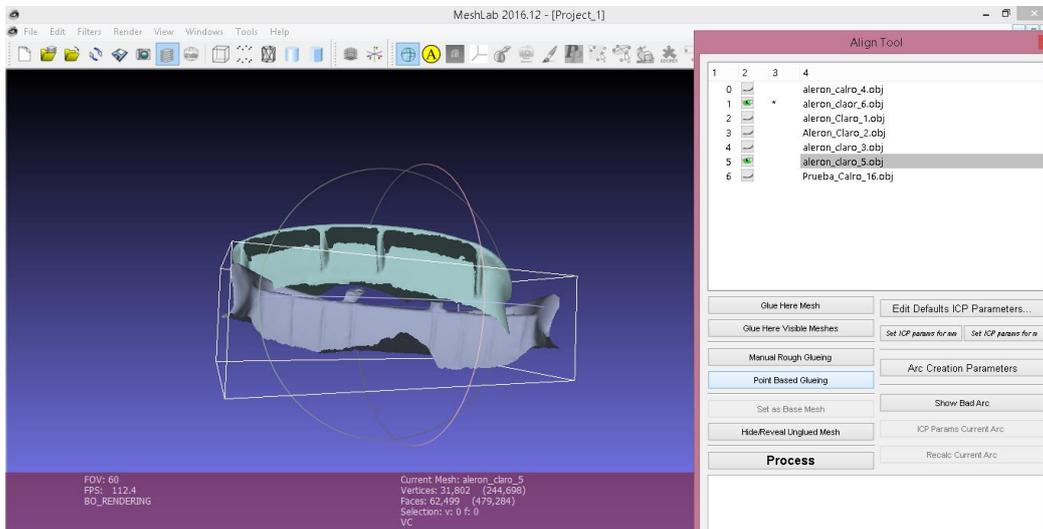


Ilustración 5-37. Selección de imágenes

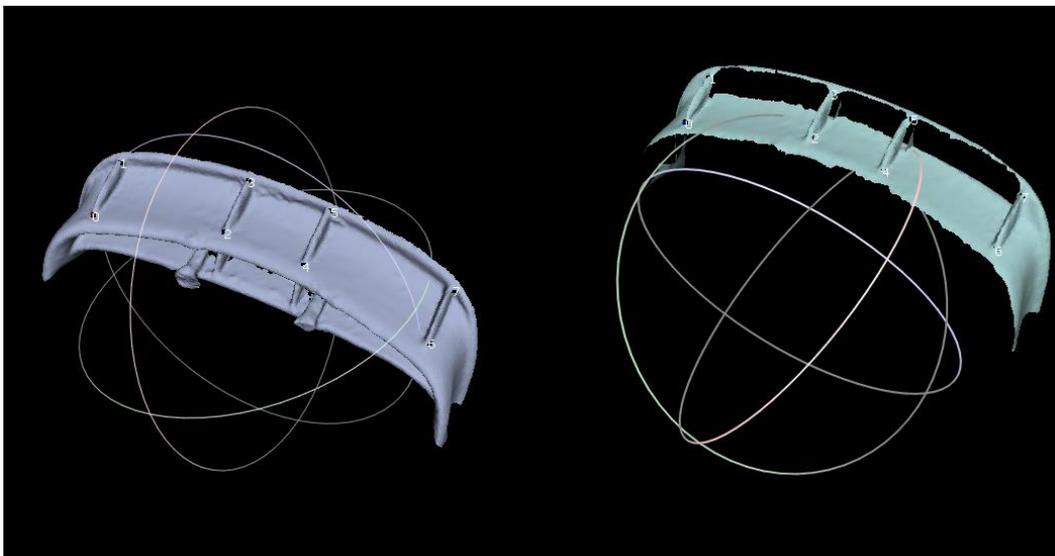


Ilustración 5-38. Puntos de referencia

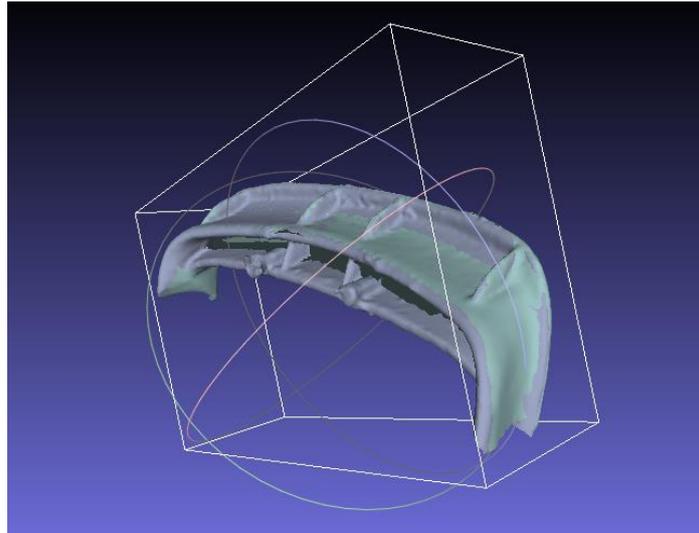


Ilustración 5-39. Orientación de las superficies

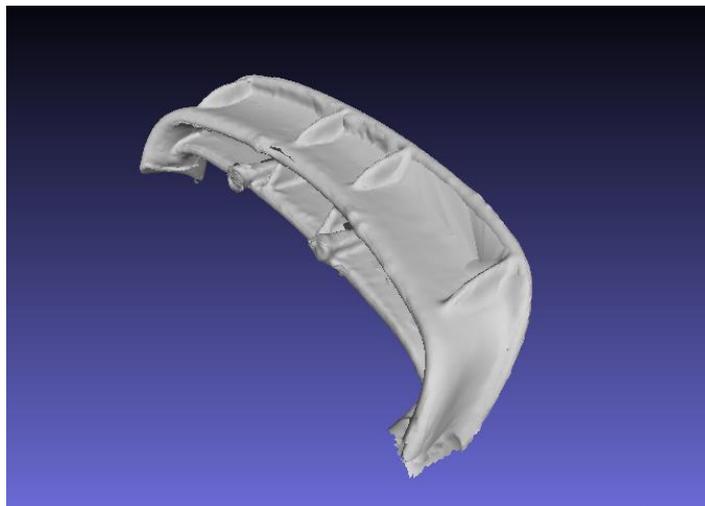


Ilustración 5-40. Unión de las superficies



Ilustración 5-41. Renombrar y enumerar en versiones

UNIÓN DE LA CARROCERÍA - ALERÓN TRASERO:

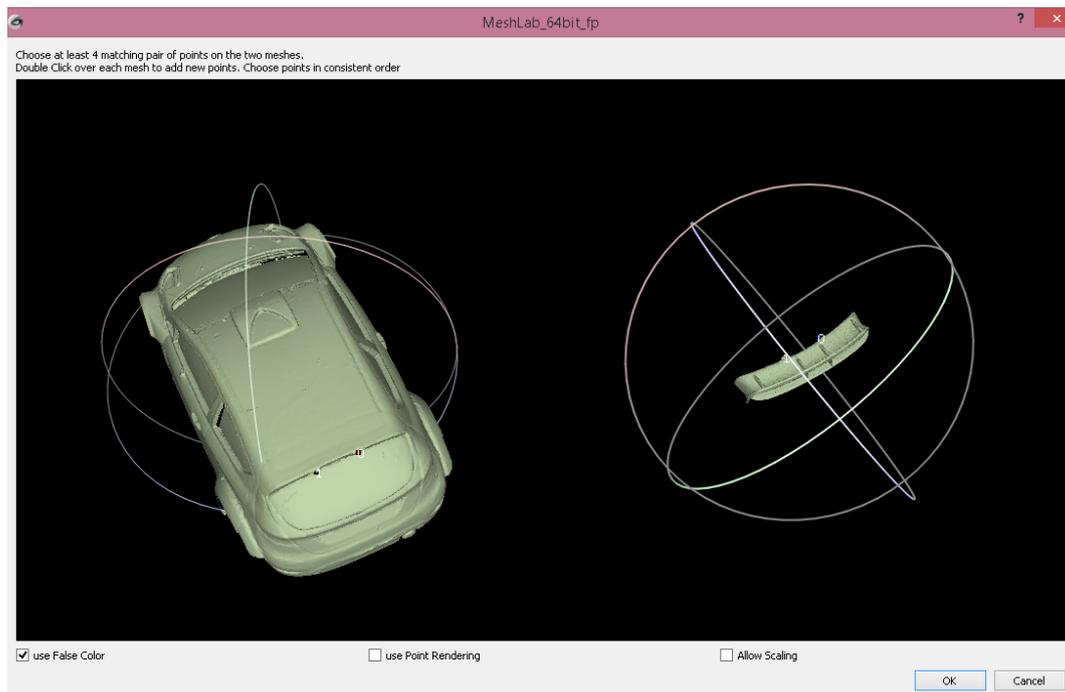


Ilustración 5-42. Puntos de referencia

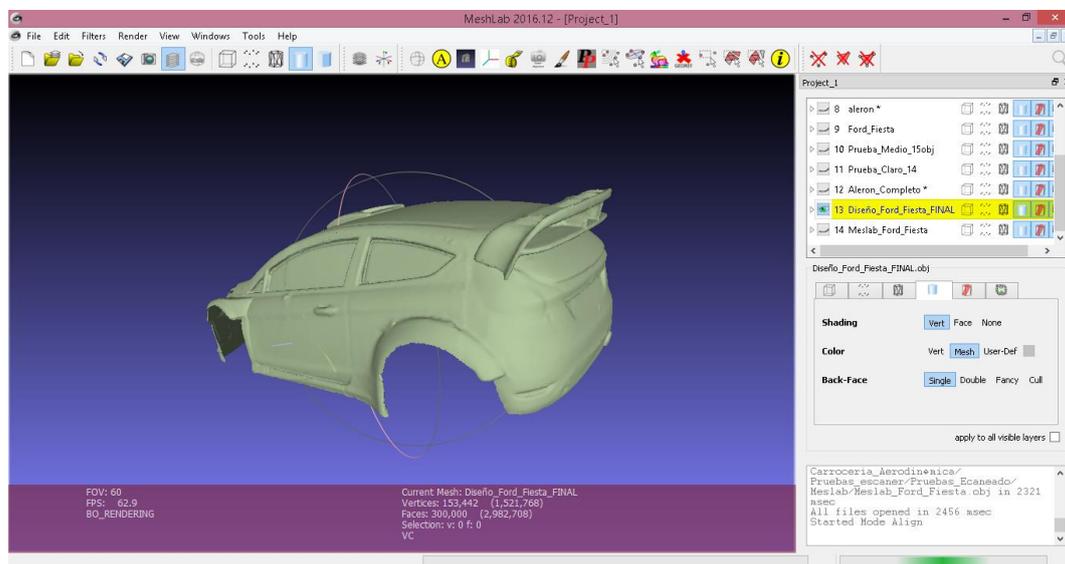


Ilustración 5-43. Orientación y unión de superficies

Otra consecuencia, fue eliminar partes de la malla que sobresalían del objeto, y que la calidad de imagen no era demasiado buena. Por tanto, se le añadió un filtro, llamado Poisson, que modificando los parámetros se mejoraba la calidad de malla del objeto.



Ilustración 5-44. Alerón sin Filtro de Poisson

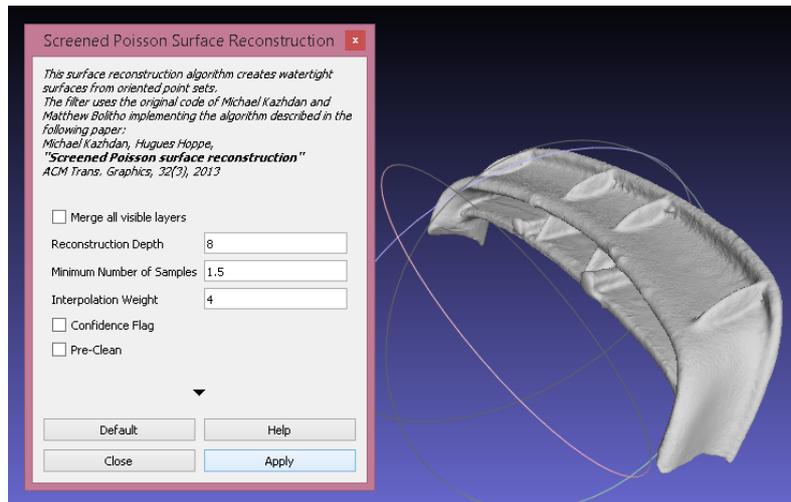


Ilustración 5-45. Alerón con Filtro de Poisson

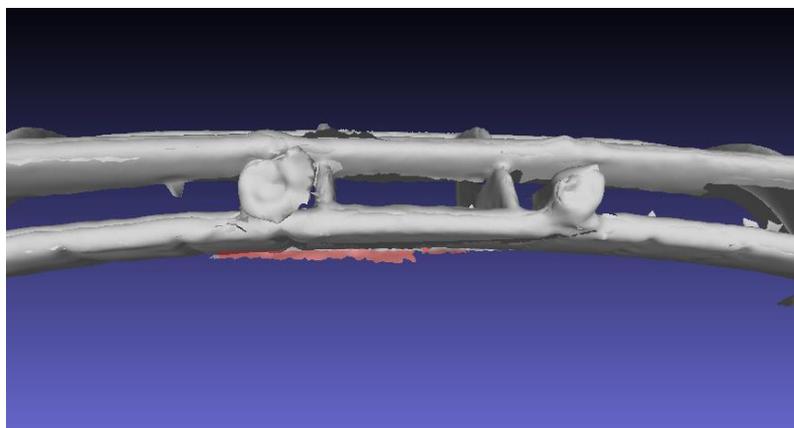


Ilustración 5-46. Eliminar restos de malla

Además, se tuvo que utilizar otros programas, como el Meshmixer y el Netfabb, para reparar los agujeros que aparecían sobre la carrocería, debido a que el Meshlab no era lo suficientemente potente para reparar estos gaps o errores que se producían en la carrocería. Estos programas se explicarán en el apartado de Anejos.

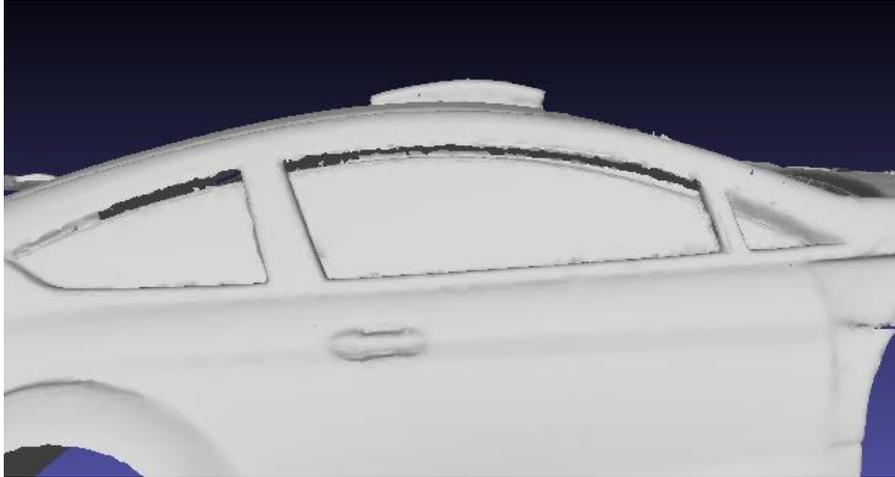


Ilustración 5-47. Gaps o errores en las superficies

5.2.2. Solidworks

El Solidworks es un programa que permite diseñar tus objetos acordes con los requisitos de tu modelo CAD. Se va a utilizar la versión más actualizada del Solidworks, para poder abastecer de todas las herramientas y operaciones posibles y conseguir un diseño lo más parecido posible, la versión del Solidworks es la de 2018 Premium.

Este programa, parte de distintas operaciones que se pueden utilizar para conseguir completar el diseño siempre y cuando se realice un croquis con antelación, algunas de las funciones son las siguientes: Extruir saliente, revolución de saliente, recubrir, Incluso permite obtener análisis aerodinámicos y estructurales, para comprobar el comportamiento de la pieza que se ha diseñado, aparte tiene muchas más operaciones que no servirán para este diseño y otras que se explicarán en este apartado.

PROCESO DEL REDISEÑO DE LA CARROCERÍA

En este apartado, se procede a realizar un rediseño a partir de la reconstrucción de la carrocería que se realizó en el programa Meshlab, con la ayuda del Solidworks.

En primer lugar, se cambiará el formato del diseño, pasando del formato OBJ a un formato llamado archivo XYZ. Se cambia de formato, para obtener una imagen de la carrocería formada por una nube de puntos, así tendremos mayor facilidad a la hora de reconstruir la carrocería.

Una vez obtenida la carrocería en una nube de puntos, lo que se pretende es reconstruir la carrocería del vehículo de rally cambiando el diseño original de algunas zonas de la carrocería como, las zonas laterales del vehículo, el alerón trasero, el paragolpes delantero,

La herramienta que se ha utilizado para la reconstrucción, es la herramienta llamada Superficie, permite obtener superficies mediante un croquis que se ha realizado dándole diferentes formas y curvaturas a esta superficie hasta conseguir completar la carrocería. Se tendrá en cuenta que se realizará la reconstrucción de superficies en la mitad de la carrocería, ya que en el programa Solidworks se puede utilizar la operación Simetría para completar la otra parte de la carrocería. Esta operación se añadirá una vez realizado todos los croquis y creado todas las superficies de la carrocería.

El único paso a seguir consiste en realizar secciones sobre la nube de puntos, por tanto, se podrá obtener el croquis o el perfil en esa zona seccionada de la carrocería. Esta función se realizará tantas veces como se requiera, permitiendo crear una superficie entre los croquis que se han conseguido en las diferentes secciones obtenidas anteriormente. Además, se tomarán como referencias distintos planos creados por nosotros para poder seccionar aquella zona de la carrocería que nos interese o tenga un perfil con una curvatura compleja.

Finalmente, con las distintas funciones que tiene el Solidworks para las superficies, como crear una superficie plana, una superficie limitante, recubrir superficie, rellenar superficie, extruir superficie y otras más funciones, se irá reconstruyendo el diseño hasta completar la carrocería a partir de los croquis que se han determinado. Por último, se dará un espesor a todas las superficies que se han creado, para poder conseguir una impresión 3D de la carrocería de rally.

A continuación, se procederá a la explicación del proceso de reconstrucción de la carrocería mediante imágenes:

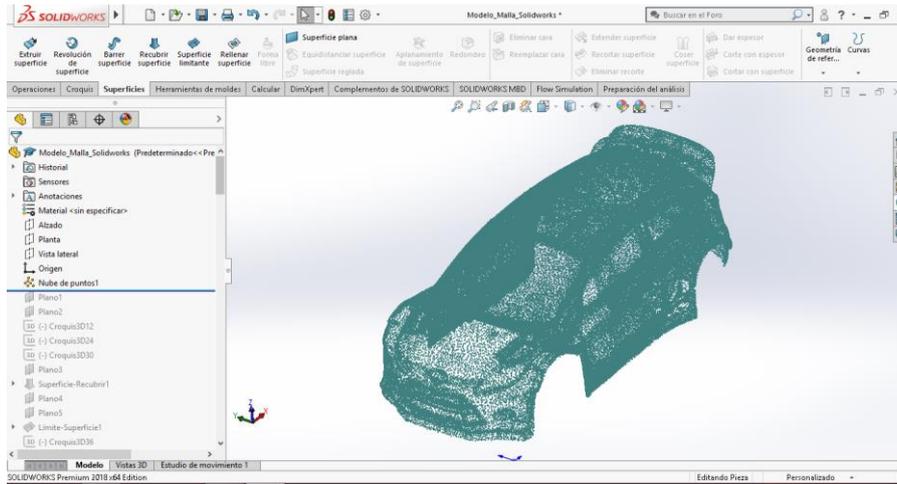


Ilustración 5-48. Nubes de puntos de la carrocería

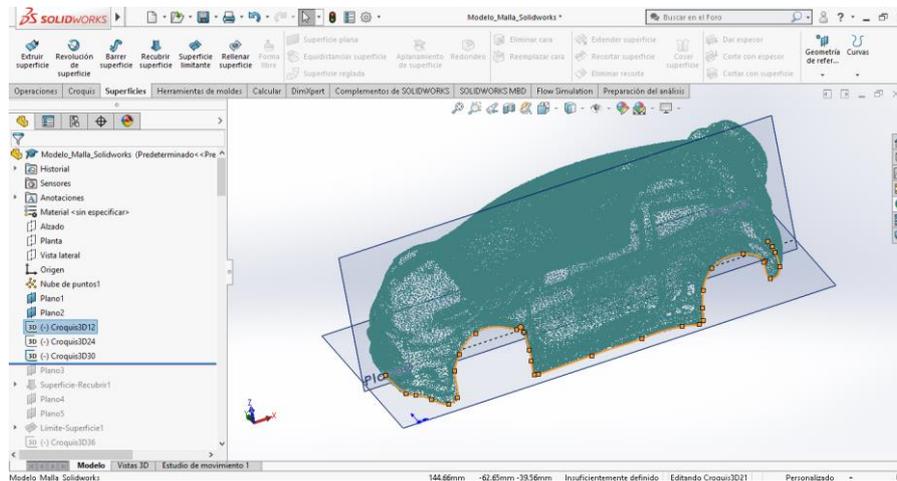


Ilustración 5-49. Primer paso: Concretar el croquis interior de la carrocería

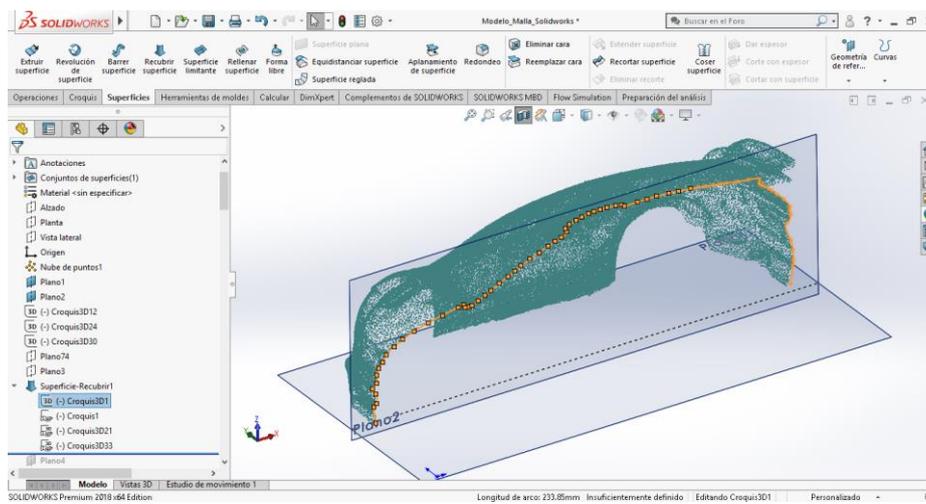


Ilustración 5-50. Seleccionar la carrocería para croquizar el contorno

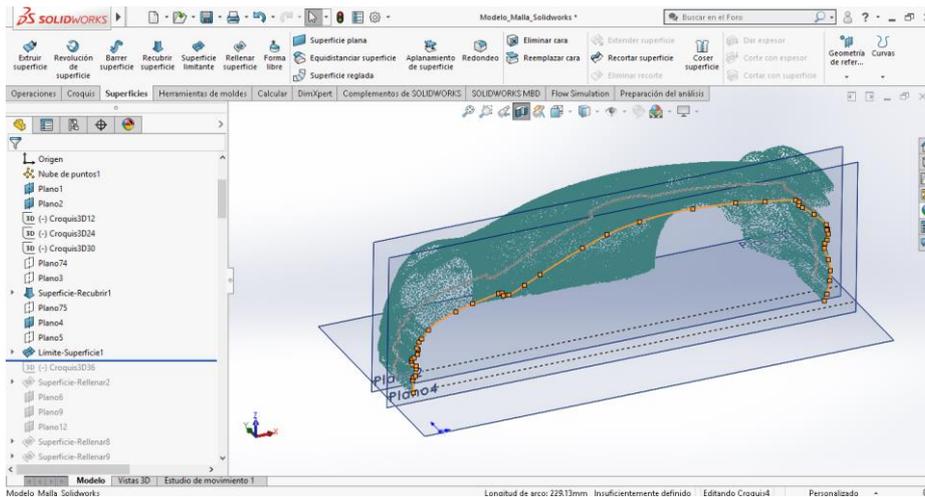


Ilustración 5-51. Segundo paso: Seccionar otra parte de la carrocería

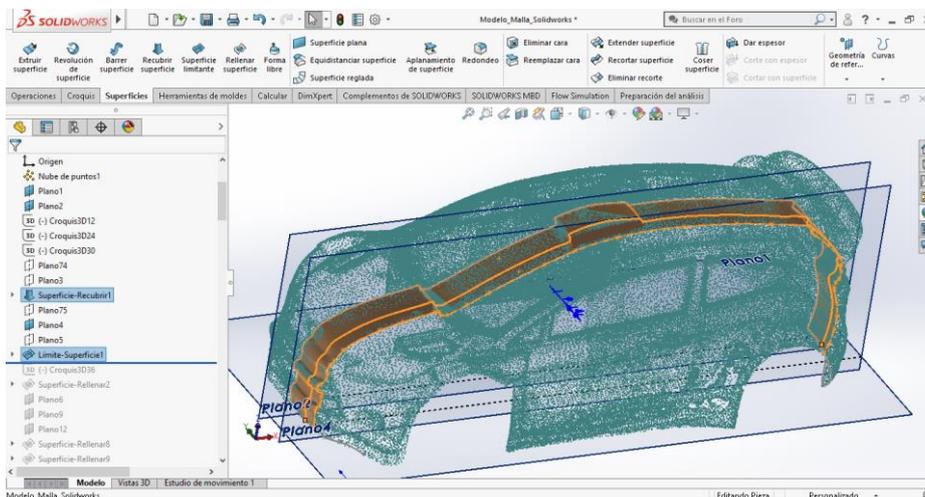


Ilustración 5-52. Crear la superficie partiendo como referencia los dos croquis

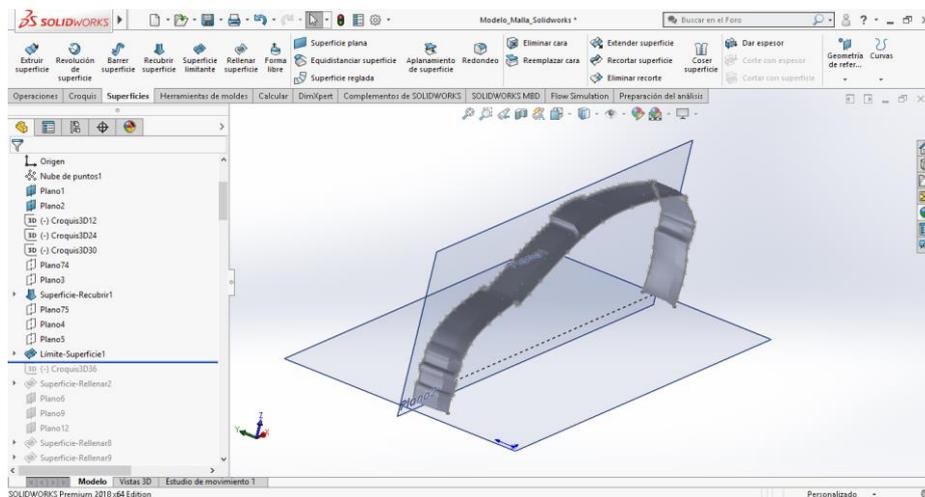


Ilustración 5-53. Tercer paso: Creación de la superficie

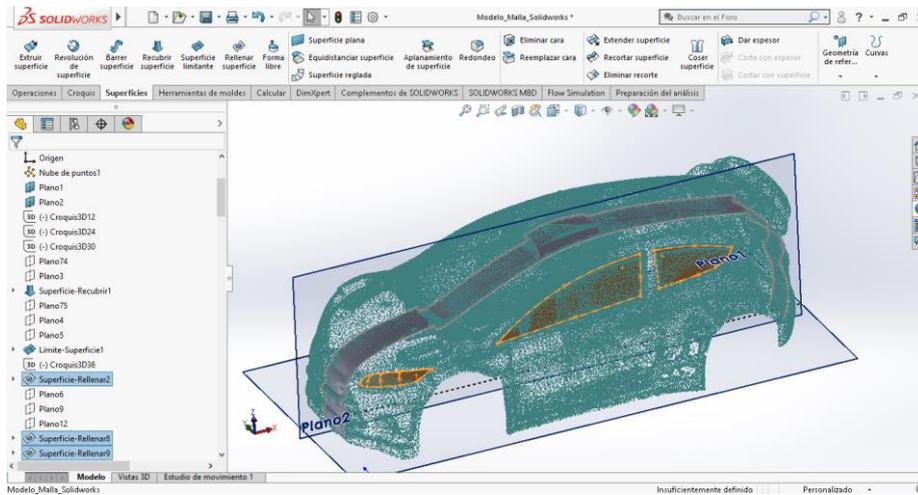


Ilustración 5-54. Reconstrucción del faro y los cristales

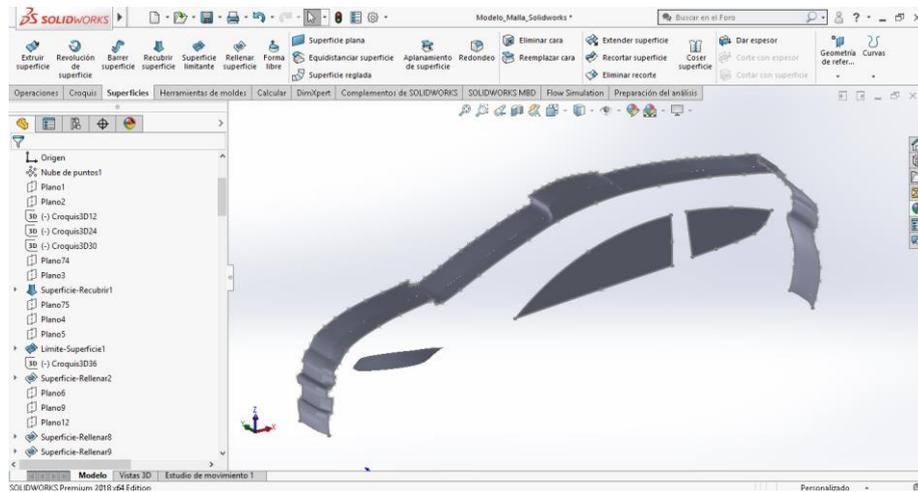


Ilustración 5-55. Faro y cristales

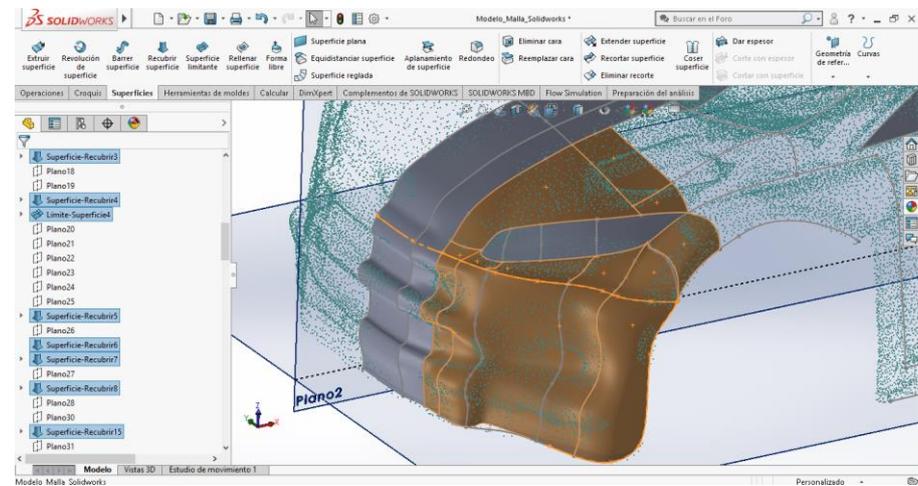


Ilustración 5-56. Reconstrucción del paragolpes delantero y del capó

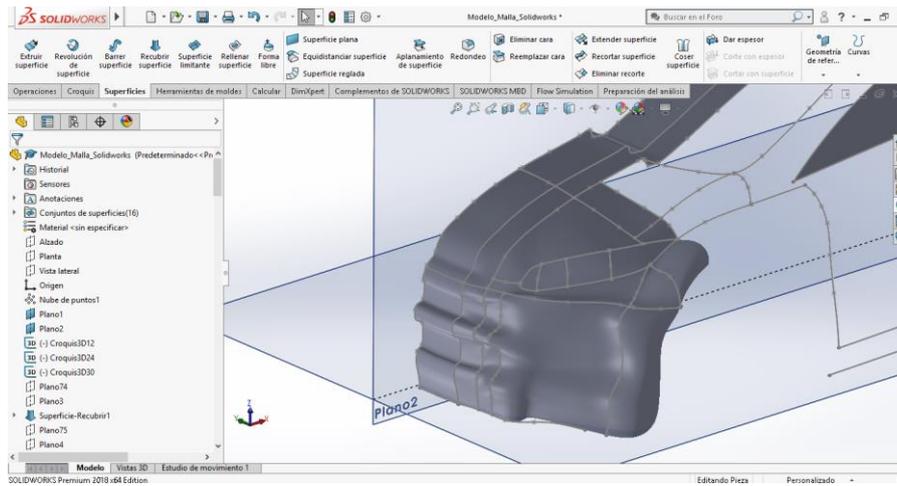


Ilustración 5-57. Paragolpes delantero y el capó

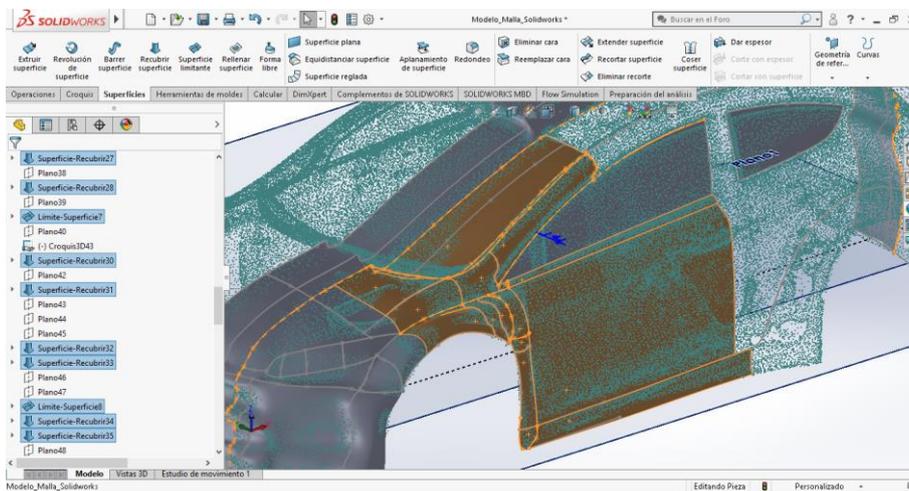


Ilustración 5-58. Reconstrucción del pase de rueda, luna delantera y la puerta

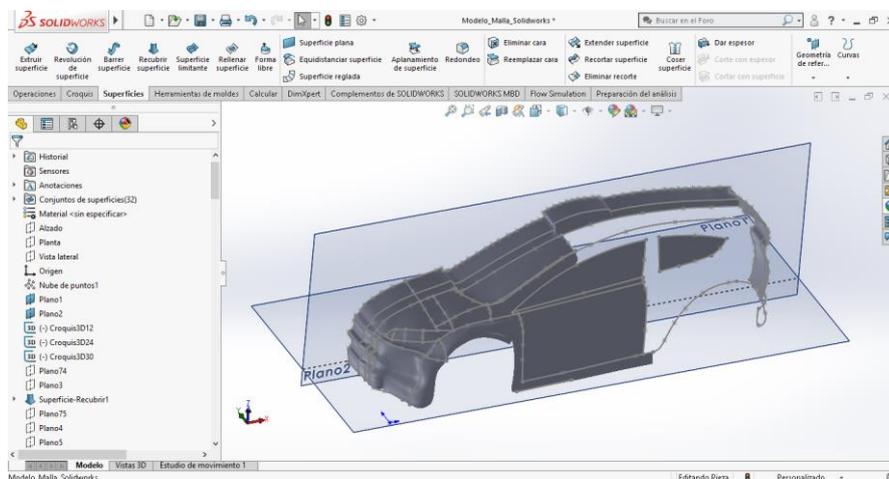


Ilustración 5-59. Pase de rueda, luneta delantera y puerta

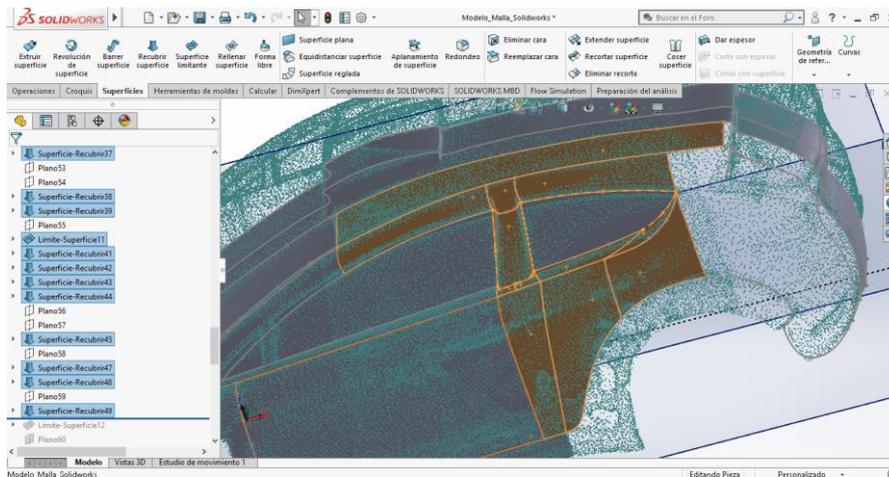


Ilustración 5-60. Reconstrucción de la parte trasera del lateral y el techo

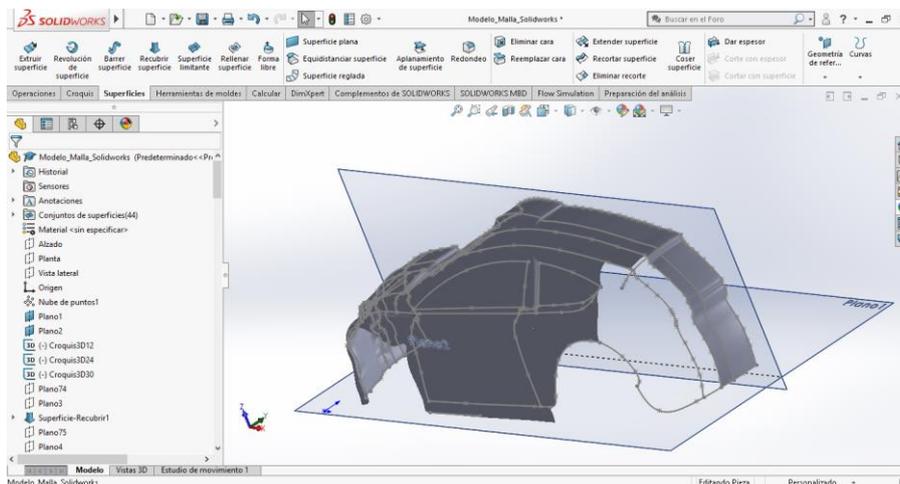


Ilustración 5-61. Parte trasera del lateral y el techo

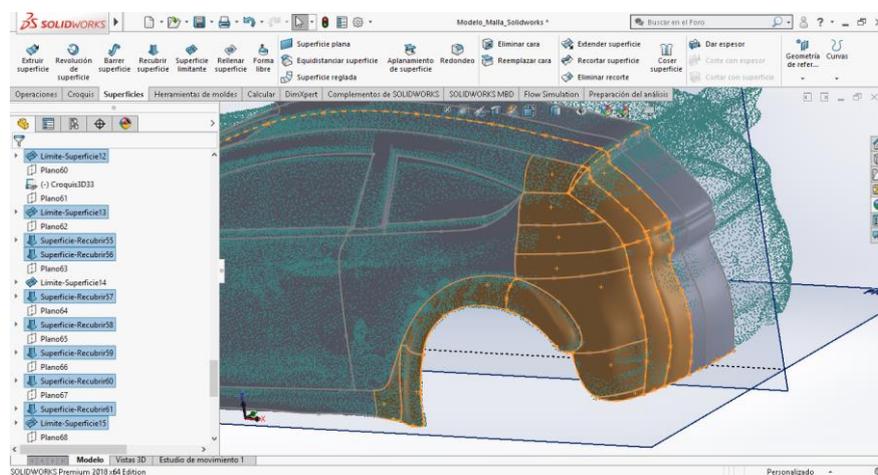


Ilustración 5-62. Reconstrucción del pase rueda y paragolpes trasero

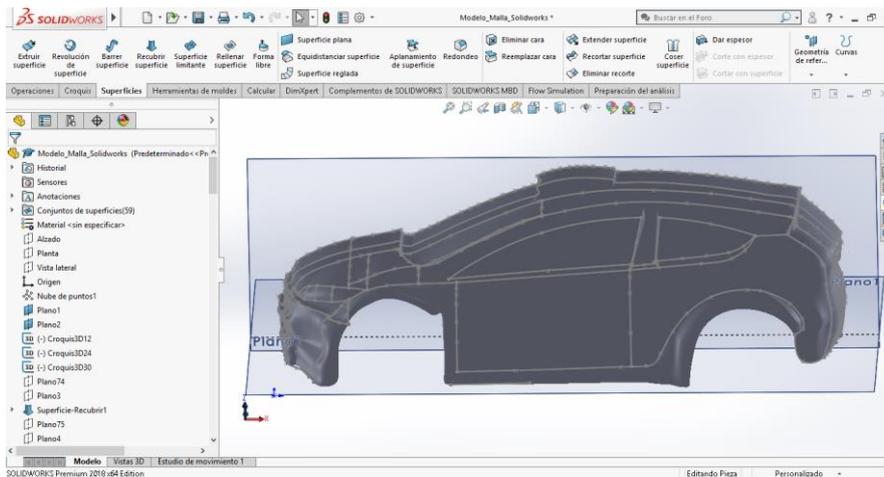


Ilustración 5-63. Pase rueda y paragolpes trasero

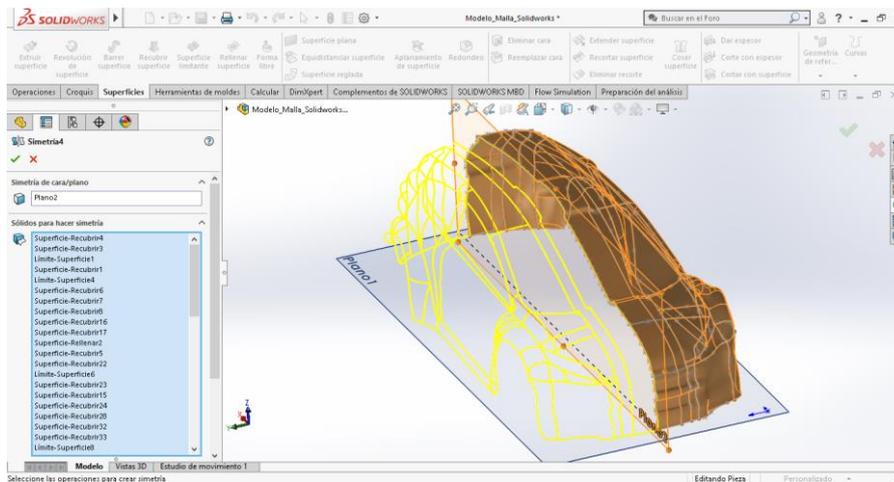


Ilustración 5-64. Simetría de la carrocería

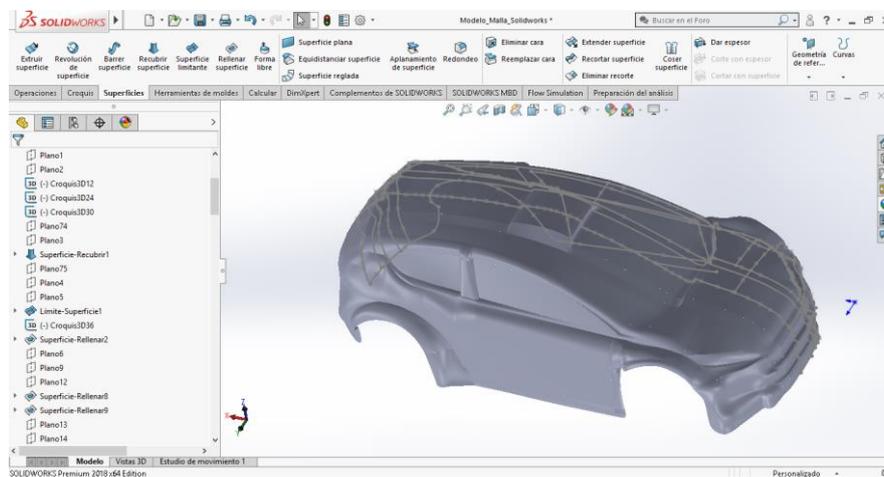


Ilustración 5-65. Carrocería al completo

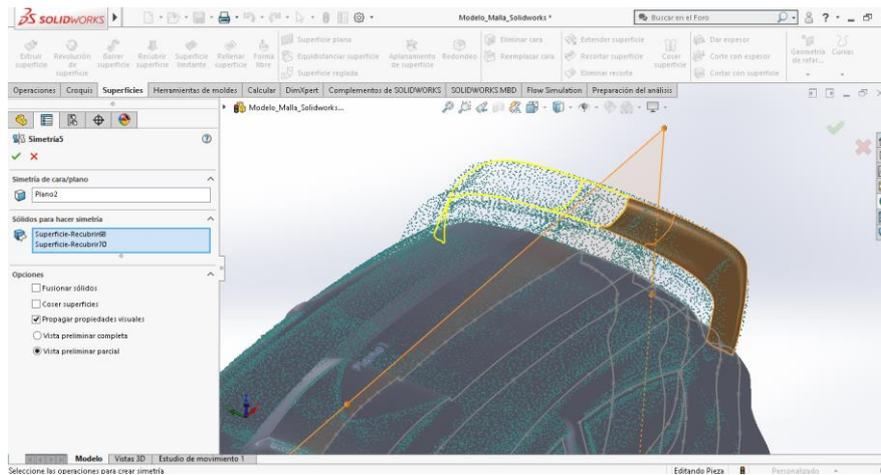


Ilustración 5-66. Reconstrucción de la parte superior del alerón

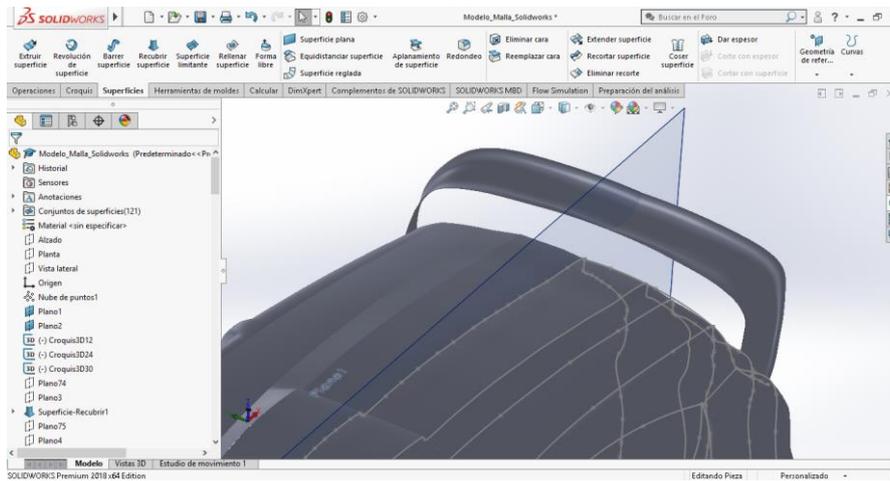


Ilustración 5-67. Simetría de la parte superior del alerón

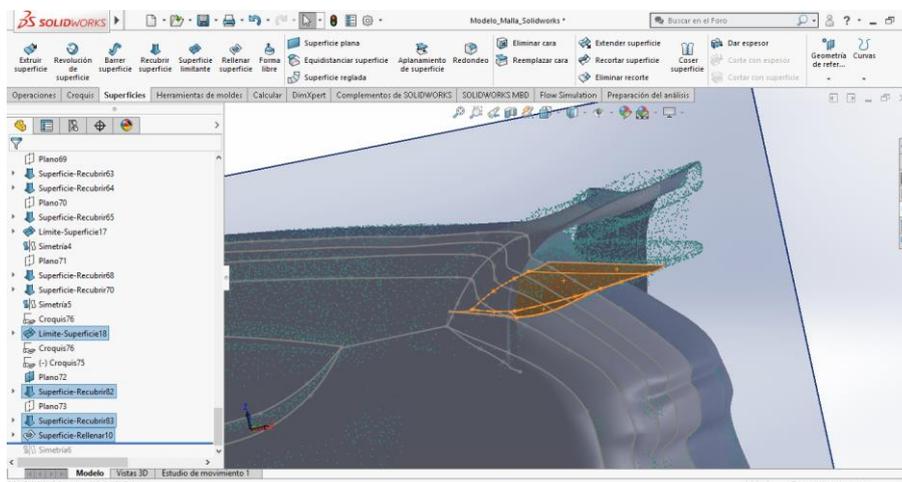


Ilustración 5-68. Reconstrucción de la parte inferior del alerón

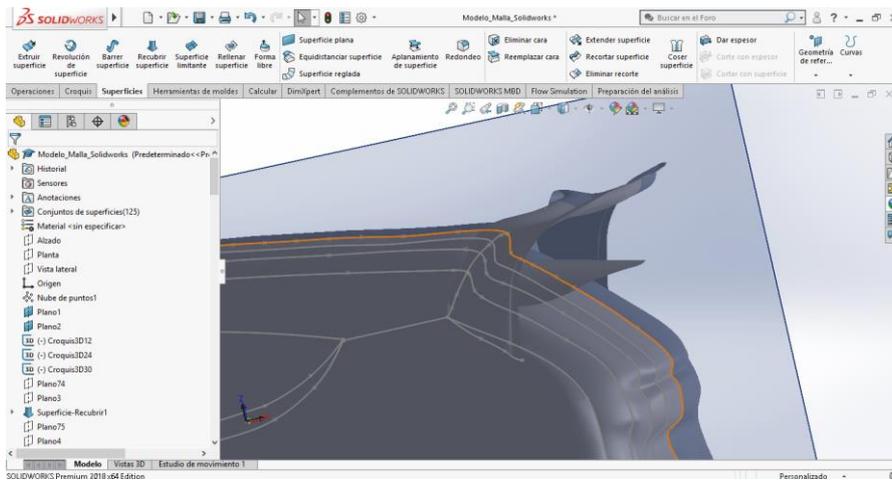


Ilustración 5-69. Parte inferior del alerón

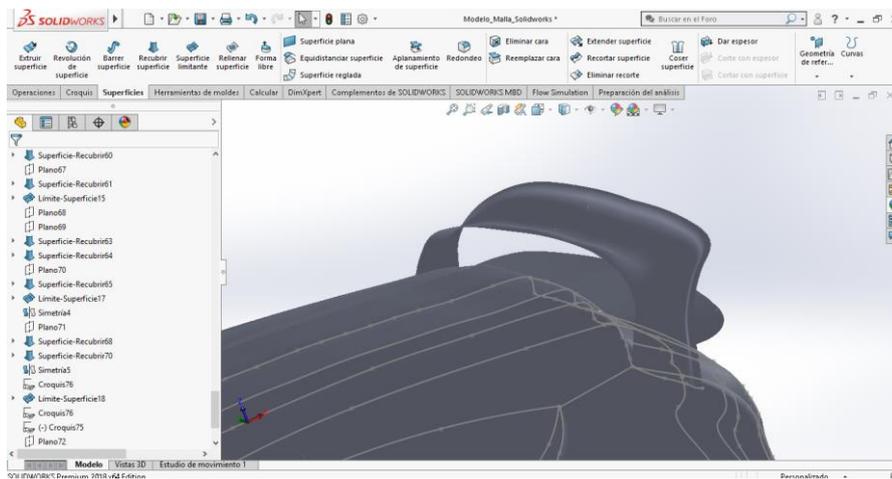


Ilustración 5-70. Simetría de la parte inferior del alerón

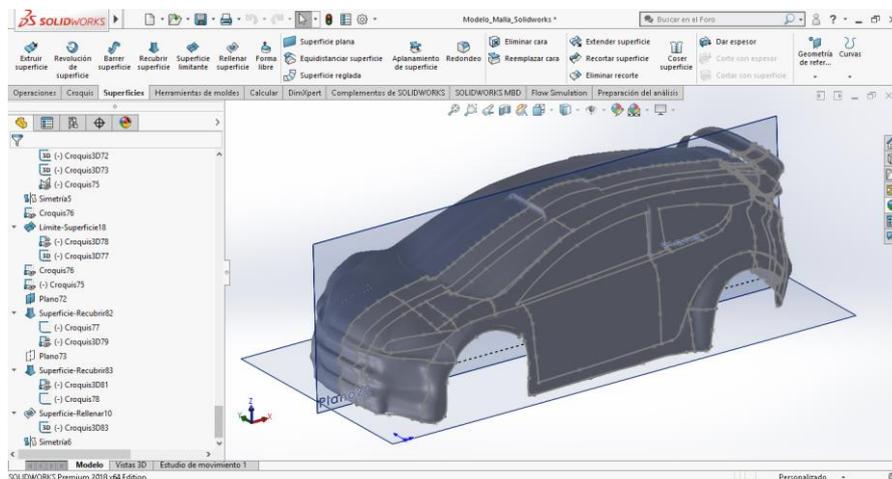


Ilustración 5-71. Todos los croquis que se han utilizado

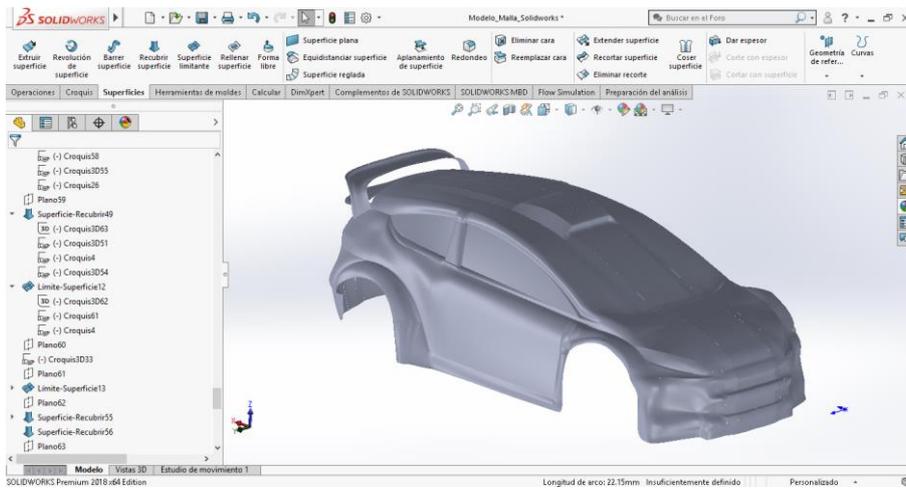


Ilustración 5-72. Modelo CAD finalizado en 3D

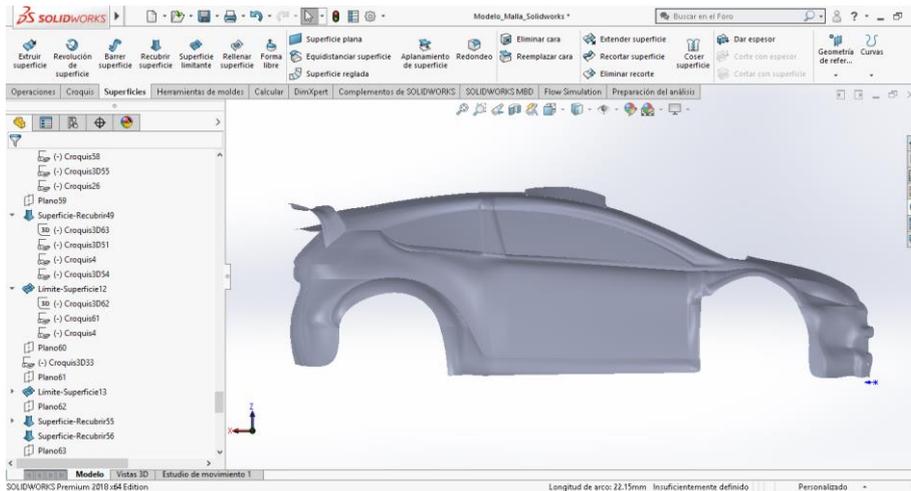


Ilustración 5-73. Parte lateral de la carrocería

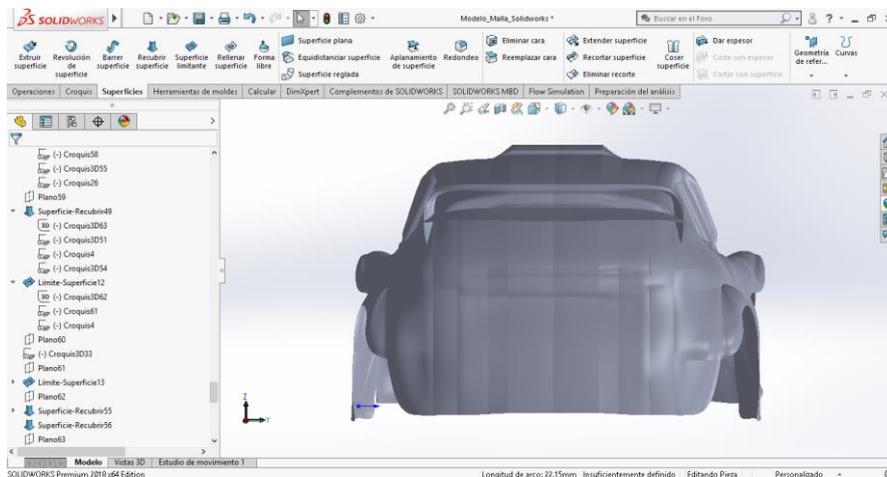


Ilustración 5-74. Parte trasera de la carrocería

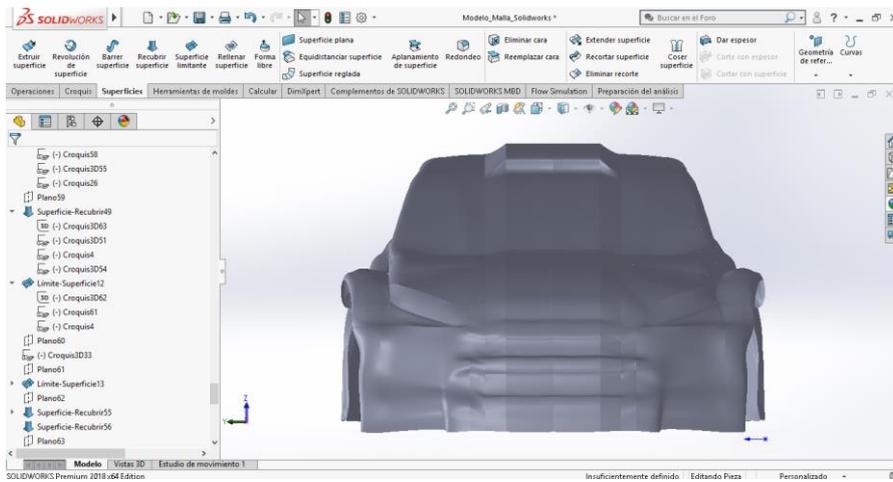


Ilustración 5-75. Parte delantera de la carrocería

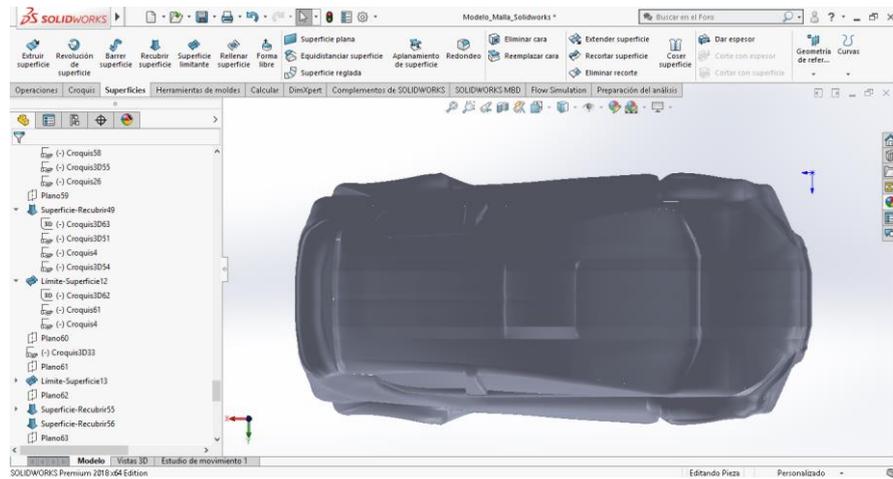


Ilustración 5-76. Parte superior de la carrocería

6. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

La simulación que se va a realizar en el proyecto, consiste en un estudio aerodinámico de la carrocería del vehículo y, por otra parte, el del alerón trasero, tanto en 2D como en 3D. Se explicará con mayor entendimiento en el apartado de interpretación de resultados.

El estudio nace de la necesidad de conocer y entender mejor que ocurre en la pieza que se ha elegido cuando se le aplica un flujo de aire a una determinada velocidad, partiendo de una base básica de cómo realizar un estudio aerodinámico. Y se comprobará si el diseño que se ha obtenido finalmente, se ha mejorado o por el contrario se ha empeorado

6.1. Coeficientes aerodinámicos

El comportamiento dinámico de una carrocería se ve influenciado principalmente por la resistencia y fuerzas aerodinámicas que se originan en el desplazamiento del vehículo. Para estudiar el comportamiento, se define una serie de parámetros como los coeficientes aerodinámicos.

- **Coeficiente de sustentación CL** (C_z = Coeficiente de sustentación) y **Coeficiente de resistencia CD** (C_x = Coeficiente de arrastre)

Donde CL y CD son los coeficientes de “*lift*” y “*drag*” respectivamente, FL y FD las fuerzas de sustentación y resistencia al avance, ρ y V la densidad y velocidad del fluido y por último A es el área de referencia. Esta área varía en función del objeto o cuerpo con el que se trabaja.

Los coeficientes guardan proporcionalidad directa con las fuerzas de manera que, a mayor fuerza aerodinámica mayor será su coeficiente. De esta manera podemos decir que perfiles con coeficientes elevados generaran fuerzas aerodinámicas también elevadas, es decir, cuanto más elevado es este coeficiente, mayor es la resistencia aerodinámica

En el caso de un alerón utilizado en un automóvil de competición lo que interesa es que genere mucho “*downforce*” pero sin penalizar demasiado la resistencia al avance. Por lo tanto, se buscará un perfil que nos proporcione un coeficiente de “*lift*” muy elevado, pero con un coeficiente de “*drag*” relativamente pequeño.

| Shape | Drag Coefficient |
|-----------------------|------------------|
| Sphere | 0.47 |
| Half-sphere | 0.42 |
| Cone | 0.50 |
| Cube | 1.05 |
| Angled Cube | 0.80 |
| Long Cylinder | 0.82 |
| Short Cylinder | 1.15 |
| Streamlined Body | 0.04 |
| Streamlined Half-body | 0.09 |

Ilustración 6-1. Coeficientes aerodinámicos según su forma

Cx= Coeficiente de arrastre o de penetración

Un cuerpo que se desplaza ha de invertir una cantidad de potencia en atravesar la masa de aire que le rodea. El dato de la potencia invertida estará en relación con el volumen del cuerpo. Cuando más aerodinámico sea en la forma mejor capacidad de penetración tendrá, por tanto, menor será la potencia invertida en vencer la resistencia del aire en su desplazamiento.

Se suele tomarse como referencia el coeficiente de arrastre(Cx) para tener una comparativa de los diferentes modelos. Habitualmente se utiliza como superficie de referencia el área frontal del vehículo.

Expresa la resistencia que ofrece un cuerpo a moverse dentro de un fluido por razón de su forma. Se referencia a partir de la resistencia que hace una lámina cuadrada de metal, de 1m de lado (Cx=1). Cuando menor sea la cifra tanto mayor es la capacidad de penetración aerodinámica de la forma.



Ilustración 6-2. Coeficiente aerodinámico Cx

Para obtener un buen coeficiente de penetración aerodinámica es muy importante que el flujo de aire que roza en el contorno del vehículo sea homogéneo y con poco grado de rozamiento. Para ello, en parte se intenta optimizar las formas ya existentes incidiendo en los detalles, se crean diferencias de presiones elevadas que puede ocasionar que el flujo de aire cree turbulencias que afecten a la carrocería.

Hasta cierto punto, C_x es independiente del tamaño del cuerpo y de la velocidad del fluido, ya que, según valores, puede haber variaciones en el C_x por cualquiera de las dos causas. Por esta razón, cuando se trabaja con modelos a escala para estudiar la aerodinámica de una forma, esta escala no suele ser menor de 1 a 5. El C_x en la mayoría de los coches de producción está entre 0,25 y 0,40.

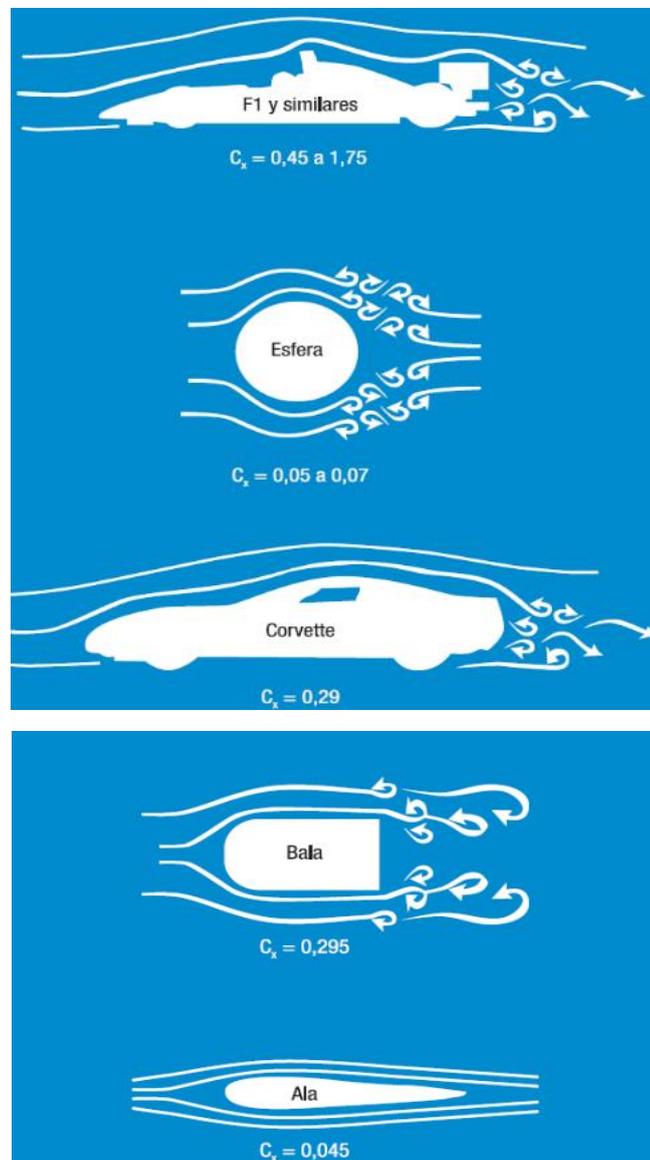


Ilustración 6-3. Ejemplos de coeficientes aerodinámicos C_x

Cz = Coeficiente de sustentación

Cz, utiliza como superficie de referencia el área frontal del vehículo, aunque a veces también se utiliza el área de la proyección en planta. Se trata del coeficiente de elevación Cz, que indica la tendencia de la carrocería a elevarse o a incrementar su presión contra el suelo.

Este valor hace referencia a las fuerzas aerodinámicas que inciden verticalmente sobre la carrocería. Es el que mide el apoyo de las cuatro ruedas con el suelo y posiblemente se aligera por efecto del viento debido al traslado de masas suspendidas.

Si la fuerza actúa hacia arriba, se habla de empuje ascensional y en sentido contrario. Ambas fuerzas influyen de forma decisiva en una conducción estable. Cuando un cuerpo asimétrico es desplazado por el aire de forma que el flujo por la parte superior ha de recorrer más camino que el de la parte inferior, se crea una depresión en la cara superior que es precisamente el empuje ascensional descrito.

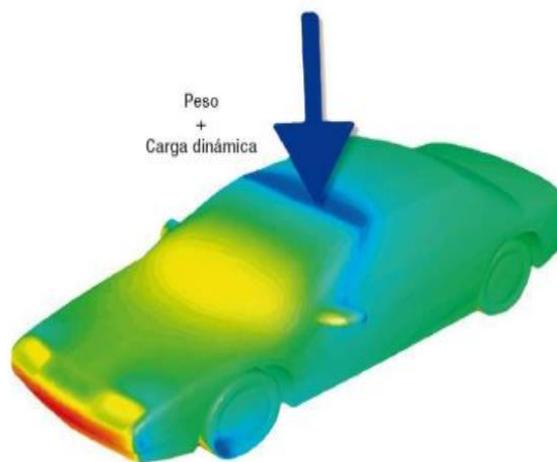


Ilustración 6-4. Coeficiente aerodinámico Cz

En altas velocidades, las fuerzas ascensionales pueden aligerar el vehículo, lo que repercutirá negativamente sobre la estabilidad lateral del eje de la dirección. Por ello, los vehículos que circulan a mayores velocidades necesitan conseguir un mayor asentamiento que afecte a la estabilidad del vehículo.

En cualquier caso, en la busca de la forma y la línea aerodinámica apropiada a un modelo determinados e tienen cuenta la distancia del suelo con respecto a la carrocería, y que influye la presión dinámica o capa límite de los bajos de la carrocería.

- **Coefficiente de fuerza lateral C_y** (C_y = Coeficiente de empuje lateral)

C_y = Coeficiente de empuje lateral

Habitualmente se utiliza como superficie de referencia el área lateral del vehículo. Hace referencia al coeficiente de deriva que mide el efecto del aire aplicado de forma lateral del vehículo, afectando de esta forma a su estabilidad.

Las ráfagas de aire que inciden lateralmente sobre la carrocería pueden comprometer la conducción y la estabilidad, variando de forma repentina la dirección del vehículo producido por una deriva de los neumáticos.

El viento lateral puede influir en: la forma y superficie de la carrocería, el peso total, la distribución de masas, la adherencia de las ruedas, la distancia entre ejes y entre ruedas (batalla y vía), centro de presión, etc. En las fuerzas laterales y el par de balanceo también influyen los ángulos y las relaciones de magnitud de los flancos de un vehículo.

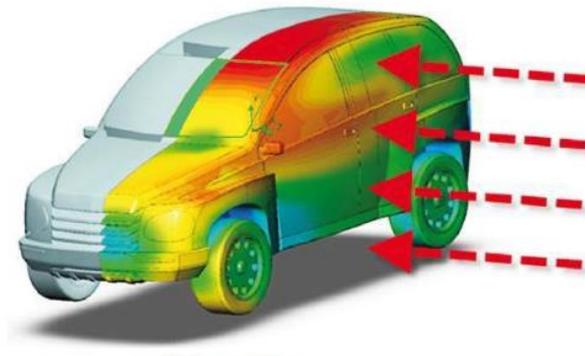


Ilustración 6-5. Coeficiente aerodinámico C_y

A continuación, se nombrarán algunos ejemplos de vehículos para comparar el coeficiente aerodinámico C_x :

| Cuerpo | Superficie frontal (m ²) | C _z | SC _z (m ²) |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Venturi VBB-3 (2013) | | 0,13 | |
| Volkswagen XL1 (2013) | | 0,189 | |
| Tesla Model S (2012) | | 0,24 | |
| Opel Insignia (2009) | | 0,27 | |
| Audi A3 (2003) | 2,13 | 0,32 | 0,68 |
| Audi A6 (1997) | | 0,28 | |
| Opel Kadett (1989) | | 0,38 | |
| BMW Serie 1 (2004) | 2,09 | 0,31 | 0,65 |
| Citroën CX (1974) | 1,93 | 0,36 | 0,71 |
| Citroën C4 coupe | | 0,28 | |
| Opel Astra (2004) | 2,11 | 0,32 | 0,68 |
| Peugeot 807 (2002) | 2,85 | 0,33 | 0,94 |
| Renault Espace (1997) | 2,54 | 0,36 | 0,92 |
| Renault Espace (2002) | 2,8 | 0,35 | 0,98 |
| Renault Vel Satis (2002) | 2,37 | 0,33 | 0,79 |
| Hispano Divo (2003) | 9,2 | 0,349 | 3,21 |
| Irizar PB (2002) | 9,2 | 0,55 | 5,06 |
| Camión con deflectores | 9 | 0,70 | |
| Autobús | 9 | 0,49 | |
| Motocicleta | | 0,70 | |
| Fórmula 1 en Mónaco (el mayor) | | 0,70 | |
| Fórmula 1 en Monza (el menor) | | 0,7 | |
| Paracaídas | | 1,33 | |
| Perfil alar simétrico | | 0,05 | |
| Esfera | | 0,1 | |
| Cubo valor de referencia | | 1 | |

Tabla 6-1. Ejemplos de coeficientes aerodinámicos

6.2. Nuestro estudio

Se va a proceder a realizar un estudio aerodinámico con el programa Solidworks, para analizar los diferentes coeficientes aerodinámicos en cada momento del estudio. Para obtener más información con respecto al flujo que se analizará, se añadirá dos tipos de estudio aerodinámico, uno será en 2D y en otro en 3D.

Además, en estos estudios se contemplará si se ha mejorado la carrocería rediseñada o si hay algunas zonas de la carrocería donde aparezcan bajas prestaciones. Otra observación que se analiza, es el coeficiente aerodinámico (Cx), se ajustará su área y se deberá tener en cuenta la escala que se realizó el diseño ya que influirá en el cálculo de nuestra fuerza generada.

Para comparar los coeficientes aerodinámicos, el estudio se ha iniciado mediante la búsqueda de este coeficiente para esta misma carrocería del Ford Fiesta. El coeficiente aerodinámico (Cx) se ha obtenido a partir de las carrocerías de la gama de turismos Ford. Por tanto, este coeficiente que se implanta en los vehículos de calle es entre el 0.32 – 0.34.

| Marca de vehículos de Ford | Potencia (Cv) | Año | Coefficiente aerodinámico (Cx) |
|----------------------------------|---------------|-------------|--------------------------------|
| Ford Fiesta EOnetic 1.6 TDCI | 95 Cv | 2008 | 0.287 |
| Ford Fiesta Urban 3p 1.25 | 60 Cv | 2012 | 0.328 |
| Ford Fiesta 2017 5p Trend 1.25 | 82 Cv | 2013 | 0.330 |
| Ford Fiesta ST 1.6 Ecoboost | 182 Cv | 2017 | 0.330 |
| Ford Fiesta ST-Line 1.0 Ecoboost | 140 Cv | 2013 | 0.342 |

Tabla 6-2. Coeficientes aerodinámicos de Ford

La carrocería que se ha elegido para el estudio es el marco en rojo en la tabla anterior. Estas son las referencias que se han escogido para iniciar el análisis.

6.2.1. Interpretación de resultados

Se procede a la explicación de cómo se ha extraído los resultados de los análisis con el programa Solidworks, y que conclusiones se obtiene a partir de los datos obtenidos tanto en el estudio en 2D como en 3D.

El objetivo final de estos estudios es conseguir aproximadamente que el coeficiente aerodinámico (Cx) se lo más cercano a 0.32, ya que se quiere obtener un diseño de la carrocería lo más similar a los turismos que existen hoy en día y circulan por la calle, además de ser el coeficiente que se utiliza a priori en las carrocerías del Ford Fiesta, como se ha visto en la tabla anterior.

El otro objetivo primordial en este análisis del estudio aerodinámico de la carrocería, consiste en entender que parámetros hacen falta para realizar un cálculo correcto y estudiar qué dirección y línea de flujo de aire se va a producir en las distintas zonas de la carrocería.

A continuación, se va a partir de tres estudios aerodinámicos para obtener más información al respecto:

1. Estudio aerodinámico de la carrocería y el alerón en 2D.
2. Estudio aerodinámico de la carrocería en 3D.
3. Estudio aerodinámico del alerón en 3D.

Estudio aerodinámico de la carrocería y el alerón en 2D

Para el estudio en 2D se ha tenido en cuenta la velocidad del flujo de aire ya que determinará nuestros cálculos finales. La velocidad que se ha determinado es de 18 m/s, sobre 65 km/h, ya que a partir de esta velocidad se empieza a obtener un buen rendimiento del flujo de aire en las carrocerías de vehículos.

Esta velocidad se añadirá en la dirección X de nuestro eje de coordenadas ya que es la dirección frontal de la carrocería, y así permitir el cálculo del coeficiente aerodinámico (Cx). Este coeficiente aerodinámico se ve influenciado directamente por la fuerza y la velocidad del flujo. Lo mismo ocurre con el estudio en 3D.

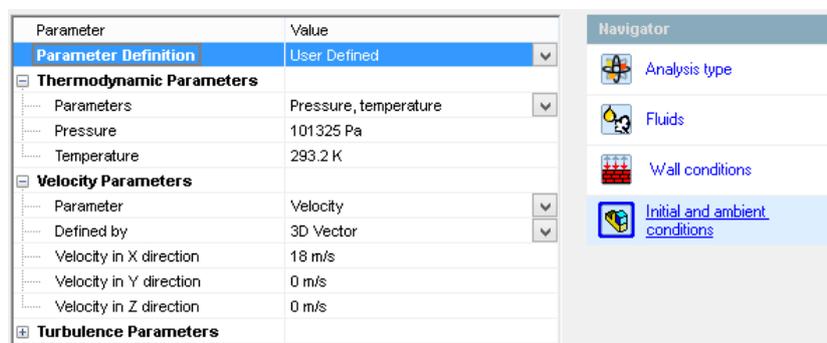


Ilustración 6-6. Parámetro del flujo de aire en Dirección X 18 m/s



Ilustración 6-7. Elección del parámetro de Fuerza y Velocidad

Además, se añadirá una serie de condiciones, a partir de unas dimensiones la cuál actuará como túnel de viento y nos ayudará a simular las distintas trayectorias del flujo de aire sobre la carrocería.

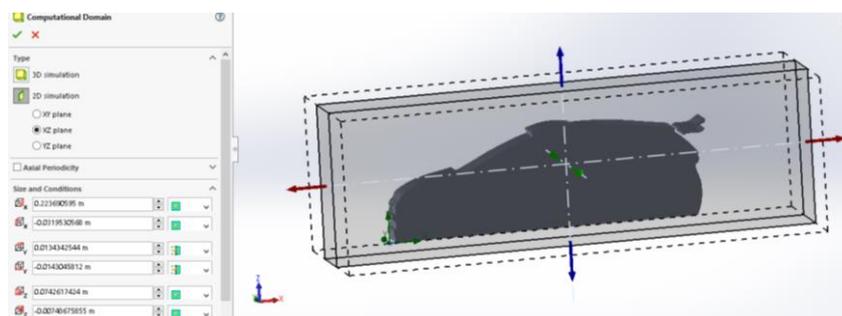
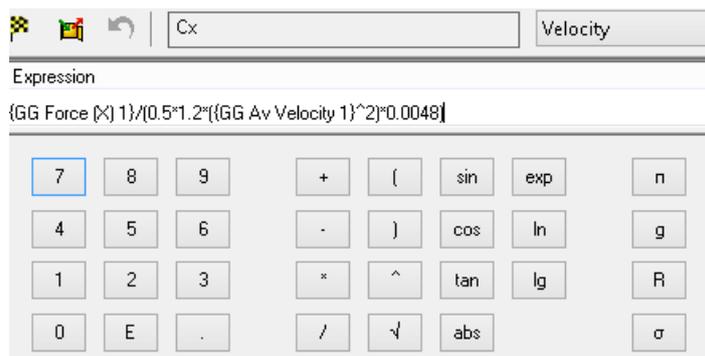


Ilustración 6-8. Túnel de viento carrocería y alerón 2D

Se debe indicar la ecuación que se ha utilizado para calcular el coeficiente aerodinámico (Cx) a partir de los parámetros seleccionados anteriormente.

Se puede apreciar los distintos coeficientes que harán falta para realizar el cálculo correcto y sobretodo el área frontal, es de $4.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, es la superficie de la carrocería por el cual el flujo de aire supera la resistencia que se genera en la dirección X.



- **Coefficientes** = 0.5 y 1.2
- **Parámetros** = Velocidad (m/s) y Fuerza (N) en X
- **Área Frontal** = $4.8 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$

Ilustración 6-9. Fórmula del coeficiente aerodinámico Cx

Se procede a calcular y extraer resultados del estudio. Se ha tenido que ir ajustado el área frontal para que el coeficiente aerodinámico fuera lo más parecido a los vehículos de calle (0.32).

Por tanto, se observa que nuestro coeficiente aerodinámico es de 0.322 m/s por tanto se cumpliría con el objetivo principal. La fuerza en X es de 0.235 N ya que se ve influenciado la escala del diseño y por ser una maqueta de 1/24. La velocidad media es de 15.932 m/s y la velocidad máxima que se ha obtenido en el cálculo es de 26.675 m/s, se podrá apreciar que en distintas zonas de la carrocería se habrá aumentado la velocidad alrededor de un 30 % a partir del flujo de aire que se ha determinado con antelación.

| Name | Current Value | Progress | Criterion | Averaged Value |
|-------------------|---------------|---------------------|---------------|----------------|
| Cx | 0.32192 m/s | Achieved (IT = 48) | 0.0123015 m/s | 0.321896 m/s |
| GG Av Velocity 1 | 15.9322 m/s | Achieved (IT = 129) | 0.0174369 m/s | 15.9431 m/s |
| GG Force (X) 1 | 0.235338 N | Achieved (IT = 56) | 0.00997061 N | 0.235641 N |
| GG Max Velocity 1 | 26.6753 m/s | Achieved (IT = 64) | 0.0416335 m/s | 26.678 m/s |

Ilustración 6-10. Cálculo del estudio aerodinámico

Por último, se va a proceder al cálculo de las líneas o trayectorias que describe el flujo de aire sobre la carrocería. Se puede comparar la distintas presiones y velocidades alrededor de la carrocería, cuando mayor variación de presión se produzca mayor velocidad adquirirá esa parte de la carrocería, pero menor turbulencias se producirán.

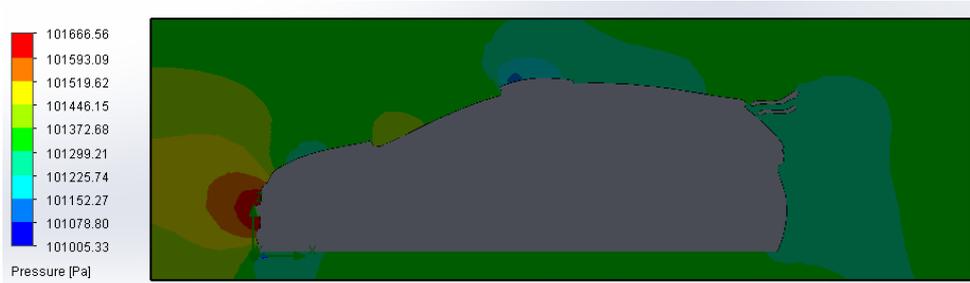


Ilustración 6-11. Presión (Pa)

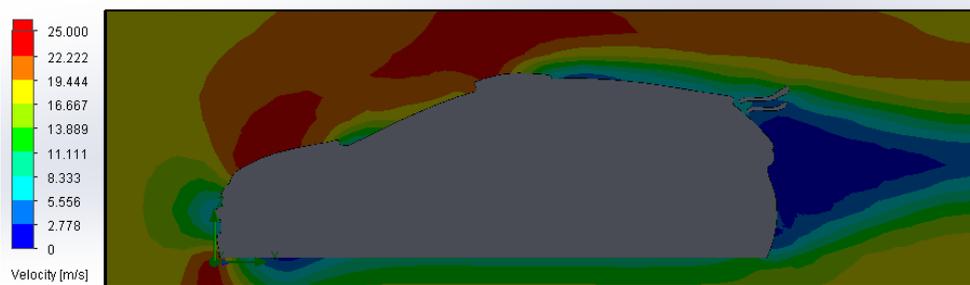


Ilustración 6-12. Velocidad (m/s)

Se puede observar donde aparecen mayores y menores turbulencias en toda la carrocería. Se aprecia donde es la zona con menor resistencia al flujo de aire.

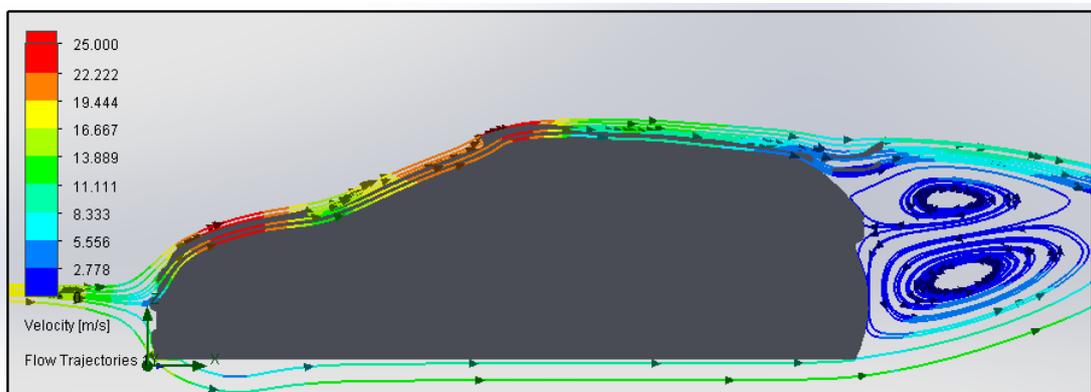


Ilustración 6-13. Trayectorias del flujo de aire

Estudio aerodinámico de la carrocería en 3D

El procedimiento y las condiciones para el estudio aerodinámico en 3D es el mismo realizado en el apartado anterior, además se mantiene los mismos parámetros nombrados con antelación.

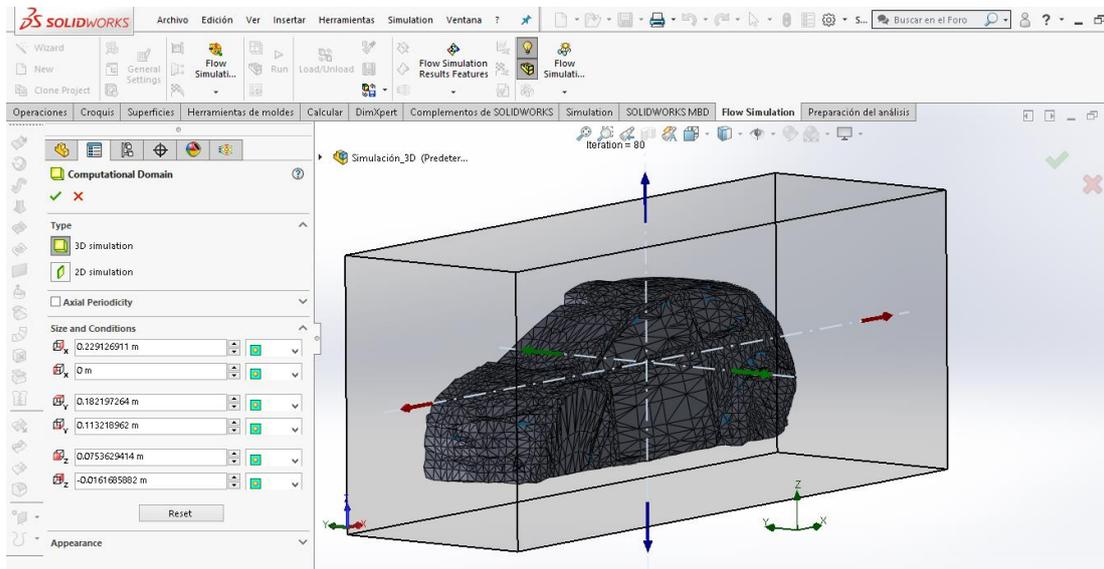


Ilustración 6-14. Túnel de viento de la carrocería en 3D

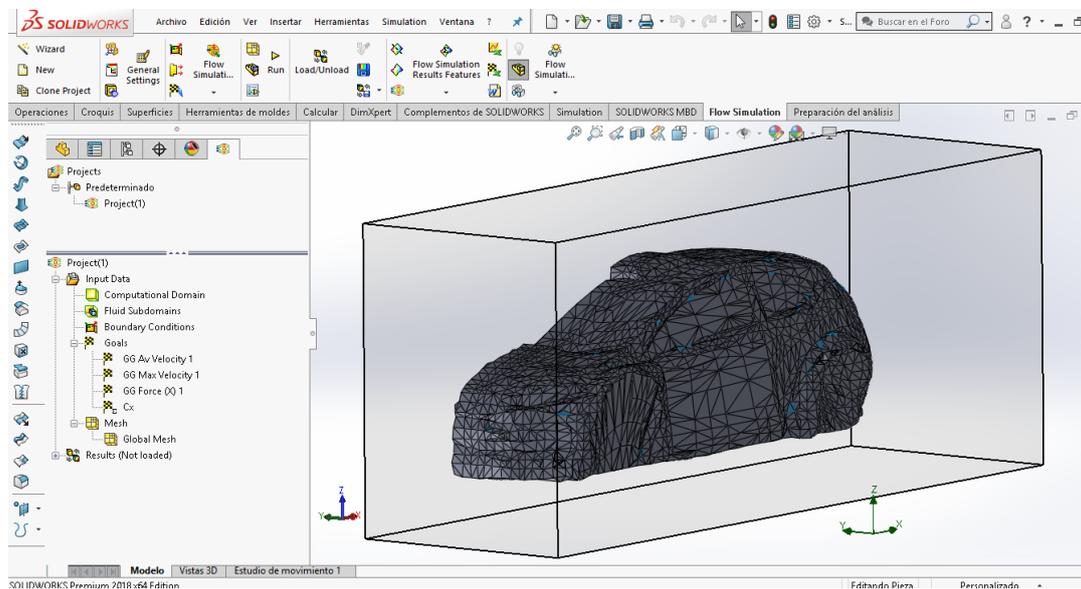
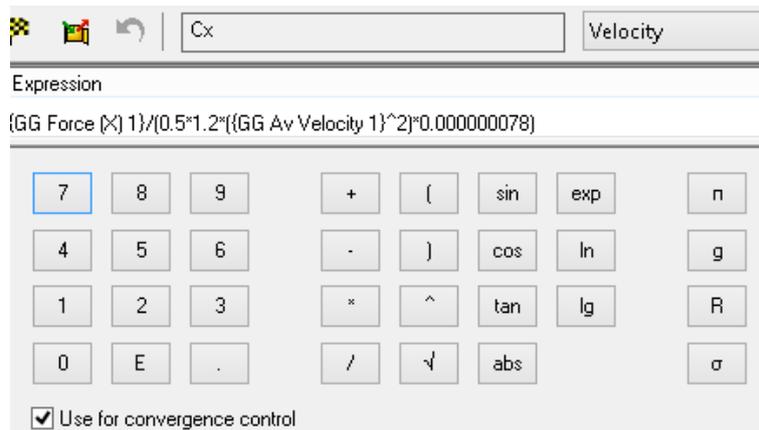


Ilustración 6-15. Elección de los parámetros: Fuerza y Velocidad

Se procede a calcular el coeficiente aerodinámico (C_x) a partir de los parámetros seleccionados anteriormente.

Se puede apreciar los distintos coeficientes que harán falta para realizar el cálculo correcto y sobretodo el área frontal, es de $7.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, es la superficie de la carrocería por el cual el flujo de aire supera la resistencia que se genera en la dirección X. En comparación con el estudio en 2D, el área frontal ha cambiado ya que contiene menor superficie de contorno, por tanto, su fuerza al igual que su área frontal cambiará.



- **Coefficientes** = 0.5 y 1.2
- **Parámetros** = Velocidad (m/s) y Fuerza (N) en X
- **Área Frontal** = $7.8 \cdot 10^{-8} \text{ (m}^2\text{)}$

Ilustración 6-16. Fórmula del coeficiente aerodinámico (Cx)

Por tanto, se observa que nuestro coeficiente aerodinámico es de 0.323 m/s por tanto se cumpliría con el objetivo principal. La fuerza en X es de $4.895 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ ya que se ve influenciado la escala del diseño y por ser una maqueta de 1/24. La velocidad media es de 18 m/s y la velocidad máxima que se ha obtenido en el cálculo es de 18.024 m/s.

| Name | Current Value | Progress | Criterion | Averaged Value |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Cx | 0.322839 m/s | Achieved (IT = 80) | 6.42746e-06 m/s | 0.322828 m/s |
| GG Av Velocity 1 | 18 m/s | Achieved (IT = 76) | 8.54129e-07 m/s | 18 m/s |
| GG Force (X) 1 | 4.89525e-06 N | Achieved (IT = 80) | 9.76998e-11 N | 4.89509e-06 N |
| GG Max Velocity 1 | 18.0244 m/s | Achieved (IT = 72) | 0.000476759 m/s | 18.0246 m/s |

Ilustración 6-17. Cálculo del estudio aerodinámico

Por último, se va a proceder al cálculo de las líneas o trayectorias que describe el flujo de aire sobre la carrocería.



Ilustración 6-18. Presión (Pa)

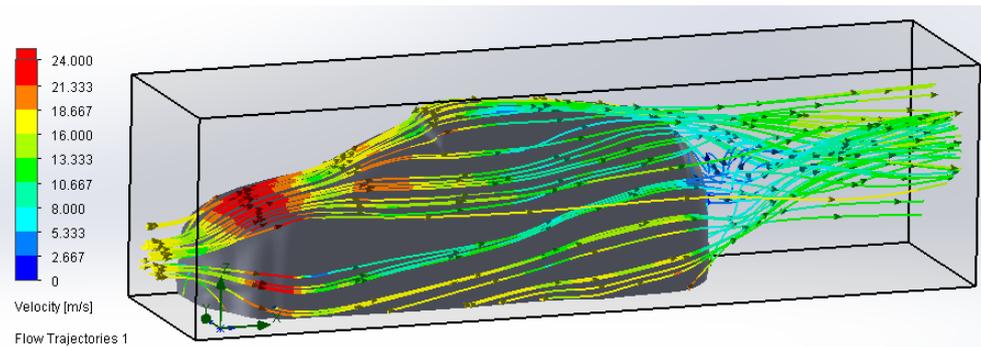


Ilustración 6-19. Trayectorias del flujo de aire en 3D

Estudio aerodinámico del alerón en 3D

Se ha realizado un estudio aerodinámico del alerón por separado, debido a que daba un error a la hora de unir las superficies de la carrocería con el alerón y no permitía el cálculo del estudio. Por esta razón, se decidió realizar un estudio por separado con las mismas condiciones y parámetros que los estudios realizados anteriormente.

Por tanto, la velocidad del flujo de aire se mantendrá a 18 m/s en la dirección del eje X y se partirá de los mismos parámetros: Fuerza en X y Velocidad, además se determinará las dimensiones para el túnel de viento del alerón.

| Parameter | Value |
|---------------------------------|-----------------------|
| Parameter Definition | User Defined |
| Thermodynamic Parameters | |
| Parameters | Pressure, temperature |
| Pressure | 101325 Pa |
| Temperature | 293.2 K |
| Velocity Parameters | |
| Parameter | Velocity |
| Defined by | 3D Vector |
| Velocity in X direction | 18 m/s |
| Velocity in Y direction | 0 m/s |
| Velocity in Z direction | 0 m/s |
| Turbulence Parameters | |

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions

Ilustración 6-20. Parámetro del flujo de aire en Dirección X 18 m/s

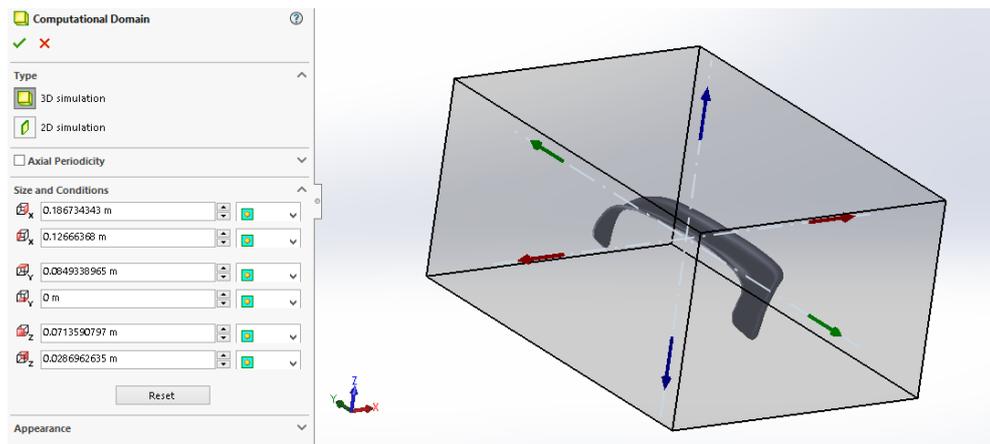
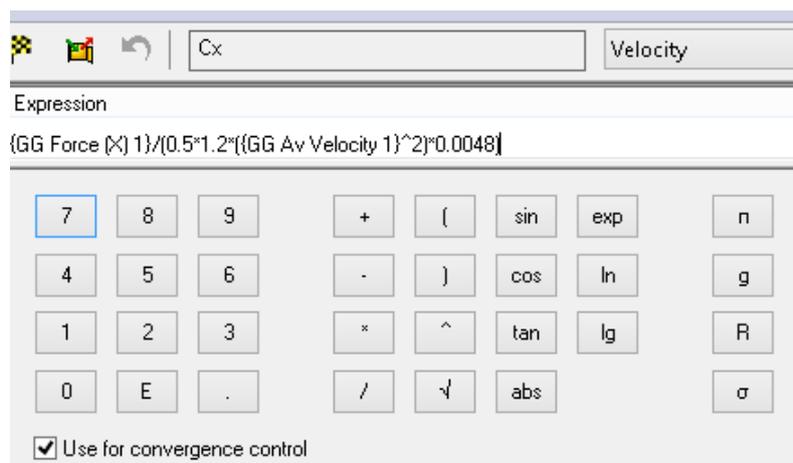


Ilustración 6-21. Túnel de viento del alerón en 3D

Se procede a calcular el coeficiente aerodinámico (C_x) a partir de los parámetros seleccionados anteriormente.

Se puede apreciar los distintos coeficientes que harán falta para realizar el cálculo correcto variando al mismo tiempo el área frontal de aplicación hasta que aparezca un resultado razonable. El área frontal, es de $4.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, es la superficie del alerón por el cual el flujo de aire supera la resistencia que se genera en la dirección X. Al igual que en el apartado del estudio en 2D, la fuerza generada en las superficies es muy pequeña, debido a que el área frontal de aplicación y la escala de la maqueta son menores.



- **Coefficientes** = 0.5 y 1.2
- **Parámetros** = Velocidad (m/s) y Fuerza (N) en X
- **Área Frontal** = $4.8 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$

Ilustración 6-22. Fórmula del coeficiente aerodinámico

Por tanto, se observa que nuestro coeficiente aerodinámico del alerón es de 0.024 m/s por tanto se cumpliría, ya que el coeficiente aerodinámico (C_x) de los perfiles de los alerones ronda entre el 0.015 y el 0.045 dependiendo del área de aplicación. La fuerza en X es de $2.2 \cdot 10^{-2}$ N ya que se ve influenciado la escala del diseño y por ser una maqueta de 1/24. La velocidad media es de 17.824 m/s y la velocidad máxima que se ha obtenido en el cálculo es de 22.987 m/s. Por tanto, se puede apreciar una mejora alrededor del 20 % de la velocidad en distintas partes de la superficie del alerón.

| Name | Current Value | Progress | Criterion | Averaged Value |
|-------------------|---------------|--------------------|--------------|----------------|
| Cx | 0.0240479 m/s | Achieved (IT = 50) | 0.000978163 | 0.0242147 m/s |
| GG Av Velocity 1 | 17.8238 m/s | Achieved (IT = 55) | 0.00468705 n | 17.823 m/s |
| GG Force (X) 1 | 0.0220024 N | Achieved (IT = 50) | 0.000921587 | 0.022153 N |
| GG Max Velocity 1 | 22.9872 m/s | Achieved (IT = 73) | 0.234856 m/s | 22.8287 m/s |

Ilustración 6-23. Cálculo del estudio aerodinámico

Por último, se va a proceder al cálculo de las líneas o trayectorias que describe el flujo de aire sobre el alerón. Se puede comparar menores y mayores presiones en el cálculo provocando una mayor variación de presión es en la parte superior e inferior del alerón, y como consecuencia apareciendo turbulencias en las zonas de menor presión.



Ilustración 6-24. Presión (Pa)



Ilustración 6-25. Velocidad (m/s)

A continuación, se procederá a mostrar la distintas líneas o trayectorias que describe el flujo de aire cuando este sobrepasa las diferentes zonas del alerón.

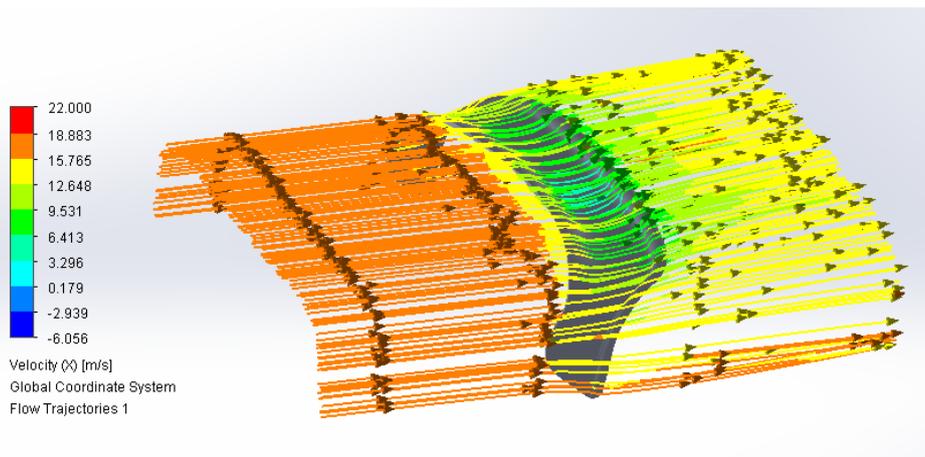


Ilustración 6-26. Flujo del aire en la parte superior del alerón

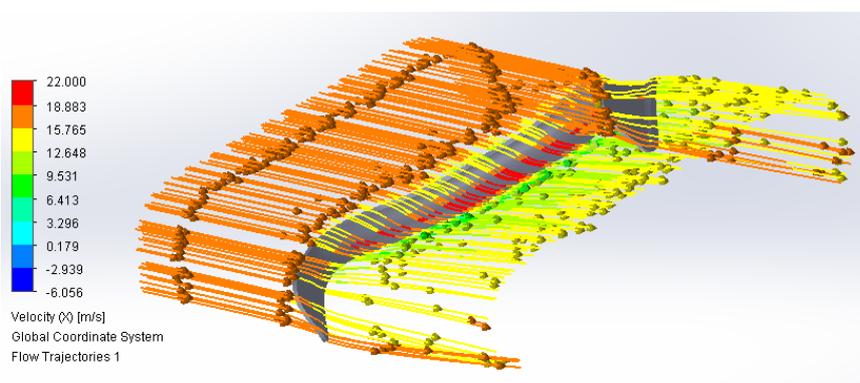


Ilustración 6-27. Flujo del aire en la parte inferior del alerón

7. CONCLUSIONES

Con este proyecto se pretende entender cómo funciona la Ingeniería Inversa a partir de un objeto que ya se ha fabricado y comercializado, intentar obtener el diseño y geometría de este objeto. Este proceso se utiliza para que una vez realizado los prototipos, antes de lanzarlo al mercado se inspecciona todo el objeto para comprobar si hay algún rango de mejor. Si no se detecta mejoras en el objeto, ya se podría enviar a fabricación, pero si se quiere mejorar alguna zona del objeto para mejorar su ergonomía, estética, comportamiento del material..., se deberá rediseñar el objeto solo aquellas partes que se ven afectadas por la causa.

Uno de los objetivos principales del proyecto que se ha llevado acabo es el de conseguir un rediseño de la carrocería con las diferentes herramientas que se tenía a disposición. Para conseguir el rediseño de la carrocería se ha procedido a comprender e informarse de los diferentes escáneres 3D y programas CAD que se podían utilizar en nuestras instalaciones, además de los diferentes requisitos que aportan los programas de CAD para reconstruir las superficies de la carrocería a partir de una nube de puntos. Se han utilizado diferentes programas, ya que cada uno de ellos estaba especializado en un parte o proceso que permita mejorar el diseño, facilitando el proceso para la reconstrucción de las superficies de la carrocería y mejorando la calidad de la imagen.

Por otro lado, se ha procedido a la interpretación de un estudio aerodinámico tanto en 2D como en 3D para abarcar y recopilar todos los datos posibles y establecer una mejora aerodinámica. Se puede apreciar en el apartado de simulación e interpretación de resultados de los estudios aerodinámicos que se han hecho de la carrocería y del alerón, se ha obtenido una pequeña mejora en diferentes zonas de la carrocería y del alerón, como el incremento de velocidad que se produce en la parte superior de la carrocería, exactamente en el capó y en la zona superior del parabrisas delantero, y en la parte inferior del alerón. Otro objetivo que se ha intentado cumplir, es conseguir que el coeficiente aerodinámico (C_x) se ha lo más parecido aún turismo que este en el mercado teniendo en cuenta el área frontal donde se ve afectada el flujo de aire y la escala en la que se diseñe la carrocería.

Para finalizar, en este proyecto se ha seguido un plan de organización, donde se ha determinado y marcado que objetivos se llevan a cabo en cada semana y consiguiendo cumplir con los plazos establecidos lo más rápido posible, enfrentándose a los problemas que iban surgiendo a medida que transcurre el proyecto, hasta conseguir terminar el proyecto en el día que se estableció la fecha de entrega.

8. BIBLIOGRAFÍA

- <https://blogingenieria.com/general/ingenieria-inversa/>
- www.gestiopolis.com.
- <http://www.eoi.es/blogs/pedroismaelvegazo/2011/12/16/aplicacion-de-la-ingenieria-inversa-en-las-organizaciones/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_inversa
- https://hackstory.net/Ingenier%C3%ADa_inversa
- <https://www.lifestylealcuadrado.com/ingenieria-inversa/>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/lopez_a_aa/capitulo4.pdf
- https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9080/Mario_BetancurRodriguez_2011.pdf?sequence=2
- <https://es.scribd.com/document/330952040/Ingenieria-Inversa-del-Software-IV-pdf>
- <http://www.itesca.edu.mx/investigacion/foro/carp%20ponencias/28.pdf>
- [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/ris-ci/pdfs/X581YP.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/ris-ci/pdfs/X581YP.pdf)
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6450>
- <https://es.slideshare.net/stpcingenieriaydiseño/tcnicas-de-ingenieria-inversa-para-diseño-producto>
- <http://www.ehu.es/PDL/castellano/ing inversa.html>
- https://storage.googleapis.com/bqcom15.statics.bq.com/prod/resources/manual/Guia_escaneo_optimo-1475833389.pdf
- https://storage.googleapis.com/bqcom15.statics.bq.com/prod/resources/manual/Horus_Manual_Usuario_0-1475833277.1
- <http://diwo.bq.com/presentacion-ciclop-horus/>
- <http://regrap.org/wiki/Ciclop/es>
- <http://eltucan.es/scanner-3d/43-kit-scanner-3d-bq-ciclop-8436545518809.html>
- <https://3dbiotech.es/deluxe-bioscan/>
- <https://www.3dbiotech.es/wp-content/biotech/manuales/escaner/Manual%20SoftwareDental%202.1.pdf>
- <https://dentaltonal.wordpress.com/laboratorio-cad-cam/escaner-optical-reveng-deluxe/>
- http://eprints.ucm.es/17933/1/DEA_ANA_OCHOA_05-09-2012.pdf

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20931/Memoria.pdf>

<http://www.elephantvfx.com/blog/2014/7/15/procesamiento-rpido-de-lidar>

http://granabot.es/DI3D/Software/Manual_de_Netfabb_y_Slicr.pdf

<https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview>

<https://www.impresoras3d.com/como-utilizar-meshlab-y-netfabb-para-arreglar-tu-objeto-3d/>

<https://es.scribd.com/document/360885712/Trabajo-de-Investigacion-Meshmixer>

[http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4_parte1\(WEB\).pdf](http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4_parte1(WEB).pdf)

<http://www.udi.edu.co/images/biblioteca/aeronautica/aerodinamica.pdf>

<http://www.clubmazdavenezuela.com/index.php/publicaciones/87-mecanicos/169-lo-que-debemos-saber-sobre-el-coeficiente-aerodinamico-cx>

https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_aerodin%C3%A1mico

<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/coeficiente-de-resistencia-aerodinamica-definicion-significado/gmx-niv15-con193598.htm>

<https://www.km77.com/glosario/coefaero>

<http://docplayer.es/11923616-Carroceria-elementos-estructurales-del-vehiculo-capitulo-1-caracteristicas-diseno-materiales-y-tipos-de-construccion.html>

<http://blog.autovidal.es/tecnica/la-importancia-de-la-aerodinamica/>

<http://www.udi.edu.co/images/biblioteca/aeronautica/aerodinamica.pdf>

<https://www.diariomotor.com/.../diferencias-toyota-yaris-wrc-vs-toyota-yaris-hybrid/>

www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/pers.../teor-a-y-analisis-de-respuestas-ppa.pdf

<http://oa.upm.es/13758/1/C14.pdf>

<http://www.dgt.es/revista/archivo/pdf/num156-2002-dossier.pdf>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/87752/Vol%20I%20Memoria.pdf>

<http://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108011.pdf>

https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Sacco/publication/267956140_ANALISIS_DE_LA_AERODINAMICA_DE_UN_AUTOMOVIL_DE_COMPETICION/links/555b336408ae980ca61304b9/ANALISIS-DE-LA-AERODINAMICA-DE-UN-AUTOMOVIL-DE-COMPETICION.pdf

https://cimec.org.ar/foswiki/pub/Main/Cimec/RepositorioDeInformesTesis/meco_auto.pdf

https://www.quecochemecompro.com/precio-version/ford-fiesta-5p-10-ecoboost-125cv-st-line/?qm_source=diariomotor&qm_campaign=card_versions&utm_source=diariomotor.com&utm_campaign=card_versions&utm_medium=referral