



GRADO EN BUSINESS ANALYTICS

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de una infraestructura digital escalable para la
gestión y análisis de datos de un Bill Of Materials

Autor: María Oliva Calero

Director: Rafael Castellote Azorín

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño de una infraestructura digital escalable para la gestión y análisis de datos
de un Bill Of Materials

en la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: María Oliva Calero

Fecha: 10/06/2024

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

Por la presente, yo, María Oliva Calero, estudiante del Doble Grado en Ingeniería de Telecomunicaciones y Business Analytics de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Diseño de una infraestructura digital escalable para la gestión y análisis de datos de un Bill Of Materials" declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Depuración de errores de código:** Para identificar y subsanar los errores que han surgido en el desarrollo del código de la plataforma.
2. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
3. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 10 de junio de 2024

DISEÑO DE UNA INFRAESTRUCTURA DIGITAL ESCALABLE PARA LA GESTIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE UN BILL OF MATERIALS

Autor: Oliva Calero, María.

Director: Castillote Azorín, Rafael.

Entidad Colaboradora: ISC FS Racing Team.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este Trabajo de Fin de Grado se ha desarrollado una infraestructura digital escalable para la gestión distribuida y el análisis de datos de un Bill of Materials (BOM) en el contexto de la competición de Formula Student. El proyecto responde a la necesidad del ISC Formula Student Racing Team de contar con una herramienta que supere las limitaciones de las soluciones actuales y permita una gestión más eficiente de los materiales, procesos y costes asociados a la fabricación de un vehículo de competición.

La plataforma desarrollada está basada en Django y SQLite, lo que garantiza una solución robusta y escalable. Se ha diseñado una base de datos siguiendo los requisitos analizados en base a las reglas de la competición y al estado del arte de las soluciones actuales. La plataforma cuenta con tres submódulos dentro del sistema de gestión: BOM, catálogo y análisis de costes, con diversos roles que permiten acceder a las funcionalidades de cada uno en función de los permisos otorgados.

Los resultados preliminares indican una mejora significativa en la eficiencia operativa, la usabilidad, y la preservación de la información entre temporadas. Se espera que la implementación completa y las pruebas en competiciones futuras confirmen estos beneficios. Esta plataforma establece una base sólida para futuras iteraciones y escalabilidad del sistema, asegurando su relevancia y utilidad en las próximas temporadas.

Palabras clave: Formula Student, Bill of Materials, gestión de datos, análisis de costes, Django.

DESIGN OF A SCALABLE DIGITAL INFRASTRUCTURE FOR THE MANAGEMENT AND ANALYSIS OF BILL OF MATERIALS DATA

Author: Oliva Calero, María.

Supervisor: Castillote Azorín, Rafael.

Collaborating Entity:ISC FS Racing Team.

ABSTRACT

For my Final Degree Project I have designed and developed a scalable digital infrastructure for the distributed management and data analysis of a Bill of Materials (BOM) in the context of Formula Student. The project responds to the need of the ISC Formula Student Racing Team to have a tool that overcomes the limitations of current solutions and allows a more efficient management of materials, processes and costs associated with the manufacture of a racing vehicle.

The platform developed is based on Django and SQLite, which guarantees a robust and scalable solution. A database has been designed following the requirements analysed on the basis of the competition rules and the state of the art of current solutions. The platform has three sub-modules within the management system: BOM, catalogue and cost analysis, with different roles that allow access to the functionalities of each one depending on the permissions granted.

Preliminary results indicate a significant improvement in operational efficiency, usability, and preservation of information between seasons. Full implementation and testing in future competitions is expected to confirm these benefits. This platform establishes a solid foundation for future iterations and scalability of the system, ensuring its relevance and usefulness in future seasons.

Keywords: Formula Student, Bill of Materials, data management, cost analysis, Django

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	10
1.1 Formula Student	10
1.1.1 Estructura de la competición.....	11
1.2 ISC FS Racing Team.....	17
1.3 Motivación del proyecto.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	21
Capítulo 2. Cost & Manufacturing	23
2.1 Bill of Material	25
2.1.1 Detailed Bill of Material	27
2.1.2 Costed Bill of Material	28
2.2 Variaciones en función de la competición.....	29
2.2.1 Formula Student UK.....	29
2.2.2 Formula Student US	30
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	32
3.1 Herramientas Existentes	32
3.1.1 Herramienta A (FSG):.....	32
3.1.2 Herramienta B (FS UK):	34
3.1.3 Herramienta C (FSAE).....	35
3.2 Histórico ISC FS Racing Team	37
3.3 Soluciones comerciales	38
3.3.1 InventTree.....	39
Capítulo 4. Definición del Trabajo	41
4.1 Justificación.....	41
4.2 Objetivos	41
4.3 Planificación de Trabajo.....	42
Capítulo 5. Sistema/Modelo Desarrollado.....	44
5.1 Definición de requisitos.....	44
5.2 Diseño General de la Arquitectura	45
5.2.1 Django.....	47

5.3	Arquitecturas Descartadas	48
Capítulo 6. Diseño de la solución		50
6.1	Diseño de la Base de Datos	50
6.2	Sistema de Gestión Central	52
6.2.1	Gestión de BOM	53
6.2.2	Gestión del Catálogo	57
6.3	Análisis para la toma de decisiones	59
6.3.1	Assemblies	60
6.4	Autenticación y Autorización	63
Capítulo 7. Análisis de Resultados		66
7.1	Evaluación de la funcionalidad del sistema	66
7.2	Impacto Previsto en las Operaciones del Equipo	67
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros		68
8.1	Conclusiones	68
8.2	Trabajos Futuros	69
Capítulo 9. Bibliografía		71
ANEXO I		74

Índice de figuras

Ilustración 1:Foto de equipo del ISC FS Racing Team 2022-2023 en el circuito de Montmeló	11
Ilustración 2: Resumen de puntuaciones de la competición (Fuente: Formula Trinity)	12
Ilustración 3: Tilt Test	14
Ilustración 4: Circuito Skidpad Formula Student [1]	15
Ilustración 5: Prueba del Acceleration en FSS 2024	16
Ilustración 6: Línea temporal del ISC FS Racing Team (elaboración equipo de marketing)	18
Ilustración 7: Competiciones del ISC FS Racing Team para la temporada actual (elaboración propia).....	22
Ilustración 8: Jerarquía del BOM (elaboración propia).....	26
Ilustración 9: Jerarquía del DBOM (elaboración propia)	28
Ilustración 10: Gráfico de toma de decisión para costear un elemento electrónico según FSAE [4].....	31
Ilustración 11: FSG CBOM Tool (de www.formulastudent.de)	33
Ilustración 12: FS UK Cost Tool (de www.imeche.org).....	34
Ilustración 13: FSAE Cost Tool (de www.fsaonline.com).....	36
Ilustración 14: Interfaz de asociación de documentos de la herramienta de FSAE (de www.fsaonline.com).....	36
Ilustración 15: Catálogo de materiales de FSAE (de www.fsaonline.com)	37
Ilustración 16: Hoja de Excel con el desarrollo DBOM de una pieza en el IFS-05.....	38
Ilustración 17: Organización del DBOM basada en archivos Excel	38
Ilustración 18: InventTree	39
Ilustración 19: Arquitectura de alto nivel	45
Ilustración 20: MVT Design Pattern [9].....	47
Ilustración 21: Diagrama de relaciones de la base de datos	52
Ilustración 22: Operaciones CRUD [10]	53
Ilustración 23: Diagrama de interacción para la creación de una parte.....	54

Ilustración 24 Diagrama de secuencia de la actualización de costes basado en señales:	55
Ilustración 25: Diagrama de la lógica de duplicar una parte con sus componentes	56
Ilustración 26: Acciones para la gestión de componentes	56
Ilustración 27: Acciones para la gestión del catálogo	58
Ilustración 28: Formulario para la edición de un material.....	59
Ilustración 29: Cabecera página de análisis.....	60
Ilustración 30: Selector análisis de Costes- Assemblies.....	61
Ilustración 31: Dashboard de análisis de costes - Assemblies.....	62
Ilustración 32: Limitación de acceso de Django admin Site	64
Ilustración 33: Roles de la plataforma de gestión de BOM.....	65
Ilustración 34: Gestión de permisos de Team Member	65

Índice de tablas

Tabla 1: Puntuaciones máximas por prueba y categoría [1].....	17
Tabla 2: Puntuaciones del ISC FS Racing Team en las pruebas estáticas de la temporada 2022-2023	19
Tabla 3: Puntuaciones Cost & Manufacturing Event [1]	24
Tabla 4: Penalizaciones Cost & Manufacturing Event [1]	24
Tabla 5: Assemblies para el Brake System en la temporada 2022-23 (elaboración propia).....	27
Tabla 6: Temas ejemplo a incluir en el CEF según la normativa de FS UK [3]	30
Tabla 7: Funcionalidades de FS UK Cost Tool.....	35
Tabla 8: Comparativa Bases de Datos	46
Tabla 9: Comparación de patrones arquitectónicos [8]	49
Tabla 10: Operaciones sobre la base de datos del catálogo.....	57

Acrónimos

SAE	Society of Automotive Engineers
FS	Formula Student
ISC	ICAI Speed Club
FSG	Formula Student Germany
FSS	Formula Student Spain
FSI	Formula Student Italy
BOM	Bill of Material
CBOM	Costed Bill of Material
DBOM	Detailed Bill of Material
CEF	Cost Explanation File
CDR	Cost Report Documents
EV	Electric Vehicles
CV	Combustion Vehicles
DV	Driverless Vehicles
IMech	Institute of Mechanical Engineering
FS UK	Formula Student Reino Unido
FS US	Formula Student Estados Unidos
ORM	Object Relational Mapping
MVC	Model-View-Controller
MVT	Model-View-Template
CRUD	Create, Read, Update, Delete

Glosario Términos Técnicos

A continuación, se incluye una definición de los principales técnicos tratados en el documento, tanto en el ámbito de Formula Student como en el ámbito de desarrollo de software.

API (Application Programming Interface)

Conjunto de reglas y definiciones que permite que dos aplicaciones se comuniquen entre sí.

Autenticación

Proceso de verificar la identidad de un usuario antes de permitirle acceder a un sistema.

Autorización

Proceso de otorgar permisos específicos a usuarios autenticados para acceder a recursos o realizar acciones en un sistema.

Bill of Materials (BOM)

Lista completa de todas las partes necesarias para fabricar un producto. En el contexto del proyecto, se refiere a las partes del coche de competición.

Costed Bill of Materials (CBOM)

Versión del BOM que incluye los costos de materiales, procesos y herramientas necesarios para la fabricación del producto.

CRUD (Create, Read, Update, Delete)

Se refiere a las cuatro operaciones básicas de almacenamiento persistente que permiten la gestión completa de los registros en una base de datos.

Detailed Bill of Materials (DBOM)

Versión detallada del BOM que incluye procesos específicos de fabricación y montaje para cada parte.

Django

Framework web de alto nivel en Python que permite el desarrollo rápido de aplicaciones web seguras y escalables.

Foreign Key

Campo en una tabla de base de datos que crea una relación entre dos tablas, apuntando a la clave primaria de la otra tabla.

Formula Student

Competición internacional donde equipos universitarios diseñan, fabrican y compiten con coches de carreras monoplace.

ModeloView-Template (MVT)

Patrón de diseño de software utilizado en Django que separa la lógica de la aplicación en tres componentes interconectados: Modelo, Vista y Plantilla.

Object Relational Mapping (ORM)

Técnica de programación que convierte datos entre sistemas incompatibles usando un modelo orientado a objetos. En Django, permite interactuar con bases de datos como si fueran objetos Python.

Pre-Scrutineering

Inspección preliminar que asegura que el equipo de seguridad del piloto esté completo y funcional antes de la inspección técnica completa en una competición de Formula Student.

Primary Key

Campo en una tabla de base de datos que identifica de manera única cada registro en esa tabla.

REST API

Interfaz de programación de aplicaciones que utiliza solicitudes HTTP para realizar operaciones CRUD en recursos web.

Scrutineering

Inspección técnica previa que deben superar los vehículos antes de participar en las pruebas dinámicas de una competición de Formula Student.

SQLite

Biblioteca software que proporciona un sistema de gestión de bases de datos relacional ligero y autónomo.

Telemetry

Uso de dispositivos para recoger y transmitir datos a distancia, utilizado en el contexto del equipo para mejorar la toma de decisiones en tiempo real.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El Trabajo de Fin de Grado desarrollado se enmarca en mi participación en el ISC Formula Student Racing Team durante la temporada 2023/2024. Tras dos temporadas en el equipo, el primer año como ingeniera en el departamento de Telemetría y el segundo, como jefa del departamento de Cost & Manufacturing, en esta tercera temporada he asumido el rol de Directora Técnica del área de pruebas estáticas.

El contenido y planteamiento de este trabajo se han desarrollado durante el año académico 2023/2024 y será demostrado y presentado en las competiciones realizadas en el verano de 2024.

1.1 FORMULA STUDENT

Formula Student es una competición internacional desarrollada en el ámbito universitario que fusiona la ingeniería con las carreras de automóviles. En ella, los equipos universitarios deben concebir, diseñar y fabricar un coche de carreras monoplace con el que compiten a final de temporada en los diferentes eventos de Formula Student que se realizan por el mundo en los que se realizan una serie de pruebas estáticas y dinámicas que evalúan tanto el rendimiento del monoplace como las habilidades ingenieriles del equipo [18].



Ilustración 1:Foto de equipo del ISC FS Racing Team 2022-2023 en el circuito de Montmeló

La competición nació en 1981 en Estados Unidos, dentro del programa creado por la Asociación de Ingenieros de Automoción (SAE por sus siglas en inglés), en colaboración con la Institución de Ingenieros Mecánicos (IMEch), quién trasladó la competición a Europa [13]. Actualmente, la competición se celebra en múltiples ubicaciones a lo largo de Europa, incluyendo Alemania, Austria, República Checa, Hungría, Italia, Reino Unido, Países Bajos, Suiza, España y Portugal. Su propósito es brindar a los estudiantes universitarios la oportunidad de aplicar sus conocimientos teóricos en un entorno práctico fomentando la innovación, el trabajo en equipo y el desarrollo de habilidades en ingeniería, dirección y gestión de proyectos y financiación de los mismos.

1.1.1 ESTRUCTURA DE LA COMPETICIÓN.

A continuación, se explica el desarrollo y funcionamiento de la competición. Al tener carácter internacional, todas las pruebas y documentos presentados se realizan en inglés, siendo este el idioma oficial de todas las competiciones de Formula Student. Por ello, a lo largo de todo el documento se usarán títulos o nombres en inglés para designar diferentes partes de la competición o del monoplaza.

Existen tres categorías diferentes en función de tipo de vehículo desarrollado: vehículos con motor de combustión (CV), vehículos sin conductor o driverless (DV) y vehículos eléctricos (EV). El ISC FS Racing Team, del que formo parte, actualmente compete en esta última.

Todos los equipos, independientemente de la categoría participan en una serie de pruebas o eventos, tanto dinámicos como estáticos.

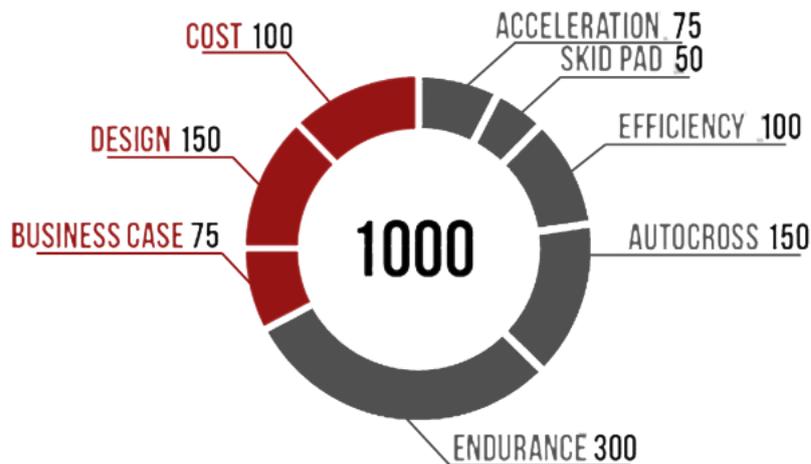


Ilustración 2: Resumen de puntuaciones de la competición (Fuente: Formula Trinity)

1.1.1.1 Pruebas estáticas

Los eventos estáticos evalúan las características financieras y de comunicación del equipo, así como las técnicas de presentación y análisis y justificación de las decisiones tomadas. Se realizan tres pruebas

- **Business Plan.** Esta prueba consiste en el desarrollo de un Plan de Negocio para el monoplaza que se presenta a un jurado durante la competición. La idea debe estar concebida alrededor del vehículo o una parte de él, demostrando la viabilidad económica de monetizar el monoplaza en un escenario irreal. En función de la competición se presentan diferentes documentos que incluyen presupuestos, executive summaries y desarrollos escritos, cuyo contenido se demuestra en una duración de entre 10 y 25 minutos dependiendo de la competición.

- **Engineering Design.** En esta prueba se evalúa el diseño del monoplaça y las decisiones que se han tomado a nivel técnico sobre éste. La prueba se divide en varias categorías que incluyen suspensión y dinámica, ergonomía, diseño de software y hardware o interfaz de piloto, entre otras.
- **Cost & Manufacturing.** El objetivo del evento de Cost & Manufacturing es evaluar el conocimiento y entendimiento del equipo de los procesos de fabricación y costes asociados a la producción de un vehículo de competición prototipo.¹

1.1.1.2 Inspección Técnica y Pruebas Dinámicas

Para que el equipo pueda participar en las pruebas dinámicas y poner el coche en pista, es necesario superar una inspección técnica previa, el Scrutineering.

Este se lleva a cabo para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las regulaciones técnicas, de cada vehículo que participa en la competición de Formula Student. La inspección evalúa en detalle cada aspecto del vehículo para asegurar su conformidad con el reglamento técnico de la competición, publicado y actualizado cada año por el comité de Formula Student Germany que establece los estándares mínimos de funcionamiento y seguridad que deben cumplir los prototipos.²

La inspección técnica varía según la categoría del vehículo, pero en el caso de los vehículos eléctricos, consta de cuatro partes principales. En primer lugar, se lleva a cabo el Pre-Scrutineering, durante el cual se verifica que el equipo de seguridad del conductor esté completo y funcional, incluyendo la capacidad de salir rápidamente del vehículo en caso de emergencia y la disposición adecuada del material de seguridad. A continuación, se realiza la Inspección del Acumulador, que incluye la verificación de la tensión del acumulador, así como la evaluación del cargador y la documentación relacionada con la seguridad de su uso. Posteriormente, se lleva a cabo la Inspección Eléctrica, durante la cual se controla la tensión baja y se verifica el cumplimiento de los protocolos electrónicos de seguridad, junto con la

¹ Reglas de la competición Formula Student Germany 2024, “Cost & Manufacturing”

² Reglas de la competición Formula Student Germany 2024, “Scrutineering”

secuencia de encendido del vehículo. Finalmente, se realiza la Inspección Mecánica, que evalúa los aspectos mecánicos del coche, como la suspensión y el chasis.

Una vez que el vehículo ha superado todas las secciones de la inspección técnica, se somete a una serie de pruebas o tests adicionales para garantizar su seguridad y rendimiento en diversas condiciones. Estos son:

- **Tilt test.** Se realiza una prueba de inclinación diseñada para detectar fugas de líquidos y evaluar la estabilidad del vehículo en condiciones extremas.



Ilustración 3: Tilt Test

- **Rain Test.** Durante este test, se “riega” el vehículo constantemente durante 3 minutos para asegurar el aislamiento efectivo de los componentes eléctricos frente a la humedad.
- **Brake Test.** La prueba de frenado mide la capacidad de frenado del coche para garantizar su seguridad en situaciones de emergencia.

Así como los eventos estáticos evalúan a los miembros del equipo, los eventos dinámicos ponen a prueba el rendimiento del monoplaza en el circuito. Se realizan cuatro pruebas diferentes que ponen en valor diferentes aspectos del coche.

- **Skidpad.** En la prueba de skidpad se evalúa la estabilidad lateral del vehículo en un circuito en forma de ocho formado por dos círculos concéntricos. El piloto tiene dos oportunidades de obtener el mejor tiempo sin tirar los conos que rodean la pista. En la siguiente imagen se muestra el recorrido que ha de seguir el piloto durante el evento de Skidpad.

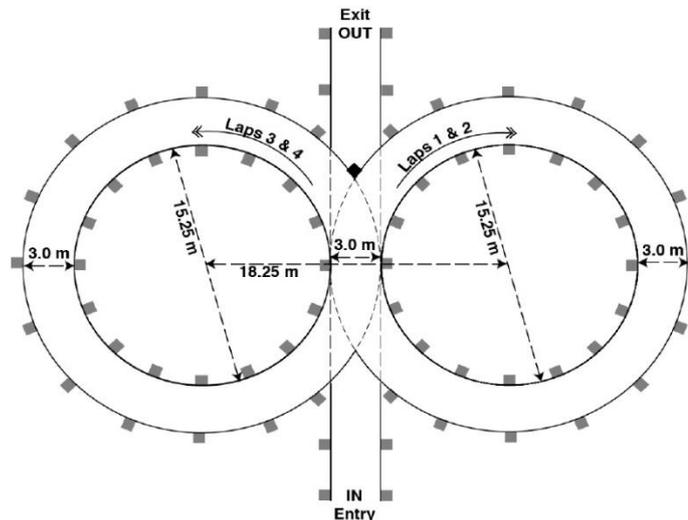


Ilustración 4: Circuito Skidpad Formuła Student [1]

- **Acceleration.** La prueba de aceleración consiste en, partiendo del coche en reposo, recorrer 75 metros en el menor tiempo posible. La pista de aceleración consiste en una línea recta.



Ilustración 5: Prueba del Acceleration en FSS 2024

- **Autocross.** Este evento pone a prueba el rendimiento del coche en términos de aceleración, frenada y velocidad en curva. El circuito de autocross cuenta con rectas de no más de 80m, curvas abiertas, curvas cerradas y slaloms. La longitud total de la pista es inferior a 1.5 km.
- **Endurance.** La prueba de resistencia o endurance evalúa la durabilidad y resistencia del vehículo en una distancia de 22 km. Esta se realiza en el mismo circuito utilizado para el autocross.
- **Efficiency.** En el desarrollo de la prueba de Endurance se analiza, además, el consumo de energía del vehículo en relación a la velocidad.

Cada una de las pruebas, tanto estáticas como dinámicas tienen una puntuación independiente y de distinto valor que se suman y dan lugar a la clasificación general de la competición. Las puntuaciones se detallan a continuación.

	CV & EV	DC
Static Events:		
Business Plan Presentation	75 points	-
Cost and Manufacturing	100 points	-
Engineering Design	150 points	150 points
Dynamic Events:		
Skidpad	50 points	-
Driverless (DV) Skidpad	75 points	75 points
Acceleration	50 points	-
Driverless (DV) Acceleration	75 points	75 points
Autocross	100 points	-
Driverless (DV) Autocross	-	100 points
Endurance	250 points	-
Efficiency	75 points	-
Trackdrive	-	200 points
Overall	1000 points	600 points

Tabla 1: Puntuaciones máximas por prueba y categoría [1]

1.2 ISC FS RACING TEAM

Para comprender la motivación de este proyecto como objetivo de mejorar la puntuación del equipo en competición e ir un paso más allá y ayudar con este proyecto en la toma de decisiones en cuanto a la fabricación, diseño, elección de materiales y áreas de inversión en el monoplaza, es necesario conocer la historia del equipo del que formo parte, el ISC Formula Student Racing Team.

Nuestra Historia



Ilustración 6: Línea temporal del ISC FS Racing Team (elaboración equipo de marketing)

El ISC FS Racing Team fue fundado en 2017 por doce entusiastas alumnos de ICAI con una pasión compartida por la Fórmula 1 y el motorsport. Con el respaldo de Iberdrola, el equipo se aventuró en el diseño y desarrollo de su primer monoplace eléctrico, el IFS-01, con el objetivo de sumergirse en el mundo del Formula Student y aprender de la experiencia. En su primer año, el equipo participó en su primera competición en Montmeló.

En la temporada siguiente, el equipo dio un salto organizativo significativo con la entrada de más miembros, lo que llevó al desarrollo del IFS-02, un prototipo con mejoras técnicas notables. Sin embargo, debido a retrasos en el proceso, el equipo no pudo competir ese año, optando por planificar la siguiente temporada en un periodo de dos años.

La temporada 2019-2021 presentó desafíos adicionales con la pandemia de COVID-19, que obligó al equipo a adaptarse a nuevas formas de trabajo. A pesar de enfrentar dificultades a

nivel técnico y organizativo, el equipo demostró su capacidad de adaptación y trabajo en equipo al completar su primer monoplace funcional en julio de 2021.

La temporada 2021-2022 marcó un punto de inflexión en la historia del equipo, con una reestructuración de su imagen y el cambio a ISC FS Racing Team. Esta temporada estuvo marcada por avances significativos, como la implementación de telemetría, lo que llevó al equipo a lograr un hito importante al pasar el scrutineering completo y participar en las pruebas dinámicas de Formula Student Spain. Además, el equipo participó en su primera competición internacional en Formula Student Italy.

La temporada anterior, que supuso un paso adelante por mi parte, asumiendo el rol de directora técnica de pruebas estáticas a mitad de temporada, fue la más exitosa del equipo hasta la fecha. Por primera vez, el equipo consiguió completar todas las pruebas dinámicas en una competición y se duplicó la puntuación de las pruebas estáticas con respecto al año anterior, obteniendo un P7 en el ranking global en FS Spain.

	Business Plan	Cost Event	Design Event
FSS	64.6	92.5	78.4
FS Italy	73	81.4	63.4

Tabla 2: Puntuaciones del ISC FS Racing Team en las pruebas estáticas de la temporada 2022-2023

En la temporada actual, el equipo continúa su evolución, centrándose en mejorar la fiabilidad electrónica y optimizar la dinámica del vehículo. Además, se está trabajando en justificar el diseño del vehículo y mejorar el rendimiento en las pruebas estáticas, con la retroalimentación de los jueces en la competición del año anterior como guía.

1.3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Mi trayectoria en el ISC Formula Student Racing Team ha estado marcada por un compromiso por la excelencia y la búsqueda constante de mejoras significativas en todos los

aspectos del equipo. A medida que he asumido roles de mayor responsabilidad, he sido testigo de la relevancia de la gestión eficiente de datos y de la posibilidad de desarrollar soluciones tecnológicas que nos ayuden a enfrentar las diferentes partes de la competición.

Desde mi paso por el departamento de telemetría, he comprendido la importancia de los datos en la toma de decisiones, diseñando una pantalla para la interfaz del piloto que le proporcionaba datos en tiempo real y le ayudaba a gestionar los recursos y evaluar las acciones a tomar. Además, esta primera temporada supuso mi primer contacto con el evento del Business Plan, presentándolo ante el jurado en las dos competiciones a las que asistimos ese verano (Formula Student Italy y Formula Student Spain).

En mi segunda temporada, tuve la oportunidad de asumir roles de mayor responsabilidad dentro del equipo. Como jefa del departamento de Cost & Manufacturing, lideré una prueba en la que no se había puesto foco en las temporadas anteriores en el equipo. En este contexto, sobre un lienzo en blanco, desarrollé un sistema para gestionar el Bill of Material del equipo, que se detallará la sección del Estado del Arte de este mismo documento. Esto me llevó a explorar el potencial de la tecnología para optimizar nuestros procesos y mejorar nuestro rendimiento general en competición. Además, a mitad de temporada asumí el rol de directora técnica de las pruebas estáticas.

En mi tercer año en el equipo ISC Formula Student Racing Team, soy la responsable de las pruebas estáticas del equipo coordinando a los alrededor de 70 miembros de los diferentes departamentos del equipo en la realización y preparación de las pruebas estáticas mencionadas anteriormente en este capítulo.

En este contexto, surge la motivación del proyecto actual: el desarrollo de una plataforma de gestión y análisis de datos del Bill of Material (BOM) que se presenta en la prueba de Cost & Manufacturing de la competición de Formula Student.

El Bill of Material es una parte fundamental del proceso de cualquier empresa que se dedica al sector de la fabricación y su gestión efectiva es esencial para garantizar la calidad y la

eficiencia dentro de la empresa. Por ello, se plantea la gestión de la información contenida en el BOM de manera más avanzada y automática con la plataforma diseñada.

1.4 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es el diseño, desarrollo y despliegue de un sistema escalable de gestión distribuida de datos de fabricación que de soporte a las actividades que de soporte a la construcción de los prototipos del ISC Formula Student Racing Team a lo largo de las temporadas y que ayude al análisis de datos recopilados durante la fabricación y a la toma de decisiones en torno a ellos en términos de coste y fabricación.

Dentro de este objetivo, se distinguen los siguientes:

- Análisis de las limitaciones de la solución anterior y de los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir el nuevo sistema
- Estudio de diferentes planteamientos que permitan dar solución al problema planteado.
- Diseño de una arquitectura y base de datos que supongan un único software de gestión del BOM para el equipo.
- Diseño de una herramienta que permita explorar las áreas más intensivas en términos de coste del vehículo para poder tomar las acciones oportunas.
- Implementación de un sistema que persista en el tiempo y que de soporte al equipo durante la temporada actual y futuras
- Despliegue de la solución desarrollada y presentación en las pruebas de Cost & Manufacturing de las competiciones a las que acudirá el ISC FS Racing Team esta temporada, siendo estas: Formula Student Spain, Formula Student Germany y Formula Student Italy.



Ilustración 7: Competiciones del ISC FS Racing Team para la temporada actual (elaboración propia)

Capítulo 2. COST & MANUFACTURING

Para entender el propósito de este proyecto, así como los requisitos detrás de este y el trabajo realizado, este capítulo analiza a fondo la prueba de Cost & Manufacturing en las competiciones de Formula Student Spain, Formula Student Germany y Formula Student Italy a las que asistirá el equipo el verano de 2024.

El evento de Cost & Manufacturing tiene como objetivo principal evaluar la competencia del equipo sobre los procesos de fabricación y los costes asociados a la producción de un vehículo prototipo. Esto implica tomar decisiones de compensación entre contenido o rendimiento y coste, decisiones de fabricación propia o compra, o comprender las diferencias entre producción de prototipos o en masa.

Antes de la competición, los equipos deben presentar el CDR o Cost Report Documents que consiste en los siguientes documentos:

- Un BOM incluyendo un DBOM y un CBOM, que es el documento en el que se enfoca este proyecto.
- Un documento de soporte al BOM que incluye información adicional tal como planos, vistas explosionadas de las partes incluidas en el BOM y que permita a los jueces entender el BOM
- Un CEF o Cost Explanation File que contiene información detallada que ayude a los jueces a entender los costes incluidos en el CBOM. Debe incluir el modelo de costes empleado y figuras específicas como el coste horario de operar una máquina.

Estos documentos no solo deben ser precisos y completos, sino que también deben ser un fiel reflejo del vehículo que se presenta en la competición. Durante la prueba de Cost & Manufacturing, se lleva a cabo una discusión detallada con los jueces, dividida en tres partes, donde los equipos deben demostrar su conocimiento sobre el BOM, comprender los costes

asociados con la fabricación del vehículo y abordar un caso real específico que se plantea en junio por los jueces de cada competición.

La puntuación de la prueba se reparte de la forma indicada en la siguiente tabla, pudiendo conseguir hasta 100 puntos para la clasificación global de la competición.

Category	Points
Format and Accuracy of Documents	5
Knowledge of Documents and Vehicle	5
BOM and BOM discussion	35
Discussion Part 2 “Cost Understanding”	35
Part 3 “Real Case”	20
Total	100

Tabla 3: Puntuaciones Cost & Manufacturing Event [1]

También se contemplan penalizaciones por falta de precisión en los documentos, recogidos en la siguiente tabla.

Missing Item	Points
Assembly	-5
Part	-3
Process/Material	-1

Tabla 4: Penalizaciones Cost & Manufacturing Event [1]

Tras la presentación de todos los equipos, los jueces eligen a un máximo de cuatro equipos para participar en la final del evento para determinar al equipo ganador de Cost & Manufacturing.

La puntuación de los no finalistas se calcula de la siguiente forma:

$$COST_SCORE = 95 \left(\frac{P_{team}}{P_{max}} \right)$$

Ecuación 1: Puntuación equipos no finalistas de la prueba Cost & Manufacturing [1]

Donde:

- P_{team} es la puntuación sobre 100 obtenida por el equipo
- P_{max} es la puntuación máxima de cualquier equipo que no participe en la final

Las puntuaciones de los equipos finalistas se calculan de la siguiente forma:

$$COST_SCORE = P_{team}$$

Ecuación 2: Puntuación equipos finalistas de la prueba Cost & Manufacturing [1]

Donde P_{team} es la puntuación obtenida por el equipo en la prueba.

2.1 BILL OF MATERIAL

El BOM o Bill of Material consiste en una lista de todas las partes que componen el coche. La competición reguladora de Formula Student Germany obliga a que se siga la siguiente estructura, que va a marcar la estructura de la base de datos que va a tener la plataforma diseñada:

- El BOM se divide en sistemas, que están definidos por FSG
- Cada sistema se divide a su vez en assemblies, también definidos por FSG
- Cada assembly puede opcionalmente dividirse en subassemblies, que deben ser definidos por el equipo
- Cada assembly o subassembly se divide en partes, definidas por el equipo. Las partes son la unidad más básica que forma parte del coche. Cada una debe categorizarse como “m” fabricada (manufactured) o “b” comprada (bought)

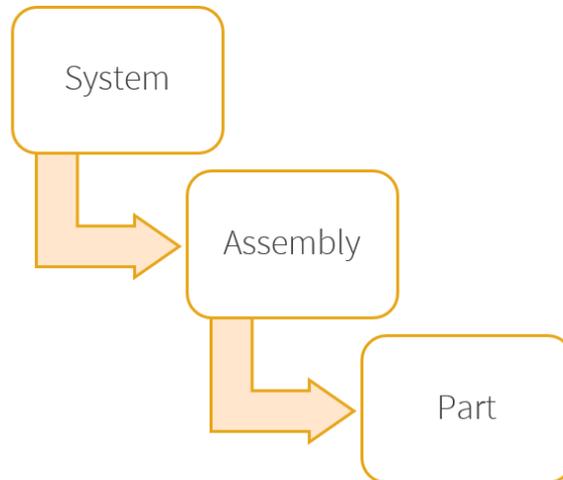


Ilustración 8: Jerarquía del BOM (elaboración propia)

Los sistemas definidos por la competición son los siguientes:

- Brake System
- Engine and Drivetrain
- Chassis and Body
- Electrical
- Miscellaneous, Fit and Finish
- Steering System
- Suspension System
- Wheels, Wheel Bearings and Tires
- Autonomous system

Cada sistema tiene sus propios sistemas asociados en la herramienta del BOM de Formula Student Germany, que se explicará a continuación en el capítulo del Estado del Arte. En la siguiente tabla se detallan los assemblies incluidos en el Brake System en la temporada 2022-2023, temporada anterior a la redacción de este documento.



Car IFS-05
Season 22-23
Department COST

BR - Brake System

ID	Assembly
ISC-BR-A0001	Balance Bar
ISC-BR-A0002	Brake Discs
ISC-BR-A0003	Brake Fluid
ISC-BR-A0004	Brake Lines
ISC-BR-A0005	Brake Master Cylinder
ISC-BR-A0006	Brake Pads
ISC-BR-A0007	Brake System Front
ISC-BR-A0008	Brake System Rear
ISC-BR-A0009	Calipers
ISC-BR-A0010	Fasteners
ISC-BR-A0011	Proportioning Valve
ISC-BR-A0012	Other

Tabla 5: Assemblies para el Brake System en la temporada 2022-23 (elaboración propia)

Según las reglas de la competición, uno o dos sistemas del BOM tienen que ser un DBOM.
Según las reglas de la competición, uno o dos sistemas del BOM tienen que ser un CBOM.

2.1.1 DETAILED BILL OF MATERIAL

En el DBOM o Detailed Bill of Material, deben incluirse los procesos de fabricación y montaje de las todas las partes incluidas en el sistema.

Además de la estructura que sigue el BOM, el DBOM se estructura de la siguiente forma:

- Cada parte se divide en materiales y procesos necesarios para fabricarla
- Cada proceso se divide en cierres, enganches y similares, y herramientas.

Según la normativa por la que se rige la prueba,

- Proceso es cada una de las operaciones necesarias para producir la pieza a partir del material
- Material es la materia prima de cada pieza, p.e. aluminio
- Herramienta es el utensilio necesario para transformar el material con la forma deseada.

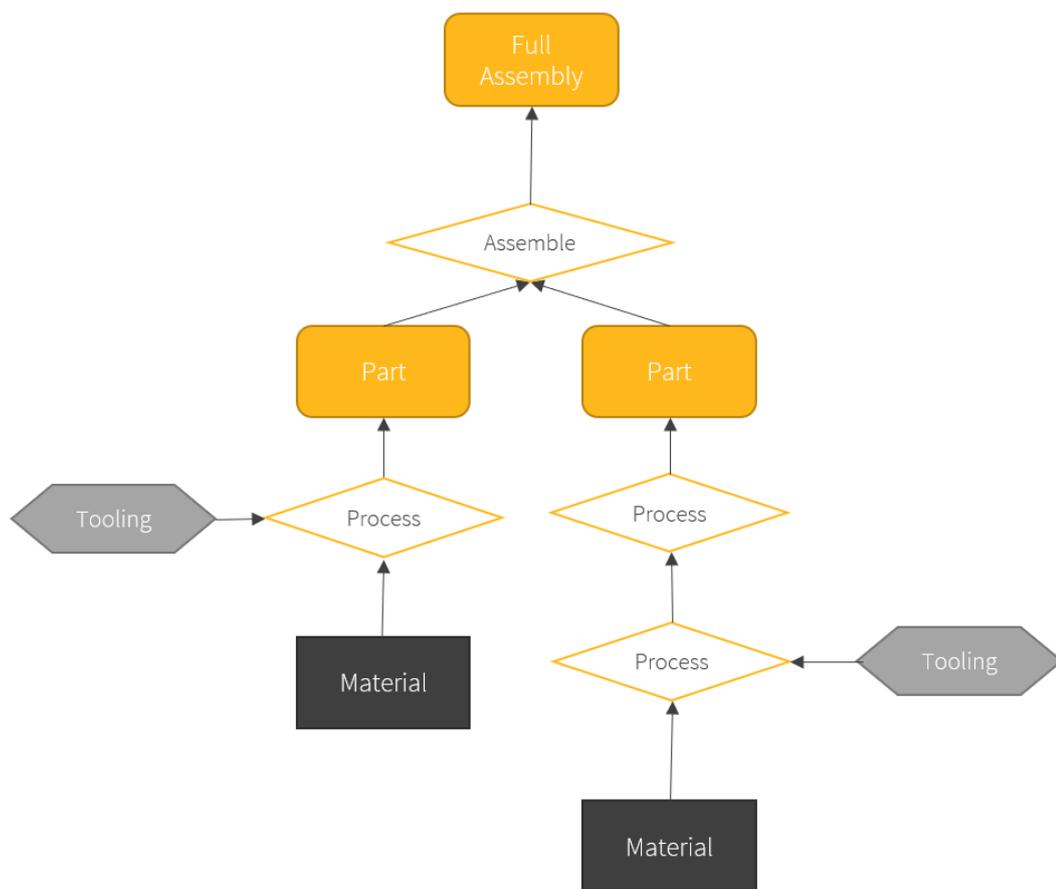


Ilustración 9: Jerarquía del DBOM (elaboración propia)

2.1.2 COSTED BILL OF MATERIAL

Según la normativa, uno o dos de los sistemas del BOM tienen que ser un CBOM o Costed Bill of Material. Esto implica que los costes reales del prototipo deben incluirse en el BOM.

Se deben incluir los costes de materiales, procesos, enganches, herramientas, partes compradas y ensamblaje en el vehículo.

Los costes deben excluir investigación, desarrollo y gastos de real state y el coste de herramientas que se consideran “hand or power tool” p.e. destornillador.

Las estimaciones de estos costes (tarifas de maquinaria, coste de trabajadores, gastos indirectos...) se deben incluir en el Cost Explanation File.

2.2 VARIACIONES EN FUNCIÓN DE LA COMPETICIÓN

Existen tres entidades regulatorias en Formula Student:

- Formula Student Germany
- Formula Student UK
- Formula SAE

Todas las competiciones europeas siguen la norma alemana en las cuestiones de seguridad, regulación y en las diferentes pruebas, incluyendo el Cost & Manufacturing Event.

No obstante, las instituciones de UK y Estados Unidos tienen sus propias normas con ligeras variaciones en la prueba de Cost & Manufacturing.

2.2.1 FORMULA STUDENT UK

En primer lugar, FS UK obliga a presentar un DBOM de todos sus sistemas y un CBOM de dos de ellos, teniendo su propia herramienta para la entrega de estos.

Igual que en la competición alemana, la inglesa también pone el foco en los cálculos de Costes y como se han tomado las diferentes decisiones de producción. En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de temas a incluir en el documento explicativo de los costes (CEF) que propone FS UK:

Example Topics	Description
Hourly Rates	Direct / In-direct (absorption rates)
Staffing	Skill Matrix, Capacity Planning
Time Calculations	BOM / Routing considerations
CAPEX / OPEX	Cost of investment over cost of sales
Budget Planning	What do you have and what do you need?
Cost Tools	How did you manage your budget
Procurement Planning	How are you planning on Purchasing items
Contingency Planning	What if something goes wrong
Sustainability	What is the cost to the environment
Manufacturing requirements	In-house or Sub Con
Process Planning	Manufacture planning / Gantt charts
Capturing Costs	How are you going track what you've spent
Quality considerations	What is the cost of Quality?

Tabla 6: Temas ejemplo a incluir en el CEF según la normativa de FS UK [3]

2.2.2 FORMULA STUDENT US

Las competiciones de Formula Student en Estados Unidos presentan más variaciones con sus análogos europeos. Su órgano regulador es FSAE.

Esta obliga a presentar un CBOM de todos los sistemas del coche, no obstante, este debe estar estandarizado. Es decir, la propia competición provee a los equipos con unas Tablas de Costes o catálogos que incluyen costes estándar de los materiales, procesos, enganches y herramientas.

En Estados Unidos, por lo tanto, no se incluye en la prueba el documento explicativo de costes o CEF pues los costes son los mismos para todos los equipos.

El objetivo de la prueba de Cost & Manufacturing en este caso es evaluar la capacidad del equipo para tener en cuenta el presupuesto e incorporar consideraciones de fabricación para la producción y la eficiencia. También se evalúa la toma de decisiones de compensación entre rendimiento y el cumplimiento con un presupuesto.

En la siguiente ilustración se puede ver la guía de cómo costear una parte electrónica en la competición de FS US, comprobando que, efectivamente, es mucho más rigurosa que las europeas.

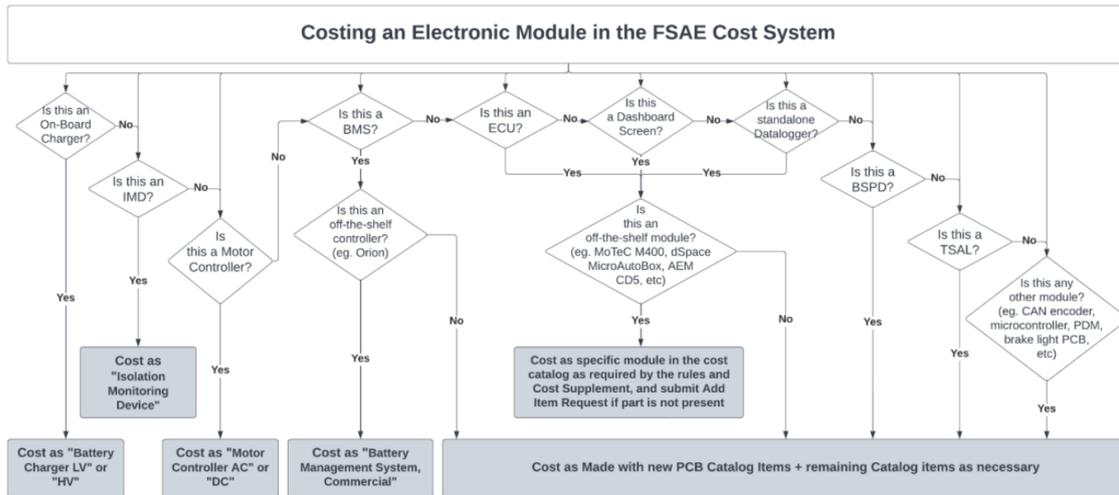


Ilustración 10: Gráfico de toma de decisión para costear un elemento electrónico según FSAE [4]

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este capítulo se revisarán los trabajos o soluciones existen en el ámbito de este proyecto.

Podemos distinguir tres ámbitos del estado de la cuestión. Por un lado, las herramientas existentes que proveen las propias instituciones de las competiciones.

En segundo lugar, analizaremos las herramientas utilizadas por el equipo para la creación del BOM durante la temporada anterior, diseñadas también por mí, y por último exploraremos las soluciones comerciales existentes en el ámbito de empresas dedicadas a la fabricación [16].

3.1 HERRAMIENTAS EXISTENTES

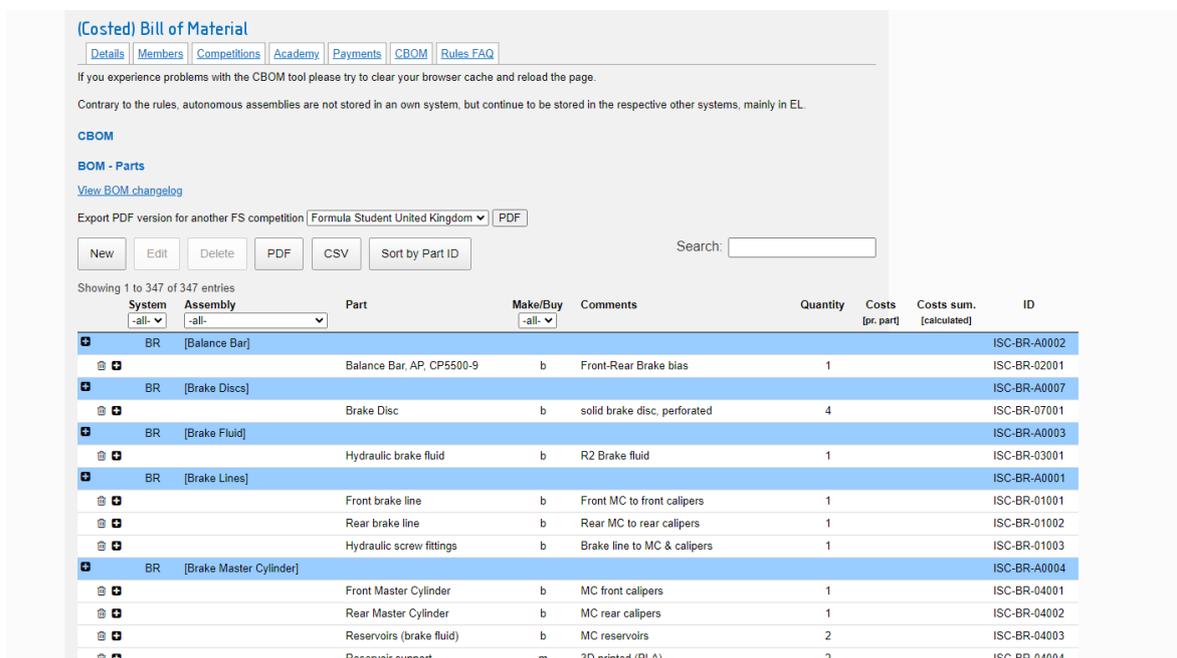
En el contexto de competiciones como FS UK, FSG y FSAE, cada una de las instituciones dispone de una herramienta online para la creación del BOM, todas ellas con funcionalidades similares pero cada una con características diferentes. Sin embargo, al revisar detalladamente estas herramientas, se observa que ninguna de ellas logra satisfacer las necesidades y características específicas requeridas por nuestro proyecto. En particular, ninguna da una solución que permita el análisis de datos sobre el CBOM realizado ni un mantenimiento continuado temporada a temporada del mismo.

No obstante, analizaremos las ventajas y desventajas de cada una para posteriormente hacer proyectar las características ideales que debe tener la nueva plataforma.

3.1.1 HERRAMIENTA A (FSG):

Comenzamos revisando la herramienta que da la organización de FSG para la realización del BOM por ser la norma por la que se rigen todas las competiciones en las que participa el ISC FS Racing Team.

Esta herramienta, que ellos llaman CBOM Tool, se compone de una interfaz sencilla que permite añadir piezas assemblies y subassemblies al Bill Of Material. No obstante, la web únicamente deja desglosar en procesos, materiales, enganches y herramientas los sistemas especificados en las reglas de ese año. Si, por ejemplo, en las reglas de FSG pidiesen un CBOM sobre el Brake System y en FSS sobre el Electrical System, habría un conflicto pues la herramienta no permite desglosar este último.



(Costed) Bill of Material

Details Members Competitions Academy Payments CBOM Rules FAQ

If you experience problems with the CBOM tool please try to clear your browser cache and reload the page.

Contrary to the rules, autonomous assemblies are not stored in an own system, but continue to be stored in the respective other systems, mainly in EL.

CBOM

BOM - Parts

[View BOM changelog](#)

Export PDF version for another FS competition Formula Student United Kingdom PDF

New Edit Delete PDF CSV Sort by Part ID Search:

Showing 1 to 347 of 347 entries

System	Assembly	Part	Make/Buy	Comments	Quantity	Costs [pr. part]	Costs sum. [calculated]	ID
BR	[Balance Bar]							ISC-BR-A0002
BR	[Balance Bar]	Balance Bar, AP, CP5500-9	b	Front-Rear Brake bias	1			ISC-BR-02001
BR	[Brake Discs]							ISC-BR-A0007
BR	[Brake Discs]	Brake Disc	b	solid brake disc, perforated	4			ISC-BR-07001
BR	[Brake Fluid]							ISC-BR-A0003
BR	[Brake Fluid]	Hydraulic brake fluid	b	R2 Brake fluid	1			ISC-BR-03001
BR	[Brake Lines]							ISC-BR-A0001
BR	[Brake Lines]	Front brake line	b	Front MC to front callipers	1			ISC-BR-01001
BR	[Brake Lines]	Rear brake line	b	Rear MC to rear callipers	1			ISC-BR-01002
BR	[Brake Lines]	Hydraulic screw fittings	b	Brake line to MC & callipers	1			ISC-BR-01003
BR	[Brake Master Cylinder]							ISC-BR-A0004
BR	[Brake Master Cylinder]	Front Master Cylinder	b	MC front callipers	1			ISC-BR-04001
BR	[Brake Master Cylinder]	Rear Master Cylinder	b	MC rear callipers	1			ISC-BR-04002
BR	[Brake Master Cylinder]	Reservoirs (brake fluid)	b	MC reservoirs	2			ISC-BR-04003
BR	[Brake Master Cylinder]	Reservoir support	m	3D printed (PLA)	2			ISC-BR-04004

Ilustración 11: FSG CBOM Tool (de www.formulastudent.de)

Ventajas:

- Interfaz sencilla
- Filtros y barra de búsqueda que facilitan la exploración del BOM
- Opción de exportar el documento generado a los formatos requeridos por cada competición
- Posibilidad de descarga del BOM en formato CSV

Desventajas:

- Imposibilidad de realizar el CBOM sobre los sistemas que no se indiquen ese año en las reglas de la competición
- Pérdida de información entre una temporada y la anterior. La temporada pasada se presentó el CBOM del sistema de Braking, cuyo desglose de piezas en materiales, procesos, enganches y herramientas se ha perdido
- Imposibilidad de realizar analítica de datos para la toma de decisiones

3.1.2 HERRAMIENTA B (FS UK):

La herramienta utilizada para la competición británica presenta más ventajas que la alemana, no obstante, seguimos encontrando algunas limitaciones.

PART	MB	P/M/F/T	COMMENTS	QTY	COST (€)	COST COMMENTS	ID
FRAME AND BODY (FR)				TOTAL	0.00		
IMPACT ATTENUATOR				TOTAL	0.00		
IA FULL ASSEMBLY							
<input type="button" value="Edit"/>		IA Full Assembly	M	Relevant Information	1		FR-0058-001
<input type="button" value="Copy"/>							
IA (FOAM)							
<input type="button" value="Edit"/>		IA (Foam)	M	Relevant Information	1		FR-0058-002
<input type="button" value="Copy"/>							
BACKING PLATE							
<input type="button" value="Edit"/>		Backing Plate	M	Relevant Information	1		FR-0058-003
<input type="button" value="Copy"/>							
ANTI INTRUSION PLATE							
<input type="button" value="Edit"/>		Anti Intrusion Plate	M	Relevant Information	1		FR-0058-004
<input type="button" value="Copy"/>							

Ilustración 12: FS UK Cost Tool (de www.imeche.org)

Las funcionalidades que permite esta herramienta son las siguientes:

Función	
Actualizar	Actualizar la página y recalculan los costes
Nueva Parte	Crea una nueva parte o assembly
P/M/F/T	Añade un material, proceso, enganche o herramienta a una parte
Exportar	Exporta el BOM en formato PDF
Filtro	Filtra partes o assemblies

Búsqueda	Busca un nombre o valor específico en la página
----------	---

Tabla 7: Funcionalidades de FS UK Cost Tool

Aunque la página ofrece algunas funcionalidades útiles, como la posibilidad de realizar un DBOM de todos los sistemas del monoplaza, faltan algunas funcionalidades clave como:

- Importación/exportación de datos en formato csv, xls o similares
- No aborda la posibilidad de incluir un catálogo propio de procesos, materiales y otros elementos relevantes para la gestión del BOM
- No ofrece funcionalidades para la toma de decisiones en base a los datos recogidos
- La interfaz de usuario es limitada y no permite una visualización completa y detallada de los datos

3.1.3 HERRAMIENTA C (FSAE)

Esta plataforma es la más completa de las tres y, a su vez, la más limitante. Para cada parte, incluye un espacio diferente para añadir materiales, procesos, enganches y herramientas.

Materials

	Material	Use	Op Num	Size 1	Size 2	Area Name	Area	Length	Density	Quantity	Unit Cost	Subtotal	
↓1	Tubing, Steel	Round 0.75" x 0.035" x 46"	10	0.471 kg						1	1.0598	1.06	
↓2	Tubing, Steel	Round 1" x 0.035" x 63"	20	0.8824 kg						1	1.9854	1.99	
↓3	Tubing, Steel	Round 1" x 0.049" x 232"	30	4.3595 kg						1	9.8089	9.81	
↓4	Tubing, Steel	Round 1" x 0.065" x 78"	40	1.9417 kg						1	4.3688	4.37	
↓5	Tubing, Steel	Round 1" x 0.095" x 116"	50	4.0659 kg						1	9.1483	9.15	

Processes

	Process	Use	Op Num	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Unit Cost	Subtotal	
↓1	Tube bends	DOM Bend Frame Tubes	10	16		1	0.75	12.00	
↓2	Tube cut	0.75" Tubing	20	1.905	Repeat 6	6	0.15	1.71	
↓3	Tube cut	1" Tubing	30	2.54	Repeat 28	28	0.15	10.67	
↓4	Tube end preparation for welding	Prepare Frame Tubes for Welding	40	68		1	0.75	51.00	
↓5	Weld	TIG Weld 0.75" Tubing for Frame	50	45.72		1	0.15	6.86	
↓6	Weld	TIG Weld 1" Tubing for Frame	60	726		1	0.15	108.90	

Tooling

	Tooling	Use	Op Num	Quantity	PVF	Fraction Incl.	Unit Cost	Subtotal	
↓1	Welds - Welding Fixture	Tube Frame weld fixture, no tabs		36	3000	1	500	6.00	

Ilustración 13: FSAE Cost Tool (de www.fsaonline.com)

Además, permite asociar a cada pieza con documentos como esquemas, planos, fotos, modelos CAD... para la posterior creación del material de soporte.



Ilustración 14: Interfaz de asociación de documentos de la herramienta de FSAE (de www.fsaonline.com)

Sin embargo, como se ha explicado antes, el BOM en las pruebas reguladas por FSAE debe estar estandarizado. Es decir, la propia competición provee a los equipos con unas Tablas de Costes o catálogos que incluyen costes estándar de los materiales, procesos, enganches y

herramientas. Por lo que la herramienta no es válida para desarrollar el BOM para el ISC FS Racing Team, que compite según la norma alemana y que, por tanto, debe calcular sus propios costes de procesos, materiales... y presentar la correspondiente justificación de los mismos.

Formula SAE 

Home News Competition Resources Deadlines Series Resources History Videos Podcast Results Student Membership Create an Account Login

Browse Materials

Show 50 entries Search:

Material	Supplier	Category	Unit 1	Unit 2	Cost	Description	Actions
 90-Degree Coupler, Tilton 72-560	Tilton	Brake System			\$45.00		View
 90-Degree Coupler, Tilton 72-561	Tilton	Brake System			\$47.50		View
 90-Degree Coupler, Tilton 72-562	Tilton	Brake System			\$50.00		View
 ABS Kit and ESP Module, Bosch, ESP-9	Bosch	Brake System			\$500.00	ESP-9 module only. Does not include wiring or external sensors.	View

Ilustración 15: Catálogo de materiales de FSAE (de www.fsaeonline.com)

3.2 HISTÓRICO ISC FS RACING TEAM

Desde sus inicios en 2017 y hasta 2020, el ISC FS Racing Team ha utilizado la herramienta de FSAE para la creación del BOM.

A partir de 2020, la competición alemana cambió el formato de la prueba del Cost & Manufacturing al actual, descrito en el capítulo anterior de este documento, por lo que el ISC FS Racing Team pasó a utilizar la herramienta de FSG para la creación del BOM.

La temporada pasada, se crearon catálogos de materiales, procesos, enganches y herramientas emulando los de FSAE, creando una especie de “base de datos” interna documentando los cálculos de cada uno de los costes especificados en cada tabla.

La creación de estos catálogos como base de datos estructurada en excel, supone un paso 0 para la solución implementada.

Se intentó implementar una solución basada en Excel para el desarrollo del DBOM de todos los sistemas del coche, pero por dificultades de actualización, seguimiento y organización, se desechó la solución.

University	Universidad Pontificia Comillas, ICAI	Dimensions (mm)	Drawings & Technical Sheets	Description	Part Cost	46,37 €
System	ST - Steering System	Height	Link 1	(Full part)	Quantity	1
Assembly	Other	Width	Link 2	(bill)	Extended Cost	46,37 €
Subassembly	Steering Column	Depth	Link 3	(detail)		
part	ISC-ST-02001	Vol				
ID	(code given in department)	Price				
Internal code	Make	(if bought)				
M/B						

ID	Material	Description	Use	Unit Cost	Unit	Quantity	Subtotal
10	Aluminum	Cylinder 290,5 mm x diameter 20 mm		2,378 €	kg	0,2464	0,586 €
20				- €			- €
30				- €			- €
40				- €			- €
50				- €			- €
60				- €			- €
70				- €			- €
80				- €			- €
90				- €			- €
						Sub Total	0,59 €

ID	Process	Use	Unit Cost	Unit	Quantity	Subtotal
11	Machining 3-AXIS		45,78 €	hour	5	22,89 €
12	Mill - Form Cutter		45,78 €	hour	0,5	22,89 €
13			- €			- €

Ilustración 16: Hoja de Excel con el desarrollo DBOM de una pieza en el IFS-05

	ISC-ST-A0001-Steering Rack		20/05/2023 19:34	Archivo XLSM	289 KB
	ISC-ST-A0002-Steering Shaft		20/05/2023 21:02	Archivo XLSM	298 KB
	ISC-ST-A0006-Steering Column		20/05/2023 20:33	Archivo XLSM	282 KB
	ISC-ST-A0007-Fasteners		26/01/2024 11:27	Archivo XLSM	137 KB
	System template		14/03/2023 22:24	Archivo XLSM	41 KB

Ilustración 17: Organización del DBOM basada en archivos Excel

3.3 SOLUCIONES COMERCIALES

En el mercado, existen diversas soluciones SaaS (Software as a Service) para la gestión de Bill of Materials (BOM), pero estas a menudo se encuentran fuera del alcance presupuestario de equipos de Formula Student debido a su alto coste. Además, aunque estas plataformas ofrecen funcionalidades avanzadas, frecuentemente no satisfacen los requisitos específicos de proyectos tan especializados y con unos requisitos tan definidos como los requeridos por la normativa de la competición, fallando en proporcionar la flexibilidad necesaria para el desglose detallado en materiales, procesos, y otros aspectos cruciales para la fabricación y análisis de costos de vehículos de competición.

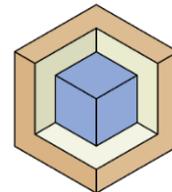
3.3.1 INVENTTREE

InvenTree, aunque es una solución robusta de código abierto para la gestión de inventarios, puede presentar limitaciones para aplicaciones específicas como la gestión del BOM en proyectos de Formula Student. Sus capacidades generales de seguimiento de inventario pueden no adaptarse completamente a las necesidades detalladas de análisis de materiales, procesos, herramientas y enganches. Además, sería necesario modificar la estructura de la plataforma significativamente para alinear sus funciones con los requisitos precisos de gestión de nuestro CBOM.

InvenTree se basa en una base de datos Python/Django con interfaz web y API REST para la interacción con aplicaciones externas, una arquitectura similar a la que utilizaré en mi plataforma diseñada.

inventree/InvenTree

Open Source Inventory Management System



81

Contributors

202

Issues

432

Discussions

4k

Stars

633

Forks



Ilustración 18: InvenTree

Basándome en el análisis anterior, se justifica la necesidad de desarrollar una nueva plataforma que permita una gestión más eficiente y flexible del BOM, incluyendo capacidades para el análisis de datos, el desglose de piezas, la preservación de la información

entre temporadas, y la adaptabilidad a las diferentes regulaciones de las competiciones de Formula Student.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

La justificación para el desarrollo de este proyecto nace de la necesidad de superar las limitaciones de las soluciones de gestión del BOM existentes en el contexto de Formula Student. Mientras que las plataformas comerciales SaaS existentes pueden ser prohibitivamente caras y no cumplen específicamente con los requisitos de proyectos de ingeniería tan especializados, las soluciones de código abierto carecen de la funcionalidad detallada requerida para un análisis profundo de materiales, procesos, y costes. Este proyecto propone una solución adaptada que no solo aborde estas deficiencias, sino que también ofrezca una plataforma escalable y flexible, capaz de apoyar la innovación y la eficiencia en la construcción y gestión de vehículos de competición. La meta es proporcionar a los equipos de Formula Student una herramienta que permita una gestión precisa y estratégica del BOM, facilitando así decisiones informadas que puedan llevar a un rendimiento superior en competiciones y a una optimización del proceso de diseño y fabricación de los vehículos.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es el diseño, desarrollo y despliegue de un sistema escalable de gestión del Bill of Materials para un equipo de Formula Student que de soporte a las actividades desarrolladas en el ISC FS Racing Team.

Dentro de este objetivo, se pueden distinguir los siguientes:

1. Análisis de las limitaciones de las soluciones existentes y de los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir el nuevo sistema.
2. Desarrollo una arquitectura escalable y modular, que permita futuras expansiones o modificaciones del sistema conforme cambien las necesidades del equipo.

3. Diseño de una interfaz de usuario intuitiva y accesible, que facilite la interacción de los usuarios con el sistema y minimice errores en la entrada de datos.
4. Diseño de una interfaz de análisis de costes para mejorar la toma de decisiones en el diseño y fabricación de vehículos de competición.
5. Mejorar la puntuación del equipo en la prueba de Cost & Manufacturing gracias a la implementación de la herramienta.

4.3 PLANIFICACIÓN DE TRABAJO

El trabajo a realizar se ha estructurado de la siguiente forma:

Febrero 2024: Definición del proyecto y requisitos. Durante este mes, se establecerán los objetivos, se definirán los requisitos y se delinearán las especificaciones del sistema.

Marzo 2024: Diseño preliminar de la plataforma. En marzo, el foco estará en el diseño arquitectónico de la plataforma, incluyendo la interfaz de usuario y la planificación de la base de datos.

Abril 2024: Desarrollo del sistema de gestión del BOM. Este mes se dedicará al desarrollo del software, con especial atención en la implementación de las funciones de la inserción de datos y la interfaz de costes.

Mayo 2024: Pruebas iniciales. Se realizará la implementación completa del sistema, seguido de pruebas iniciales para identificar y solucionar problemas técnicos. Evaluación del sistema y ajustes finales.

Julio 2024: Puesta en producción. Hasta este momento se trabajará en local, para refinar posibles fallos de la plataforma. Se subirá a un servidor Apache para la disponibilidad completa del equipo.

Agosto 2024: Presentación de la herramienta diseñada en la prueba de Cost & Manufacturing en FS Spain y FS Germany.

Septiembre 2024: Presentación de la herramienta diseñada en la prueba de Cost & Manufacturing en FS Italy.

Todo el proyecto se realizará utilizando VSCode en local,

Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

En este capítulo se aborda la descripción detallada del sistema desarrollado para la gestión del Bill of Materials (BOM) específicamente diseñado para el ISC Formula Student Racing Team.

5.1 DEFINICIÓN DE REQUISITOS

De las limitaciones que presentan las soluciones existentes para la gestión del BOM nace este análisis de requisitos.

A continuación, se detalla la definición formal de requisito funcionales de la plataforma.

Gestión de Usuarios:

1. Perfiles de usuario diferenciados con acceso según el rol (team member, cost member, admin).
2. Autenticación y autorización segura con nombre de usuario y contraseña

Actividades sobre el BOM:

3. Creación, modificación, y eliminación de entradas del BOM desde una interfaz centralizada para todos los miembros del equipo.
4. Soporte para múltiples vistas del BOM, como vistas desglosadas por partes en materiales, procesos, herramientas y enganches.

Actividades sobre el catálogo:

5. Creación de un catálogo en línea de materiales, procesos, herramientas y enganches.
6. Creación, modificación, y eliminación de entradas del catálogo

Análisis de costes:

7. Interfaz gráfica para el análisis detallado de costes
8. Se debe poder realizar análisis para comparar el uso de varios procesos o materiales

Exportación de Datos:

9. Capacidad para exportar datos en diversos formatos para análisis externos.

Visualización y control:

10. Visualización y seguimiento de cambios.

5.2 DISEÑO GENERAL DE LA ARQUITECTURA

Para el diseño de la plataforma de gestión del Bill of Materials (BOM) específica para el ISC FS Racing Team, se ha optado por una arquitectura basada en Django+ Apache con una base de datos SQLite.

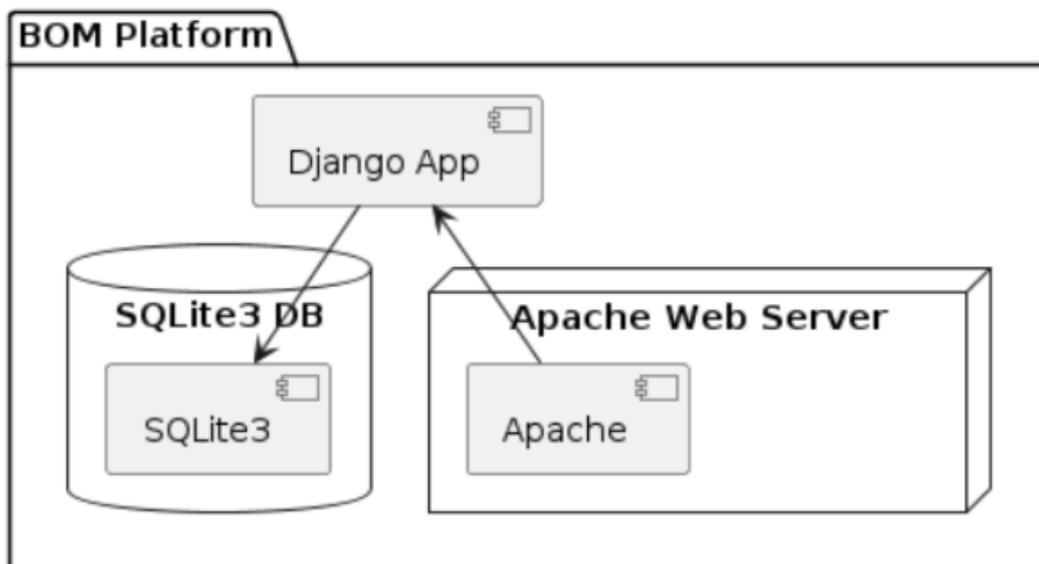


Ilustración 19: Arquitectura de alto nivel

Django ha sido elegido debido a su alto nivel de abstracción para operaciones de base de datos y su extensa biblioteca de módulos que facilitan el desarrollo rápido de aplicaciones web seguras. Además, Django simplifica la gestión de usuarios, roles, y permisos, crucial

para la administración eficaz de un sistema que debe ser utilizado por todos los miembros del equipo con diferentes niveles de permisos.

Se ha decidido utilizar Apache por su integración con Django a través de `mod_wsgi`, y su capacidad para manejar múltiples solicitudes simultáneamente, lo que es vital para el rendimiento en entornos de producción de una aplicación que puede ser utilizada simultáneamente por varios usuarios que estén trabajando en diferentes áreas del BOM.

Aunque SQLite no es ideal para aplicaciones de alto volumen de transacciones, es suficiente para el alcance de nuestra plataforma, donde la carga de transacciones es moderada y las demandas de escalabilidad son manejables.

SQLite ofrece una solución ligera para la gestión de bases de datos sin necesitar un servidor de base de datos dedicado, lo que reduce la complejidad y los costes de mantenimiento.

Base de Datos	Tipo	Volumen de Transacciones	Escalabilidad	Uso Recomendado
SQLite	Embebida	Bajo a moderado	Escala bien para aplicaciones pequeñas y medianas, no distribuida	Aplicaciones de escritorio, aplicaciones móviles, testing
MySQL	Relacional	Alto	Alta, escalable horizontal y verticalmente	Aplicaciones web, sistemas de gestión de bases de datos
PostgreSQL	Relacional	Muy alto	Muy alta, diseñada para alta concurrencia y extensibilidad	Aplicaciones empresariales, bases de datos espaciales
MongoDB	No relacional	Moderado a alto	Muy alta, escalable horizontalmente a través de sharding	Big Data, aplicaciones web que requieren flexibilidad
Microsoft SQL Server	Relacional	Alto	Alta, soporta clustering y replicación	Aplicaciones empresariales críticas

Tabla 8: Comparativa Bases de Datos

5.2.1 DJANGO

Django tiene un enfoque Modelo-Vista-Template (MVT), que es una adaptación del MVC (Modelo-Vista-Controller) que está diseñado específicamente para el desarrollo web.

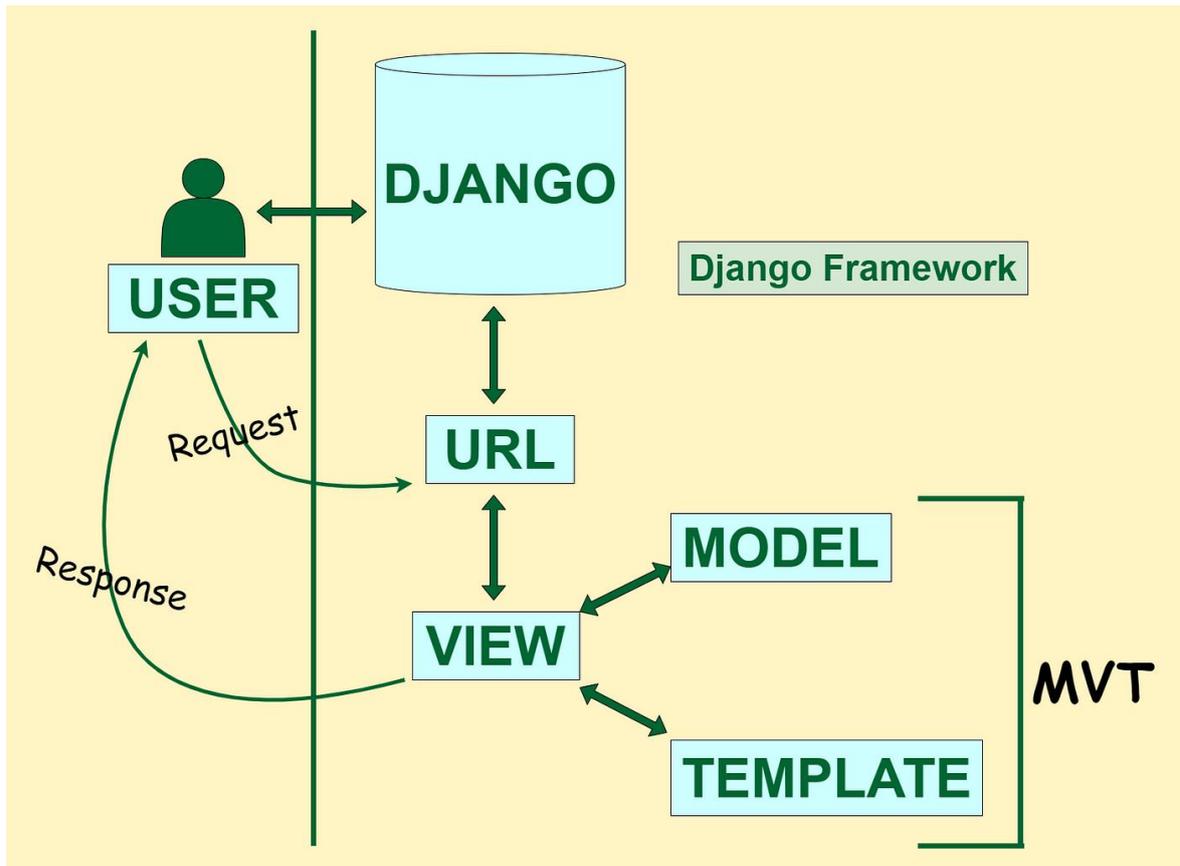


Ilustración 20: MVT Design Pattern [9]

Modelo

Representa la estructura de datos y la lógica de negocio. Los modelos en Django son definidos como clases en Python que definen los campos y el comportamiento de los datos que se guardarán en la base de datos. El ORM (Object-Relational Mapper) de Django permite interactuar con la base de datos de manera intuitiva, como si fueran objetos Python

Vista

En las vistas se define la lógica de procesamiento de datos que se ejecuta cuando se hace una solicitud HTTP a la aplicación. Las vistas preparan los datos recuperados del modelo y deciden qué enviar a la plantilla (template) para su presentación.

Template

Los templates son archivos HTML que permiten la incorporación de código Python para realizar tareas como iteraciones o condicionales. La función del template es presentar los datos en un formato que los usuarios finales pueden entender, esencialmente manejando la capa de presentación

5.3 ARQUITECTURAS DESCARTADAS

Considerando requisitos especificados para la plataforma del BOM, se ha optado por un enfoque que prioriza la escalabilidad, la modularidad y la facilidad de uso.

Se han estudiado los diferentes patrones arquitectónicos (ver tabla), estableciendo que Django con su enfoque Modelo-Vista-Template explicado anteriormente, es la mejor opción.

Los motivos principales por los que se ha elegido esta arquitectura son lo siguientes:

- **Modularidad y Escalabilidad:** Django es altamente modular, lo que permite desarrollar componentes como la gestión de usuarios, BOM y análisis de costes de forma independiente y escalable.
- **Seguridad Robusta:** Django incluye un sistema de autenticación seguro y personalizable. Además, integra medidas de seguridad que evitan violaciones de seguridad como SQL injection.
- **Administración Eficaz de la Base de Datos:** Django utiliza un ORM que facilita la gestión de la base de datos, ideal para las actividades de creación, modificación y eliminación de los componentes del BOM.

- Interfaz de Usuario Intuitiva: El sistema de templates de Django permite desarrollar interfaces de usuario limpias y accesibles.

Name	Advantages	Disadvantages
Layered	A lower layer can be used by different higher layers. Layers make standardization easier as we can clearly define levels. Changes can be made within the layer without affecting other layers.	Not universally applicable. Certain layers may have to be skipped in certain situations.
Client-server	Good to model a set of services where clients can request them.	Requests are typically handled in separate threads on the server. Inter-process communication causes overhead as different clients have different representations.
Master-slave	Accuracy - The execution of a service is delegated to different slaves, with different implementations.	The slaves are isolated: there is no shared state. The latency in the master-slave communication can be an issue, for instance in real-time systems. This pattern can only be applied to a problem that can be decomposed.
Pipe-filter	Exhibits concurrent processing. When input and output consist of streams, and filters start computing when they receive data. Easy to add filters. The system can be extended easily. Filters are reusable. Can build different pipelines by recombining a given set of filters	Efficiency is limited by the slowest filter process. Data-transformation overhead when moving from one filter to another.
Broker	Allows dynamic change, addition, deletion and relocation of objects, and it makes distribution transparent to the developer.	Requires standardization of service descriptions.
Peer-to-peer	Supports decentralized computing. Highly robust in the failure of any given node. Highly scalable in terms of resources and computing power.	There is no guarantee about quality of service, as nodes cooperate voluntarily. Security is difficult to be guaranteed. Performance depends on the number of nodes.
Event-bus	New publishers, subscribers and connections can be added easily. Effective for highly distributed applications.	Scalability may be a problem, as all messages travel through the same event bus
Model-view-controller	Makes it easy to have multiple views of the same model, which can be connected and disconnected at run-time.	Increases complexity. May lead to many unnecessary updates for user actions.
Blackboard	Easy to add new applications. Extending the structure of the data space is easy.	Modifying the structure of the data space is hard, as all applications are affected. May need synchronization and access control.
Interpreter	Highly dynamic behavior is possible. Good for end user programmability. Enhances flexibility, because replacing an interpreted program is easy.	Because an interpreted language is generally slower than a compiled one, performance may be an issue.

Tabla 9: Comparación de patrones arquitectónicos [8]

Capítulo 6. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se describirán cada uno de los módulos o subsistemas que componen la solución software del BOM.

6.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

El diseño de las tablas de la base de datos viene marcado por los requisitos funcionales de la aplicación, de tal manera que se he intentado replicar la estructura de los datos que siguen las reglas de Formula Student Germany. Además, para el diseño de la base de datos se han seguido los fundamentos básicos de diseño [19].

A continuación, se detallan las diferentes clases y su uso:

Team:

Guarda información básica sobre los equipos, incluyendo una abreviatura y el nombre completo del equipo. Solo los miembros del equipo pueden acceder a sus datos respectivos, lo que se maneja en las vistas.

File:

Asocia archivos cargados con un modelo equipo específico. Se utiliza principalmente para almacenar y referenciar archivos subidos como parte de las operaciones del BOM. No se implementa en esta versión de la plataforma, pero en el diseño de la base de datos se ha incluido para su desarrollo futuro.

RawBase (abstracta)

Modelo base para procesos, materiales, herramientas y elementos de fijación (fasteners). Incluye campos comunes como nombre, descripción, unidad y coste. Cada instancia puede tener un historial de cambios gracias a HistoricalRecords.

Process, Material, Tooling, Fastener, Bought

Heredan de RawBase y representan respectivamente los procesos, materiales, herramientas, elementos de fijación y compras. Cada uno puede tener costes adicionales específicos como costes de mano de obra, de máquinas, energéticos y otros.

BaseModel (abstracta)

Otro modelo base para sistemas, ensamblajes, subassemblies y partes. Define características comunes como nombre, descripción, coste y asociación con un equipo

System

Define un sistema que puede incluir múltiples assemblies. Cada sistema tiene un color asociado y un método para calcular el coste total a partir de sus assemblies.

Assembly

Representa un assembly que forma parte de un sistema. Incluye funcionalidades para gestionar subassemblies, asociar archivos, y calcular costes totales y detallados de los componentes y procesos.

Part

Define una parte que puede ser fabricada o comprada, asociada a un assembly. Incluye métodos para generar identificaciones, calcular costes basados en procesos, materiales, herramientas y otros factores.

PartComponent

Asocia componentes a partes, permitiendo describir la cantidad, el tipo y el coste. Dependiendo del tipo de componente (Process, Material, Tooling, Fastener, Bought), se asocian diferentes modelos y se calculan los costes unitarios.

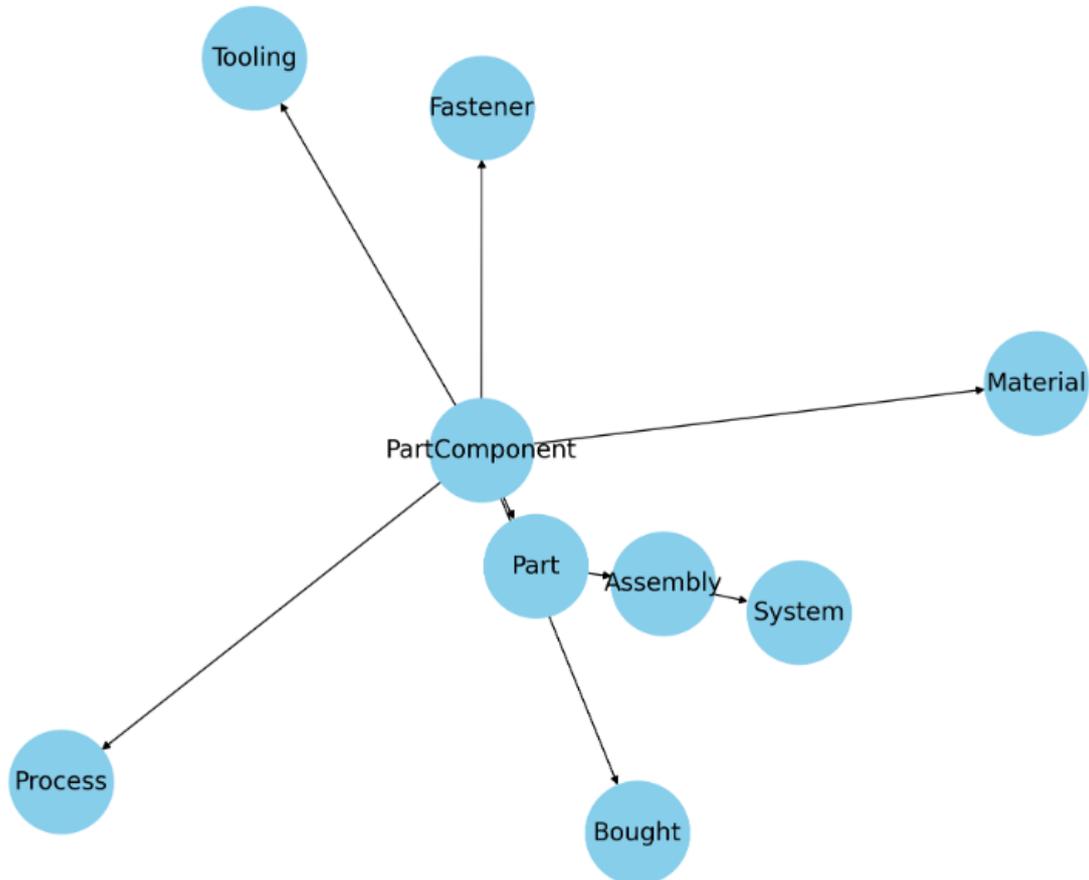


Ilustración 21: Diagrama de relaciones de la base de datos

6.2 SISTEMA DE GESTIÓN CENTRAL

El sistema de gestión central se encarga de varias tareas que se pueden subdividir en tres áreas: gestión del BOM, gestión del catálogo y análisis para la toma de decisiones.

Todos ellos siguen el modelo CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar), que es un acrónimo para las operaciones básicas requeridas en aplicaciones de bases de datos persistentes. Esto es fundamental para asegurar que los usuarios puedan gestionar completamente los registros en la base de datos, desde la creación de nuevos elementos hasta la actualización y eliminación de los mismos.



Ilustración 22: Operaciones CRUD [10]

Todas estas operaciones se pueden realizar a través de la interfaz de la plataforma a través de peticiones HTTP a la base de datos de la misma.

6.2.1 GESTIÓN DE BOM

La creación, modificación de partes y sus componentes puede realizarse por todos los usuarios de la plataforma pertenecientes al equipo a cuyo BOM pertenezca la pieza.

La gestión de partes permite realizar todo tipo de operaciones CRUD sobre este modelo de la base de datos:

- Visualizar todas las partes del BOM
- Añadir una nueva parte a un assembly
- Modificar los campos específicos de una parte.
- Eliminar una parte

En el siguiente diagrama podemos observar el diagrama de flujo de los agentes involucrados en la creación de una parte. El usuario solicita la creación de una Parte. PartsForm (el Formulario que se ha declarado para la creación de una parte) recibe la solicitud y pasa los datos del formulario al servidor para su validación. El servidor consulta con la base de datos si el formulario es válido (no contiene valores nulos, ids duplicados, los campos de número

reciben un input numérico...). Si el servidor recibe un OK de la base de datos, procesa la solicitud y guarda la información de la parte en la base de datos. El servidor notifica a PartsForm que la solicitud ha sido procesada correctamente y renderiza el archivo “part_row.html” con la información de la parte recién creada.

Si el formulario no es válido, el servidor renderiza la página add_part.html con los datos inválidos introducidos por el usuario para informarle de la necesidad de corregir los datos del formulario antes de volver a solicitar la creación de la parte.

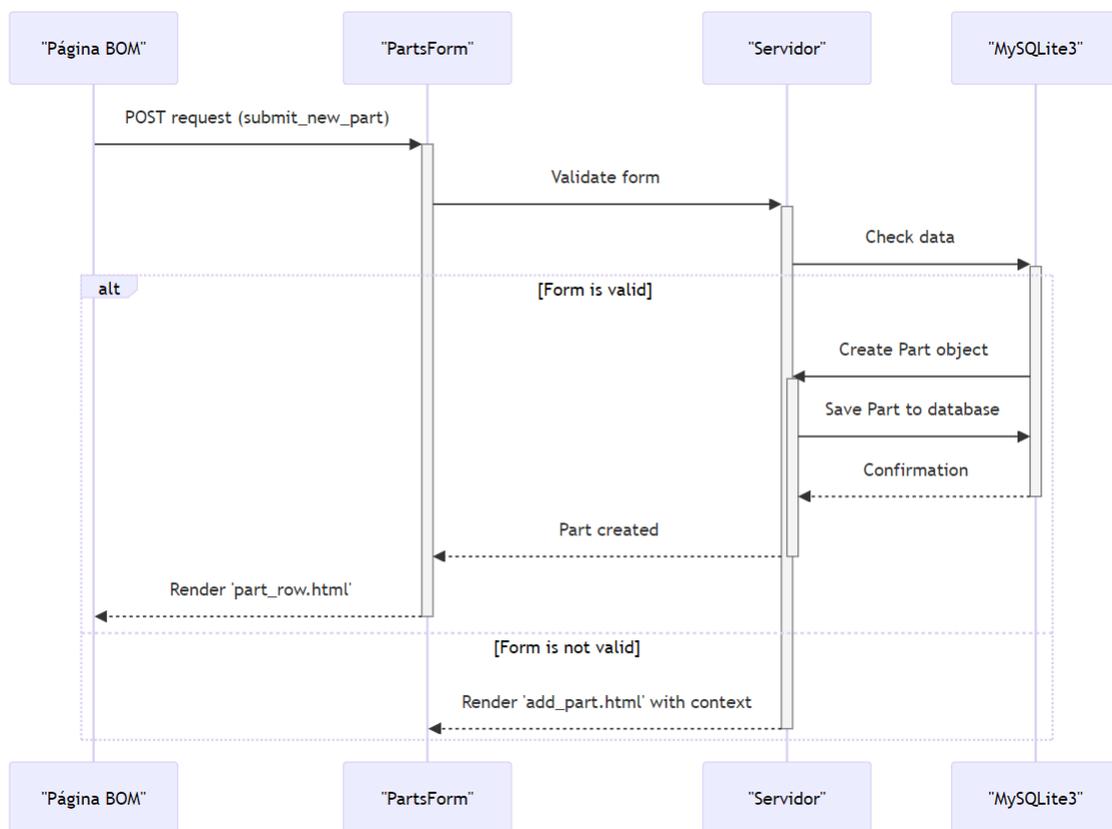


Ilustración 23: Diagrama de interacción para la creación de una parte

Además de las operaciones CRUD, se han añadido otras funcionalidades que facilitan y agilizan la gestión del BOM y mantenimiento del mismo como:

- Calcular los costes totales de la parte en base a sus componentes. Para la automatización de los costes de las partes cada vez que se realizan operaciones CRUD sobre sus componentes, se han utilizado señales. En Django, las señales permiten lanzar funciones en base a eventos que ocurren sobre la base de datos [11]. Así, se ha configurado una señal “post_save” para que cada vez que se actualice uno de los componentes de una parte, el coste total de la parte se recalcule automáticamente.

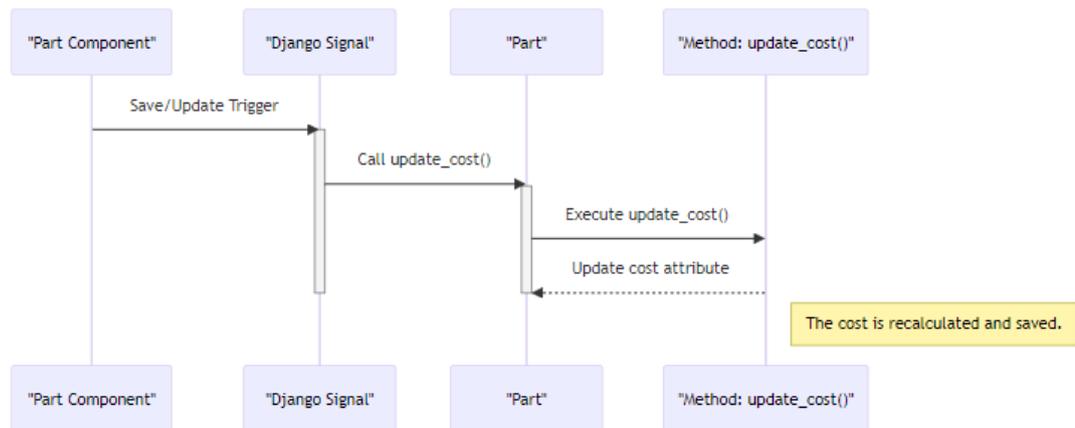


Ilustración 24 Diagrama de secuencia de la actualización de costes basado en señales:

- Duplicar partes a un assembly determinado con todos sus componentes asociados. Esta funcionalidad surge para agilizar la creación del BOM en el contexto de la fabricación de vehículos, pues existen partes muy similares o que se repiten con los mismos componentes en diferentes cantidades.

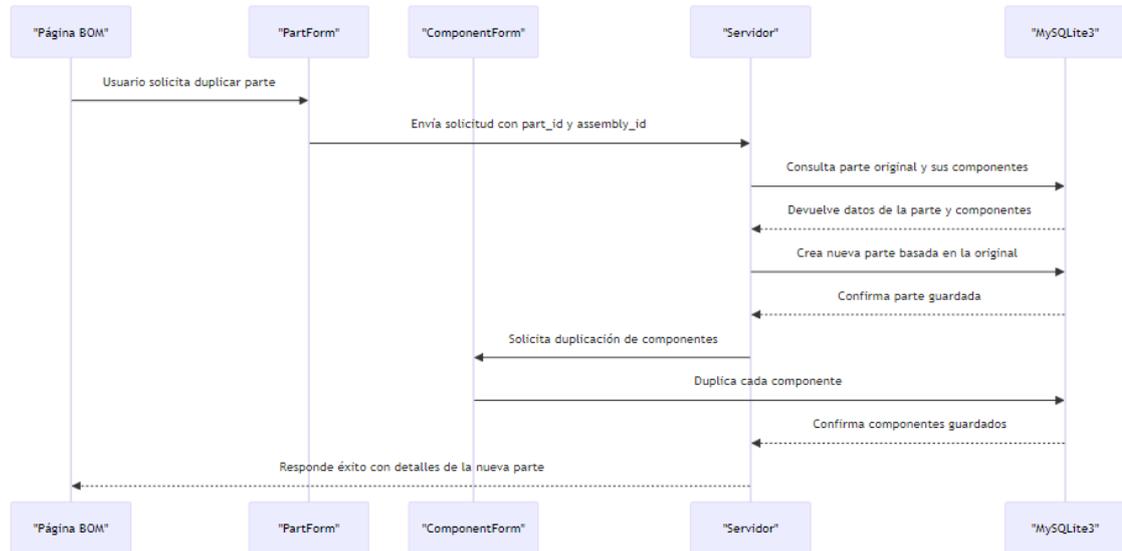


Ilustración 25: Diagrama de la lógica de duplicar una parte con sus componentes

Asimismo, en la misma división de gestión de componentes, se pueden realizar las siguientes operaciones CRUD sobre los componentes desde la interfaz gráfica (ver imagen siguiente):

- Añadir un componente a una parte (2)
- Editar un componente (3)
- Eliminar un componente (4)
- Visualizar todos los componentes asociados a una parte (1).

System	Assembly	Part	Make/Buy	Comments	Quantity	Cost (pr.part)	Cost sum	ID
01	Test Assembly			Description of test assembly			216.46	ISC-01-A0001
		Mould	M	mould for arto check	3	66.55	199.65	ISC-01-01001
Type	Name	Comments	Quantity	Costs p.u	Unit	Comments(Cost)	Cost (total)	
p	3D Printing	None	42.00	1.43	hour	change comment	60.06	
m	3D Print PLA	None	4.00	0.02	g	23	0.08	
p	3D Printing	None	4.00	1.43	hour	5	5.72	
m	3D Print PLA	None	2.00	0.02	g	g	0.04	
m	FR4 GFRP Laminate 1 mm	None	5.00	0.13	cm2		0.65	

Ilustración 26: Acciones para la gestión de componentes

6.2.2 GESTIÓN DEL CATÁLOGO

El catálogo ofrece un conjunto casi completo de operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar) para materiales, procesos, fasteners y herramientas.

Como se verá más tarde, estas operaciones solo las pueden realizar los usuarios con rol de Cost Member, que son los encargados de mantener y actualizar los costes del catálogo temporada a temporada según suban o bajen los precios del mercado para obtener un BOM lo más realista posible.

Material CRUD	Process CRUD	Fastener CRUD	Tooling CRUD
Agregar	Agregar	Agregar	Agregar
Editar	Editar	Editar	Editar
Listar	Listar	Listar	Listar

Tabla 10: Operaciones sobre la base de datos del catálogo

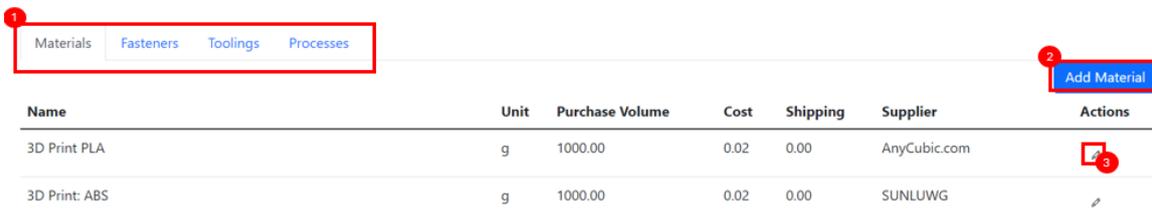
Se puede observar en la tabla anterior que entre las operaciones posibles no se encuentra la de eliminar. Esta acción está reservada únicamente para los administradores de la plataforma.

Esto se debe a que la base de datos se ha estructurado en cascada, esto es, al eliminar un material de la base de datos del catálogo, se eliminarían automáticamente todos los Componentes que contengan ese material. Para evitar posibles errores humanos, se ha decidido limitar esta funcionalidad al perfil de administrador, solamente pudiendo realizar la acción de eliminar desde la interfaz de admin.

En la siguiente imagen se muestra la interfaz gráfica sobre la que se realizan las operaciones de gestión del catálogo:

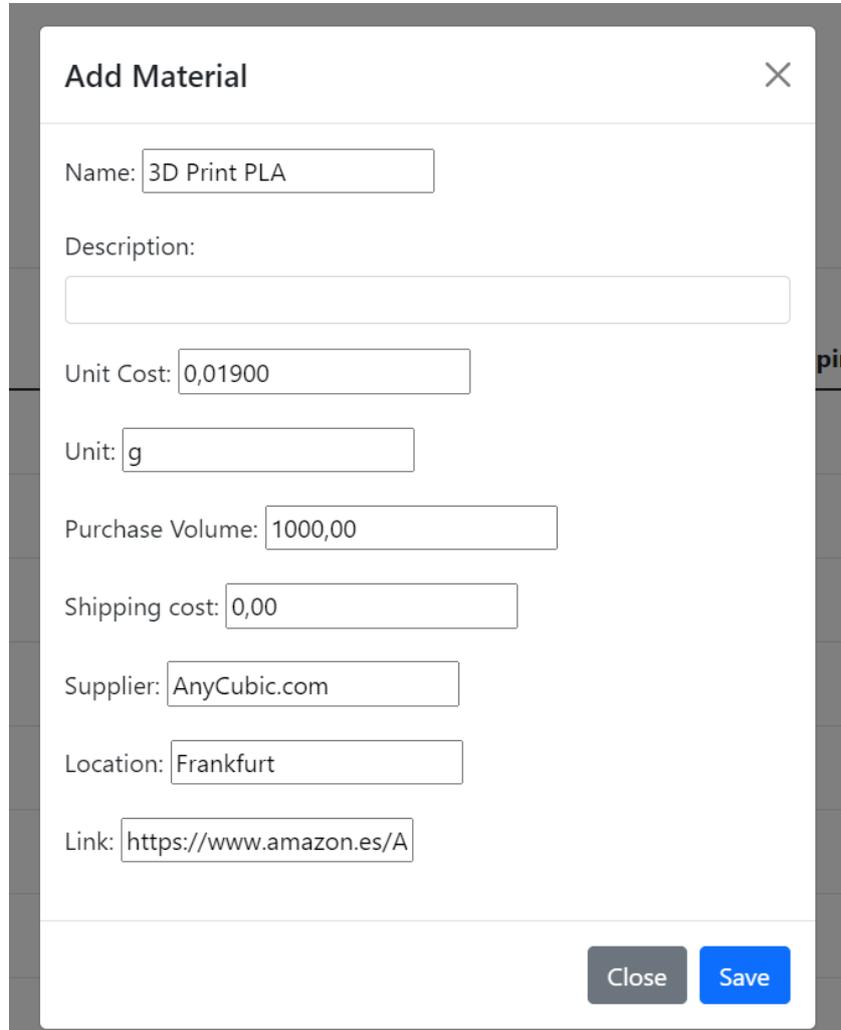
- (1) Listar todos los elementos del catálogo (separados en materiales, procesos, enganches y herramientas)
- (2) Añadir elemento al catálogo para su uso en el BOM
- (3) Editar elemento. Ver ilustración 32. Para la edición e inserción de nuevos elementos se trabaja con un formulario modal.

Catalog



Name	Unit	Purchase Volume	Cost	Shipping	Supplier	Actions
3D Print PLA	g	1000.00	0.02	0.00	AnyCubic.com	
3D Print: ABS	g	1000.00	0.02	0.00	SUNLUWG	

Ilustración 27: Acciones para la gestión del catálogo



The image shows a web form titled "Add Material" with a close button (X) in the top right corner. The form contains several input fields with the following values: Name: 3D Print PLA; Description: (empty); Unit Cost: 0,01900; Unit: g; Purchase Volume: 1000,00; Shipping cost: 0,00; Supplier: AnyCubic.com; Location: Frankfurt; Link: https://www.amazon.es/A. At the bottom right, there are two buttons: "Close" (grey) and "Save" (blue).

Ilustración 28: Formulario para la edición de un material

6.3 ANÁLISIS PARA LA TOMA DE DECISIONES

La introducción de una interfaz visual de análisis de datos es una innovación significativa en comparación con las herramientas oficiales desarrolladas por las competiciones. Esta solución se compone de tres módulos de análisis que permiten evaluar los costes asociados a la fabricación del vehículo: Assemblies, Materials y Processes. El objetivo principal de

estos dashboards es identificar visualmente las áreas de mayor coste en la producción para tomar acciones correctivas oportunas.

Dashboard



Ilustración 29: Cabecera página de análisis

6.3.1 ASSEMBLIES

La página de análisis basada en assemblies explora las partes de los assemblies seleccionados y sus componentes.

Permite seleccionar uno o varios assemblies a analizar, con el objetivo de evaluar individualmente un assembly específico (por ejemplo, la Antirollbar) o un conjunto (por ejemplo, todo el sistema de suspensión), identificando así las áreas con mayores costes dentro de estos.

Select Assemblies:

- 01 - Test Assembly
- BR - Brake Lines
- BR - Balance Bar
- BR - Brake Fluid
- BR - Brake Master Cylinder
- BR - Brake Pads
- BR - Calipers
- BR - Brake Discs
- BR - Braking Pedal Assembly
- EL - Accumulator
- EL - Accumulator Container
- EL - LV-Battery
- EL - BSPD
- EL - Brake Light
- EL - Dash Panel
- EL - Fuses
- EL - Control Unit
- EL - TSAL/ASSI
- EL - Sensors

Ilustración 30: Selector análisis de Costes- Assemblies

Una vez seleccionados los assemblies a analizar, se genera un dashboard que proporciona la siguiente información y métricas:

- **Número de partes compradas y fabricadas.** Esta métrica permite entender la dependencia del equipo en la cadena de suministro externa vs la capacidad de producción interna. Si se estudiase la fabricación del coche en masa, en vez de a modo de prototipo, sería importante conocer la capacidad autosuficiente del equipo en la fabricación, y los sistemas más vulnerables a interrupciones en cadenas de suministros o escasez de piezas del fabricante externo.
- **Coste total del assembly/assemblies.** Esta información ayuda a identificar los assemblies más costosos, facilitando la identificación de aquellos con mayores costes para buscar oportunidades de mejora en procesos, materiales o diseño.
- **Desglose del Coste por Procesos:** Esta métrica especifica qué parte del coste total se atribuye a costes de mano de obra, maquinaria, energía y otros. Evaluar estos datos puede revelar oportunidades para la automatización o mejoras en la eficiencia laboral

si los costes de mano de obra son altos, o identificar máquinas con altos costes operativos para planificar mantenimiento o actualizaciones.

- **Desglose del Coste Total:** Permite identificar qué parte del coste total corresponde a materiales, procesos, partes compradas, enganches y herramientas. Este desglose facilita la comparación del coste de materiales frente a procesos, destacando áreas donde se puede buscar materiales alternativos más económicos o proveedores diferentes.

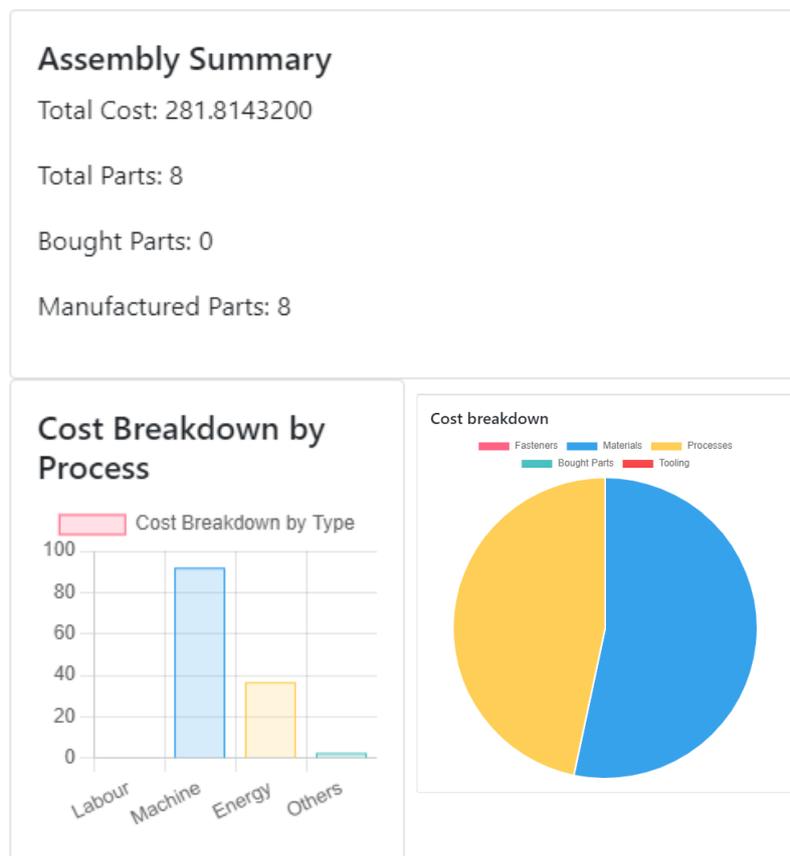


Ilustración 31: Dashboard de análisis de costes - Assemblies

6.4 AUTENTICACIÓN Y AUTORIZACIÓN

La implementación de los sistemas de autenticación y autorización es crucial para asegurar que los datos sensibles se manejen de manera segura y que los diferentes roles dentro del equipo tengan acceso controlado a la información y funcionalidades necesarias para sus tareas específicas.

La autenticación se refiere al proceso de verificar la identidad del usuario, mientras que la autorización trata de los permisos que tiene ese usuario dentro de la aplicación.

Para la gestión de estos sistemas se ha utilizado el Django Admin Site, que es una interfaz que se incluye automáticamente al crear una aplicación con el framework Django [12]. El Django Admin Site es una de las herramientas más poderosas de Django, con capacidades para administrar usuarios y grupos, crear y modificar elementos de la base de datos y administrar permisos. La gestión de permisos es una de las principales razones, por las que se eligió Django como marco para el desarrollo de la aplicación de gestión del BOM.

Los principales objetivos a la hora de implementar autorización y autenticación son los siguientes:

- Seguridad de los datos. Proteger los datos del BOM y del catálogo contra accesos no autorizado. El desarrollo de la aplicación está planteado para poder gestionar diferentes equipos dentro de una misma plataforma, cuyos miembros no deben poder acceder a la información de equipos a los que no pertenecen.
- Control de acceso. Garantizar que cada usuario solo pueda acceder a las funcionalidades y datos necesarios para su rol específico.
- Auditoría y trazabilidad. Poder auditar las acciones realizadas por cada usuario.

Únicamente los usuarios con rol de administrador pueden entrar a la consola de administración, limitando la gestión de usuarios, permisos, roles y grupos al Administrador,

garantizando la integridad de las autorizaciones y, por lo tanto, la de los datos almacenados en la plataforma.

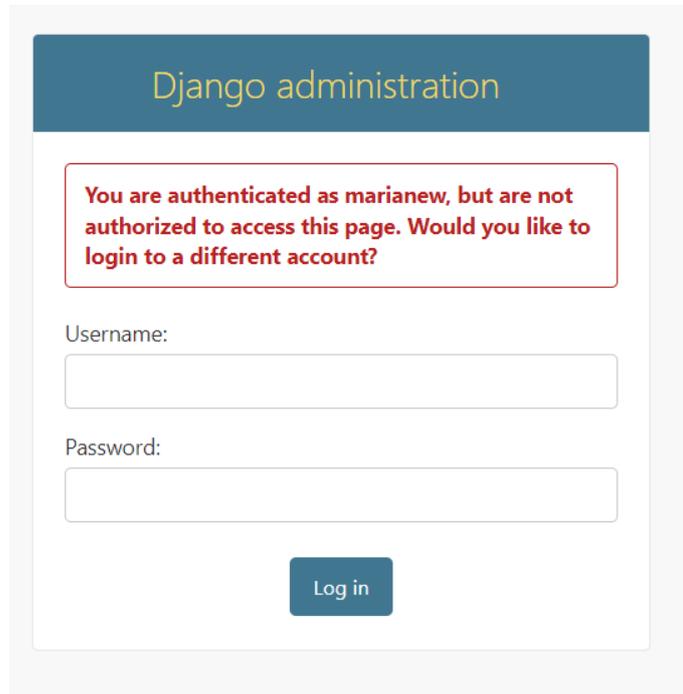


Ilustración 32: Limitación de acceso de Django admin Site

Se han definido los siguientes roles de usuario, de acuerdo a las necesidades de gestión de los datos de la plataforma en función de cómo se estructura el ISC FS Racing Team para la creación de su Bill of Materials.

- **Admin.** Acceso completo a todas las funcionalidades de la plataforma, incluyendo gestión de usuarios y permisos.
- **Cost Member.** Acceso completo a todas las funcionalidades del sistema, incluyendo la gestión del catálogo: añadir, editar, ver y eliminar materiales, procesos, enganches y herramientas.
- **Team Member.** Acceso a las funcionalidades del BOM: añadir/editar/eliminar/ver partes, assemblies, sistemas y componentes. Se restringe el permiso a la edición del catálogo. Acceso al dashboard de análisis para la toma de decisiones.

- **Ex Team Member.** Acceso limitado a ver los componentes del BOM, sin poder realizar acciones que lo modifiquen (añadir/eliminar/editar). Cuando un miembro del equipo lo abandona, su usuario pasa a formar parte del grupo de Ex Team Members, independientemente de su rol anterior.

Action: Go 0 of 4 selected

<input type="checkbox"/>	GROUP
<input type="checkbox"/>	Admin
<input type="checkbox"/>	Cost Member
<input type="checkbox"/>	Ex Team Member
<input type="checkbox"/>	Team Member

Ilustración 33: Roles de la plataforma de gestión de BOM

Los permisos a cada uno de estos grupos se han asignado a través de la interfaz de Administrador de Django.

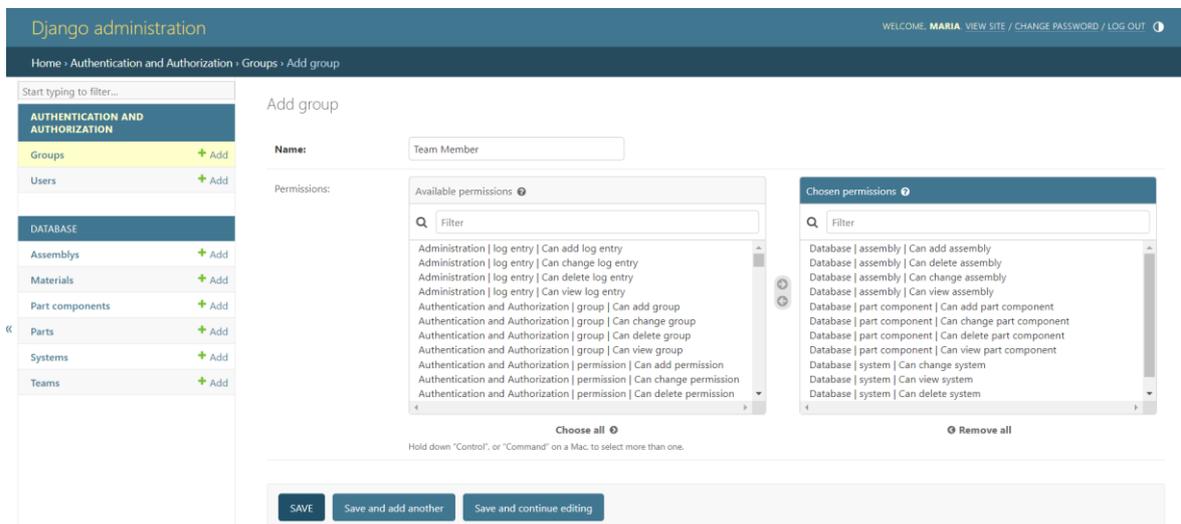


Ilustración 34: Gestión de permisos de Team Member

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del diseño, desarrollo e implementación del sistema de gestión del Bill of Materials (BOM) para el equipo ISC Formula Student Racing Team.

7.1 *EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA*

- **Actividades sobre el BOM:** La creación, modificación y eliminación de entradas del BOM desde una interfaz centralizada se realizó sin problemas. La capacidad para gestionar múltiples vistas del BOM permite a los usuarios acceder a información desglosada por materiales, procesos, herramientas y enganches, mejorando significativamente la eficiencia en la gestión de datos. Esta funcionalidad es la más básica que integra la plataforma, heredada del análisis de las herramientas de la gestión de BOM analizadas en el Estado de la Cuestión.
- **Gestión del Catálogo:** La plataforma permite la creación, modificación y eliminación de entradas en el catálogo de materiales, procesos, herramientas y enganches. Los usuarios pueden agregar y actualizar fácilmente información en el catálogo, asegurando que todos los componentes necesarios para la fabricación estuvieran bien documentados y accesibles. Esta funcionalidad también permite mantener un registro actualizado de los costes y las especificaciones de cada componente, facilitando el análisis detallado y la toma de decisiones.
- **Análisis de Costes:** La interfaz gráfica desarrollada permite un análisis detallado de costes a nivel de materiales, procesos y assembly y sistema para facilitar la toma de decisiones informadas.
- **Autenticación y autorización.** Los roles implementados permiten garantizar la integridad y seguridad de los datos, con la creación de distintos niveles de acceso a las actividades del BOM, del catálogo y de análisis de costes.

7.2 IMPACTO PREVISTO EN LAS OPERACIONES DEL EQUIPO

Aunque el sistema todavía no se ha implementado plenamente en el equipo, se espera que su uso en las competiciones de julio y agosto tenga un impacto significativo en las operaciones del ISC Formula Student Racing Team. Los principales beneficios previstos son:

- **Eficiencia Mejorada:** La centralización y automatización de la gestión del BOM y del catálogo se espera que reduzcan significativamente el tiempo y esfuerzo necesarios para gestionar los datos de fabricación.
- **Toma de Decisiones Informadas:** El análisis detallado de costes proporcionará al equipo una base sólida para tomar decisiones estratégicas sobre la elección de materiales y procesos.
- **Preservación de Información:** La nueva plataforma solucionará el problema de pérdida de información entre temporadas, asegurando la continuidad y disponibilidad de datos críticos.
- **Actualización con Costes Reales:** La plataforma permitirá la actualización continua de los costes asociados a cada componente del BOM. Esto incluye la capacidad de ajustar los precios de los materiales, procesos, enganches y herramientas de acuerdo con las fluctuaciones del mercado. Por ejemplo, si el coste del aluminio aumenta un 10% en el mercado, esta información se puede actualizar en el catálogo, y todos los componentes del BOM que utilicen aluminio reflejarán este cambio automáticamente, proporcionando una visión precisa de los costes de fabricación actualizados.

Estos beneficios se espera que se presenten cuando el sistema sea probado durante las competiciones de este verano. Las evaluaciones adicionales durante y después de las competiciones medirán el impacto real y recogerán feedback para futuras mejoras del sistema.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

8.1 CONCLUSIONES

El proyecto logró sus objetivos principales de diseñar, desarrollar e implementar un sistema escalable de gestión del BOM para el ISC Formula Student Racing Team. Las conclusiones más destacadas son:

Mejora en la Gestión del BOM: La plataforma desarrollada ha demostrado ser una herramienta eficaz para la gestión centralizada y detallada del BOM, superando las limitaciones de las soluciones anteriores.

Aumento en la Eficiencia Operativa: La automatización y las capacidades de análisis de la nueva plataforma han permitido al equipo optimizar sus procesos de fabricación y toma de decisiones.

Adaptabilidad y Escalabilidad: El sistema está diseñado para ser escalable, lo que permitirá su uso continuado y su adaptación a futuras necesidades del equipo.

Actualización con Costes Reales: La gestión propia del catálogo permite actualizar todos los materiales, procesos, enganches y herramientas incluidos en el BOM con los costes reales del mercado temporada a temporada, asegurando que el equipo siempre trabaje con información precisa y actualizada.

Conservación de Información: La plataforma elimina la pérdida de información entre temporadas, garantizando que todos los datos críticos se conserven y estén disponibles para su uso continuo.

8.2 TRABAJOS FUTUROS

El sistema de gestión del BOM y su base de datos han sido diseñados como un esqueleto robusto al que se pueden añadir diferentes módulos para mejorar sus capacidades y aumentar su utilidad para el equipo.

Aunque la plataforma desarrollada en este trabajo de Fin de Grado da respuesta a las necesidades de gestión del Bill of Materials del ISC FS Racing Team, se identifican las siguientes áreas de mejora y expansión de la plataforma que pueden abordarse en futuras iteraciones.

Exportación de Datos a Formato CSV: Implementar la capacidad de exportar datos a formato CSV para facilitar su análisis con herramientas externas, como Excel.

Análisis de Impacto de Huella de Carbono: Desarrollar y añadir una funcionalidad para el análisis del impacto de huella de carbono utilizando los datos del BOM y el catálogo para evaluar y reducir el impacto ambiental de las decisiones de fabricación y materiales.

Integración de una Herramienta para la Gestión de Planos: Desarrollar un módulo adicional que permita la gestión y almacenamiento de planos técnicos, para mantener toda la documentación de la fabricación en un único lugar. La base de datos ha sido diseñada con la intención de aplicar este módulo en el futuro.

Nuevas Funcionalidades para el Análisis de Costes: Ampliar las capacidades del análisis de costes con nuevas y métricas, basadas en el feedback del equipo y de los jueces de las competiciones. Se podrían incluir análisis comparativos entre diferentes temporadas, o evaluaciones de balance costes-tiempo en diferentes materiales y procesos, o modelos de coste-calidad basados en peso [17].

Mejoras en la Interfaz de Usuario: Continuar mejorando la interfaz para hacerla más intuitiva y accesible a todos los miembros del equipo, incorporando el feedback de los usuarios de la plataforma.

Es importante, además, estudiar las tendencias del mercado del software para la gestión del Bill of Materials, especialmente con la creciente integración de la inteligencia artificial (IA). Según un análisis reciente (Tech News And Updates, 2024), el mercado de software de BOM está proyectado a expandirse considerablemente en los próximos años, con un enfoque creciente en la adopción de tecnologías avanzadas como la IA y el machine learning para mejorar la precisión y eficiencia en la gestión de materiales [20]. Por tanto, es fundamental para los equipos de Formula Student considerar la inclusión de soluciones de IA para mantenerse competitivos y eficientes en el futuro.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Administrative Regulations, A. (s/f). Formula Student Rules 2024. Formulastudent.de. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2024/rules/FS-Rules_2024_v1.1.pdf
- [2] Formula SAE. 18 enero de 2023. Cost Event Supplement Version 3.0, de <https://www.fsaonline.com/cdsweb/gen/DownloadDocument.aspx?DocumentID=9536ac5d-9473-4788-a018-1198afa0c0f5>
- [3] Formula student - cost event guidance. (s/f). Imeche.org. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de <https://www.imeche.org/events/formula-student/team-information/cost-event-guidance>
- [4] Formula SAE. 1 septiembre de 2023. Formula SAE Rules 2024 Version 1.0. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de <https://www.fsaonline.com/cdsweb/gen/DownloadDocument.aspx?DocumentID=369d01c0-589d-4ebe-b8d4-b07544f4a52b>
- [5] *How to use Django with Apache and mod_wsgi* / Django documentation. (s. f.). Django Project. <https://docs.djangoproject.com/en/3.2/howto/deployment/wsgi/modwsgi/>
- [6] FAQ: General | Django documentation. (s. f.). Django Project. <https://docs.djangoproject.com/en/3.2/faq/general/#faq-general>
- [7] Ostezer, & Drake, M. (2022, 9 marzo). *SQLite vs MySQL vs PostgreSQL: A Comparison Of Relational Database Management Systems*. DigitalOcean. <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/sqlite-vs-mysql-vs-postgresql-a-comparison-of-relational-database-management-systems>
- [8] Huaman, W. C. (2018, 7 septiembre). Los 10 patrones comunes de arquitectura de software. *Medium*. <https://medium.com/@maniakhitoccori/los-10-patrones-comunes-de-arquitectura-de-software-d8b9047edf0b>
- [9] Shadhin, F. (2022, 6 enero). The MVT Design Pattern of Django - Python in Plain English. *Medium*. <https://python.plainenglish.io/the-mvt-design-pattern-of-django-8fd47c61f582?gi=30f1ae027923>

- [10] Pang, A. (2022, 6 enero). CRUD Operations explained - geek culture - medium. *Medium*.
<https://medium.com/geekculture/crud-operations-explained-2a44096e9c88>
- [11] *Signals* / *Django documentation*. (s. f.). Django Project.
<https://docs.djangoproject.com/en/5.0/topics/signals/>
- [12] *The Django admin site* / *Django documentation*. (s. f.). Django Project.
<https://docs.djangoproject.com/en/5.0/ref/contrib/admin/>
- [13] *History of Formula Student*. (s. f.-b). <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student#:~:text=From%20its%20inception%20in%201981,running%20its%20Formula%20SAE%20programme>.
- [14] Min Liu, Jianbo Lai, Weiming Shen, A method for transformation of engineering bill of materials to maintenance bill of materials, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.
- [15] Shaikh, Z. (2024, 30 abril). *Choosing the Right Bill of Materials Software – Bom Management Software*. Part Analytics. <https://partanalytics.com/choosing-the-right-bill-of-materials-software-bom-management-software/>
- [16] Xia, B., Bi, T., Xing, Z., Lu, Q., & Zhu, L. (2023). An Empirical Study on Software Bill of Materials: Where We Stand and the Road Ahead.
<https://doi.org/10.1109/icse48619.2023.00219>
- [17] Liu, Z.X. & Liu, Yiliu & He, Zhijun. (2004). Cost optimization mode of BOM based on simulated annealing. IEEE International Engineering Management Conference. 3. 1028 - 1031 Vol.3. 10.1109/IEMC.2004.1408847.
- [18] Hope, J. (2023, 27 julio). Formula Student: The way to get into F1, if you have the brains | F1 explained. *F1 Chronicle*. <https://f1chronicle.com/formula-student-the-way-to-get-into-f1/>
- [19] Co, Ltd. (2022). Database Design Fundamentals. 10.1007/978-981-19-3032-4_7.
- [20] Tech News And Updates. (2024, 15 marzo). *Bill of Materials (BOM) Software Market Size and Growth Share: Future Trends and Developments to 2032*.
<https://www.linkedin.com/pulse/bill-materials-bom-software-market-size-growth-share-8kuxc/>

ANEXO I

Se incluye el archivo README del repositorio de Github donde se aloja el código de la solución, así como el link para acceder al mismo.

```
# Plataforma de Gestión de BOM para Formula Student

Este proyecto es una plataforma desarrollada en Django para la gestión del Bill of Materials (BOM) de un vehículo de Formula Student. La plataforma permite realizar operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) sobre los diferentes componentes del BOM, y la gestión de un catálogo incluyendo materiales, procesos, herramientas, sujetadores y componentes comprados. Además, proporciona una interfaz gráfica para el análisis de costes.

## Características

- Gestión de BOM: Incluye un ainterfaz para la realizacion de operaciones CRUD sobre los elementos del Bill of Materials.
- Gestión del catálogo: Interfaz limitada a los usuarios del tipo COST MEMBER para la gestión del catálogo de materiales, procesos, fasteners y tooling del equipo
- Análisis de Costes: Proporciona gráficos y métricas para el análisis detallado de los costes de los componentes del BOM.
- Duplicación de Piezas: Permite duplicar piezas y sus componentes.
- Interfaz de Usuario Intuitiva: Utiliza HTMX y Bootstrap para una experiencia de usuario fluida y responsiva.

## Requisitos

- Python 3.x
- Django 3.x
- Bootstrap 5.x
- HTMX 1.x
- Chart.js

## Instalación

1. Clona el repositorio:

    ```bash
 git clone https://github.com/tu_usuario/tu_repositorio.git
 cd tu_repositorio
    ```

2. Crea y activa un entorno virtual:

    ```bash
 python -m venv venv
 source venv/bin/activate # En Windows usa `venv\Scripts\activate`
```

3. Instala las dependencias:

```
```bash
pip install -r requirements.txt
```
```

4. Realiza las migraciones y crea un superusuario:

```
```bash
python manage.py migrate
python manage.py createsuperuser
```
```

5. Inicia el servidor de desarrollo:

```
```bash
python manage.py runserver
```
```

6. Accede a la plataforma en tu navegador en `http://127.0.0.1:8000/`.`

## Licencia

Este proyecto está licenciado bajo la Licencia MIT. Consulta el archivo [LICENSE](LICENSE) para más detalles.

## Contacto

Para preguntas o comentarios sobre el proyecto, puedes contactar a [201903173@alu.comillas.edu] (<mailto:201903173@alu.comillas.edu>).

Link al repositorio: <https://github.com/mariaolivacalero/BOM-platform>