

# ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETO, RESUMEN Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO	5
1.1. OBJETO	5
1.2. RESUMEN Y ESTRUCTURA	6
2. LA FÓRMULA STUDENT	8
2.1. COMPETICIONES	8
2.2. HISTORIA	9
2.3. REQUISITOS PARA LA PARTICIPACIÓN	9
2.4. ESTRUCTURA	9
2.4.1. Los eventos estáticos	10
2.4.2. Los eventos dinámicos	12
3. MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LOS DOCUMENTOS	
CONCEPTO DEL NEGOCIO E INFORME DE COSTES	14
3.1. CONCEPTO DEL NEGOCIO (BUSINESS LOGIC CASE)	14
3.2. INFORME DE COSTES (COST REPORT)	15
3.2.1. Estructura	15
3.2.2. La Lista de Piezas	16
3.2.3. Cálculo del coste de componentes	16
3.2.3.1. Las tablas de costes	16
3.2.3.2. Cálculo del coste de piezas	17
3.2.3.3. Cálculo del coste de subsistemas	18
3.2.3.4. Cálculo del coste de sistemas	18
4. BUSINESS LOGIC CASE	19
4.1. VISIÓN	19
4.2. ANÁLISIS DEL MERCADO	20
4.2.1. Competencia externa a la FS	20
4.2.2. Competencia en la FS	22
4.2.2.1. Características de los vehículos	23
4.2.2.2. Rango de costes directos de producción	27
4.2.2.3. Rango de precios y volúmenes de venta	32
4.2.3. Consideración acerca de la fiabilidad de las propuestas	33
4.3. ESTRATEGIA EMPRESARIAL	34

4.4. ESTRATEGIA Y PRESTACIONES DEL VEHÍCULO	34
4.5. PLANES DE DISEÑO Y FABRICACIÓN EFICIENTES	35
4.6. EL EJERCICIO DE PROFUNDIZACIÓN	39
5. INFORME DE COSTES Y EJERCICIO SUPLEMENTARIO	40
5.1. EL INFORME DE COSTES	40
5.2. EL EJERCICIO SUPLEMENTARIO	43
5.2.1. Metodología	43
5.2.2. Resultados	45
6. LÍNEAS DE DESARROLLO FUTURO	47
7. BIBLIOGRAFÍA	48

## 0. INTRODUCCIÓN

La industria del automóvil es uno de los sectores que más han contribuido al desarrollo de los actuales sistemas de gestión de la producción. Desde los comienzos de la producción de automóviles en masa, se desarrollaron métodos para aumentar la productividad de las fábricas y con ello reducir los precios, haciendo asequibles estos productos para una mayor parte de la población. Un ejemplo paradigmático de estas primeras tendencias son los métodos desarrollados por el empresario norteamericano Henry Ford.

Posteriormente, y ligados a los nuevos requisitos del mercado, aparecieron nuevos y más eficientes métodos de producción, que se han ido extendiendo al resto de los sectores industriales, adaptándose a las peculiaridades de cada uno. Tal es el caso de las metodologías *Just In Time* (JIT), *Kanban*, *Total Productive Maintenance* (TPM) y de todo el conjunto de herramientas de gestión y métodos que conforman *Lean Manufacturing* y *Lean Office*. La mayoría de ellos fueron desarrollados por Toyota para ser aplicados en sus fábricas.

Todos estos métodos llevan aparejados desarrollos del diseño de los vehículos que buscan facilitar su industrialización. Por otra parte, el mercado demanda cada vez mayores prestaciones y un menor impacto medioambiental, dando asimismo una especial relevancia a la seguridad tanto activa como pasiva. Como consecuencia, se genera una difícil tesitura en la que el óptimo diseño requiere la consecución de objetivos, muchas veces, difícilmente compatibles.

En esta difícil tarea, de hacer cuadrar propósitos muy dispares, juegan un papel muy importante, además de los diseños, los materiales empleados en los vehículos.

Otro importante aspecto que considerar, además de la gestión, el diseño y los materiales, es la formación de los técnicos involucrados en todos estos procesos, y de los ingenieros en particular.

Fruto de esta última necesidad y relacionado con los otros aspectos citados, nacieron en distintas asociaciones técnicas, grupos de interés para fomentar la investigación y el desarrollo en el automóvil. No debe olvidarse que, al margen de su relevancia como medio de transporte, el automóvil suscita también un importante interés social tanto por los problemas que ocasiona y las soluciones que éstos demandan, como por motivos no técnicos (imagen, estatus etc.).

En este marco surge la *Formula Student*, como una competición universitaria de diseño y construcción de vehículos de carreras. Los equipos son constituidos voluntariamente por estudiantes que, a la luz de las distintas facetas de la problemática del automóvil, estudiarán, aplicarán y desarrollarán todas las técnicas de la ingeniería.

Los equipos tienen libertad para marcarse objetivos en gran parte del diseño de los vehículos, con la condición de que éste deberá permitir una producción y una comercialización lo más eficiente posible. Esos objetivos, elegidos por cada equipo para el diseño y construcción de su vehículo, serán utilizados en la competición, como hito de contraste, para evaluar el trabajo realizado.

El presente proyecto nace en este contexto, con el objeto de dar apoyo a un equipo constituido dentro de la Fórmula Student, en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

# 1. OBJETO, RESUMEN Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

## 1.1. OBJETO

El objeto del presente proyecto consiste en el estudio de las cuestiones de organización–producción relativas al diseño de un vehículo monoplaza apto para participar en la Fórmula Student, plasmándose en la elaboración de la documentación requerida y en el diseño de los contenidos para la exposición y discusión ante los Jurados de la citada competición.

Este objeto general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Elaboración de un “Manual para la preparación de los documentos Concepto del Negocio e Informe de Costes”. Se parte de las reglas y especificaciones de la Fórmula Student y de la propia experiencia en la preparación de los dos documentos citados. El propósito es realizar un manual práctico y sintético que sirva de ayuda al resto del equipo que diseña el monoplaza, en la actual y en futuras ediciones de la competición.
- Elaboración del documento técnico “Business Logic Case” (Concepto del Negocio). Se trata de efectuar un estudio que permita la entrega de una hoja con el concepto del negocio, que debe presentarse por escrito previamente a la competición, y defendida, de forma oral, ante un Jurado en la denominada Presentación del Negocio. Dicha presentación tiene lugar durante la competición.
- Elaboración del ejercicio “Deep Dive Topic” (Ejercicio de profundización). Este documento especifica, de forma cualitativa, los aspectos del negocio relativos al contacto con el cliente, una vez realizada la

supuesta venta del monoplaza. Ya que su contenido debe exponerse durante la Presentación del Negocio, ya citada en el punto anterior, su explicación y complementos deben incluirse como un apartado de la memoria de realización del “Business Logic Case”. El documento propiamente dicho se ha incluido como anexo.

- Elaboración del documento técnico “Cost Report” (Informe de Costes). A partir del diseño técnico de todos y cada uno de los sistemas y subsistemas que componen el vehículo, se procede a calcular sus costes directos de fabricación. Estos costes incluyen tanto los materiales adquiridos (o elementos, en su caso) como los procesos necesarios para su fabricación y montaje.
- Estudio de un caso propuesto por la organización de Formula Student, denominado “Cost Special Task”. En la presente edición se trata de un ejercicio de reducción de costes. Dado que la discusión de este ejercicio con el Jurado tiene lugar al final de la discusión del “Cost Report”, la memoria de este estudio se debe incluir al final de la del citado documento.
- También forma parte del objeto del presente proyecto la exploración y presentación de las líneas de desarrollo futuro. Se trata de comentar los proyectos que podrían desarrollarse como complementos del presente.

No forman parte del objeto del presente proyecto los aspectos estrictamente tecnológicos relativos al diseño del vehículo. Cada uno de estos aspectos, tales como motor y transmisión, chasis, etc., constituirían un proyecto completo de diseño (véase el Capítulo correspondiente a las líneas de desarrollo futuro).

Tampoco forma parte del objeto del presente proyecto la elaboración de la estrategia comercial detallada, ni la composición de la estructura completa de costos empresariales (véase el Capítulo correspondiente a las líneas de desarrollo futuro).

De igual forma, queda fuera del objeto del proyecto todo aquello que es ajeno a los requisitos de la Fórmula Student.

## **1.2. RESUMEN Y ESTRUCTURA**

El presente proyecto consta de ocho Capítulos, agrupados en la Memoria y dos Anexos.

La Memoria refleja la realización del proyecto, desde su presentación y aspectos descriptivos, hasta las notas bibliográficas, explicando las metodologías empleadas y los resultados correspondientes, con excepción del resultado del estudio “Deep Dive Topic” y del “Cost Report” (resultado del estudio de costos). El primero se ha recogido en el Anexo I, por ser un

documento preparado en lengua inglesa y el segundo constituye el Anexo II debido a su extensión.

Los tres primeros (Capítulos 0 a 2) caracterizan el proyecto y lo sitúan en su contexto (Fórmula Student).

Los Capítulos 3 a 5, junto con ambos Anexos, constituyen el núcleo del proyecto, en el que se cumplimentan las distintas tareas señaladas en su objeto. El Capítulo 3 contiene el Manual práctico para la elaboración de la documentación producida en el proyecto. El Capítulo 4 contiene la memoria del estudio efectuado para preparar el Concepto de Negocio y la presentación del mismo ante los jueces de la competición. El resultado de una parte de este estudio se recoge en el Anexo I (“Deep Dive Topic”). El Capítulo 5 presenta el Informe de Costes (Cost Report) y el Ejercicio Suplementario de Costes (Cost Special Task). Dada su extensión, el primero se ha recogido íntegramente en el Anexo II, mientras que el segundo se incluye directamente en el Capítulo 5 por ser más breve.

En el Capítulo 6 se plantean las posibles líneas de desarrollo futuro del proyecto, que podrán constituir en su momento nuevos proyectos completos.

Finalmente, en el Capítulo 7 se incluye la reseña bibliográfica y de enlaces web consultados durante la elaboración del proyecto.

## **2. LA FÓRMULA STUDENT**

### **2.1. COMPETICIONES**

La Fórmula Student (abreviada como FS) y la Fórmula SAE® (abreviada como FSAE) son sendas series de competiciones universitarias en las que cada equipo debe diseñar, fabricar y poner a prueba un pequeño monoplace de carreras siguiendo unas reglas del tipo Fórmula. El monoplace debe presentarse como el prototipo de un modelo concebido para ser producido en masa.

Las competiciones celebradas bajo el nombre de FSAE tienen lugar actualmente una vez al año en los Estados norteamericanos de Michigan y Nebraska así como en Brasil, Australia e Italia. Son organizadas por la filial de la SAE (Society of Automotive Engineers) en cada país exceptuando Italia, donde la entidad responsable de organizarla es la ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile). La filial de la SAE en Japón, la JSAE, también organiza una competición del mismo tipo con el nombre de Student Formula Japan (SFJ).

Se denomina FS a las competiciones celebradas en Europa con excepción de la italiana. Actualmente se celebran ediciones anuales en el Reino Unido, en Alemania, en España, en Austria y en Hungría. Estas competiciones son organizadas por asociaciones técnicas nacionales, como la británica Institution of Mechanical Engineers (IMechE) o la española Sociedad de Técnicos de la Automoción (STA).

El idioma oficial de todas es el inglés, que es usado tanto por los comités organizadores en la redacción de toda la documentación relativa a las mismas como por los jueces y los equipos durante las pruebas. En la FSAE Italia, en la FSAE Brasil y en la SFJ, también el italiano, el portugués y el japonés están reconocidos respectivamente como segundos idiomas oficiales.

## 2.2. HISTORIA

La primera de estas competiciones es la FSAE, creada en 1981 para los estudiantes de ingeniería mecánica estadounidenses. La FSAE es el resultado de la reconversión de la competición también universitaria Mini-Indy, que se había empezado a celebrar en 1978.

La FSAE inspiró la creación de la FS, cuya primera edición se celebró en el Reino Unido en 1998. Dicha edición fue organizada conjuntamente por la SAE y la IMechE. Desde entonces la FS se ha celebrado anualmente de forma ininterrumpida, organizada únicamente por la IMechE.

El resto de las competiciones, tanto de FSAE como de FS, son posteriores a esta última.

## 2.3. REQUISITOS PARA LA PARTICIPACIÓN

Todas las competiciones están abiertas a equipos de cualquier procedencia. Los únicos requisitos que deben cumplir todos los participantes, incluidos los pilotos, es ser estudiantes universitarios o titulados con menos de 7 meses de antigüedad y estar registrados en alguna de las asociación técnicas que organicen competiciones (SAE, IMechE etc.).

Las reglas recomiendan que cada equipo cuente con el apoyo de un profesor (Faculty Advisor) que, con su experiencia, les asesore durante el desarrollo del proyecto.

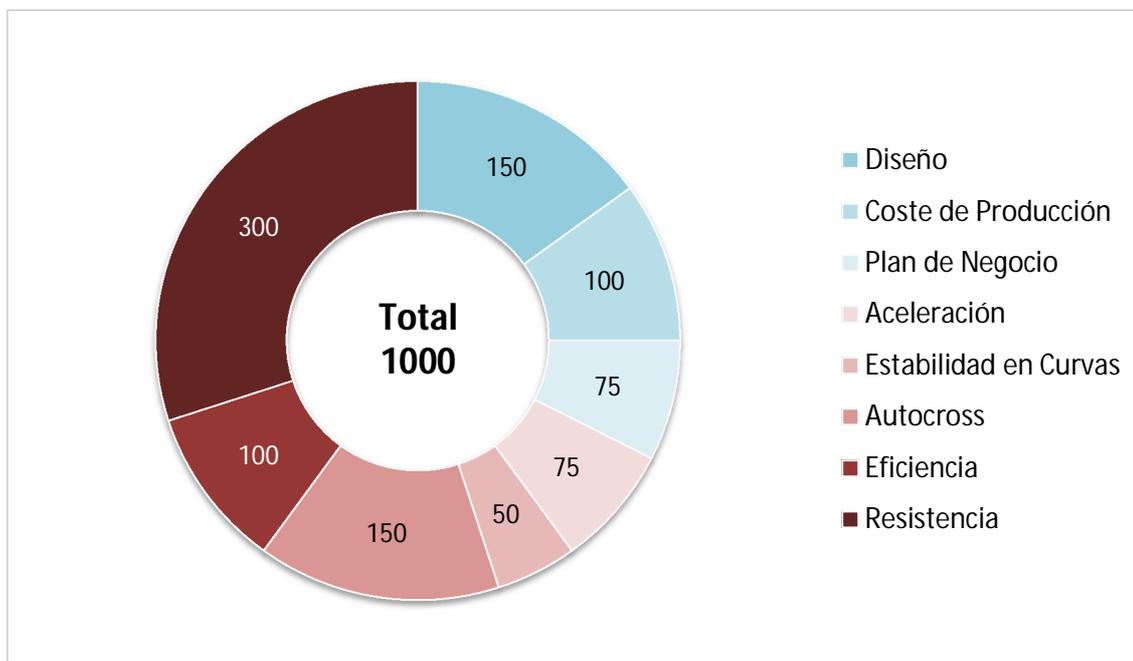
## 2.4. ESTRUCTURA

La estructura de cada competición viene establecida en sus reglas, que en todos los casos están basadas en las de la FSAE. La mayoría presenta variaciones que se explicitan para advertir a los participantes. Un ejemplo de tales variaciones es la clasificación conjunta o por separado de los vehículos eléctricos y los de combustión.

Las competiciones constan de diferentes pruebas, denominadas **eventos**, que en todos los casos se dividen en estáticos y dinámicos. Los eventos estáticos reciben tal calificativo por llevarse a cabo con el vehículo parado, mientras que en los dinámicos se evalúan sus prestaciones cuando se encuentra en funcionamiento.

El reparto de pesos de los eventos es heterogéneo, y entre todos suman 1000 puntos. La puntuación máxima de cada evento se detalla en el gráfico de la Figura 1. Dicho reparto se mantiene en todas las competiciones.

Gana la competición el equipo que obtenga la máxima puntuación total. Dependiendo de la competición, se ofrecen asimismo premios a la mejor puntuación de varios eventos individuales, como la eficiencia energética, o agrupados en estáticos y dinámicos.



**Figura 1: puntuación de los eventos (elaboración propia)**

En varias competiciones, como la británica y la española, es posible optar por participar únicamente en los eventos estáticos. Esta opción es interesante para los equipos primerizos que deseen adquirir experiencia antes de presentar un monoplaza terminado.

A continuación se ofrece una breve descripción de cada evento que no pretende ser exhaustiva. El reglamento completo de cada competición está disponible gratuitamente para cualquier interesado en la página web correspondiente a cada una.

#### **2.4.1. Los eventos estáticos**

Los eventos estáticos son cuatro: la presentación del plan de negocio (Business Plan Presentation), el evento de diseño (Design Event), el evento de costes de producción del monoplaza (Cost and Manufacturing Event) y, por último, la inspección técnica del vehículo (Technical Inspection). Este último evento no recibe puntuación.

Las reglas de estos eventos están recogidas en la Parte S del reglamento. La S hace referencia a *Static*.

- En la **presentación del plan de negocio** se debe demostrar a los representantes de una corporación ficticia la rentabilidad del proyecto para llegar a un acuerdo comercial. El papel de los representantes viene desempeñado por los jueces del evento, que en el turno de preguntas siguiente a la presentación plantean cuestiones principalmente de índole logística y comercial. La duración de la presentación está limitada a entre 10 y 12 minutos según la competición, y excederla conlleva penalizaciones.

Previamente a dicho evento, cada equipo debe enviar un resumen del plan de negocio y de las características técnicas del vehículo (denominado Business Logic Case o Business Plan Executive Summary dependiendo de la competición) con una extensión máxima de una hoja de tamaño A4. Dicho documento no recibe puntuación y es empleado por los jueces de todos los eventos estáticos puntuables para evaluar la coherencia de las decisiones tomadas en el diseño del monoplaza con la estrategia empresarial elegida.

Las competiciones alemana y española establecen adicionalmente la presentación de un ejercicio de profundización en algún aspecto empresarial (Deep-Dive Topic). En dicho ejercicio puede solicitarse, por ejemplo, la definición de la estrategia de transporte y entrega del vehículo a los clientes.

En cualquier caso, en este evento se evalúa la calidad de la presentación, sin importar la calidad del monoplaza o siquiera que esté construido. Los criterios de puntuación se detallan en el artículo S5.5 así como en el apéndice S-6 de las reglas.

- **El evento de diseño** comprende:
  - 1) la entrega previa de una hoja de especificaciones técnicas (Design Specification Sheet) y de un informe (Design Report).
  - 2) una discusión con los jueces durante la competición.

Las características del monoplaza aportadas en la hoja de especificaciones técnicas deben quedar justificadas en el informe, que es revisado por los jueces con anterioridad a la discusión con el equipo. La misión de los jueces durante ésta es evaluar el grado de comprensión que tienen los participantes acerca de las soluciones tecnológicas que emplean en su propuesta. Para ello, se reparten en parejas y plantean cuestiones técnicas acerca de cada sistema del vehículo.

En este evento se valora especialmente la aportación de documentación técnica (tablas, gráficos etc.) que corrobore la validez de las justificaciones aportadas. Por eso las reglas recomiendan que los miembros del equipo presentes en la discusión dispongan de dicha documentación.

Aunque de manera más sutil que en la presentación del plan de negocio, en este evento también debe quedar patente la orientación del vehículo a un determinado mercado.

Los criterios de evaluación y puntuación de este evento están recogidos en una hoja (Design Judging Score Sheet) que se encuentra disponible en la página web de la FSAE.

- El **evento de costes de producción** consiste en:
  - 1) La entrega previa de un informe de costes de producción del vehículo (Cost Report). Una descripción más detallada de dicho informe se ofrece en el Capítulo 6 de este proyecto.
  - 2) La discusión del mismo con los jueces junto al vehículo durante la competición, con el fin de que éstos puedan verificar las características de las piezas descritas en el informe.
  - 3) La presentación de un ejercicio suplementario (denominado Real Case o Cost Special Task en función de la competición) cuyo enunciado se envía a los equipos con aproximadamente un mes de antelación. En dicho ejercicio los equipos deben resolver un problema relacionado con el coste o con el proceso de producción del vehículo.

De los 100 puntos con que se pondera este evento, 40 se asignan a la consecución del coste más bajo, 40 a la calidad del informe y 20 al ejercicio suplementario (artículo S4.8 de las reglas).

- La **inspección técnica** no recibe puntuación, y tiene lugar para determinar la conformidad del vehículo y de la indumentaria del piloto con las reglas de la competición. Es indispensable pasarla para acceder a los eventos dinámicos.

#### 2.4.2. Los eventos dinámicos

Los eventos dinámicos son cinco: una prueba de aceleración (Acceleration), otra de comportamiento en curvas (Skid Pad), una prueba contrarreloj (denominada Autocross en la FSAE y Sprint en la FS), una prueba de resistencia (Endurance) y una prueba de eficiencia (Efficiency). El evento de eficiencia y el de resistencia tienen lugar simultáneamente.

Las reglas de estos eventos están recogidas en la Parte D del reglamento. La D hace referencia a *Dynamic*.

- El **evento de aceleración** consiste en recorrer en el menor tiempo posible una pista recta de 75 metros de longitud y al menos 4,9 m de ancho, partiendo desde el reposo con el motor encendido.
- En el **evento de comportamiento en curvas** cada vehículo debe trazar en el menor tiempo posible dos circunferencias hacia la derecha y dos hacia la izquierda en una pista con forma de 8. La pista se delimita con conos y ambos círculos son idénticos, teniendo un diámetro interior de 15,25 m y un diámetro exterior de 21,25 m.
- El **evento de carrera contrarreloj** consiste en recorrer en el menor tiempo posible una longitud de 0,5 millas (0,805 km aproximadamente) en una pista con tramos rectos y curvos. La longitud de la pista está sujeta al criterio de

los organizadores de cada competición, y en cualquier caso se precisará al piloto el número de vueltas necesarias para cubrir la distancia de la prueba.

- El **evento de resistencia** se supera al completar una distancia de 22 km en una pista con tramos rectos y curvos. Recorridos 11 km es obligatorio efectuar un cambio de piloto con el motor apagado. Para ello se establece un lapso de 3 minutos que no se contabilizan en la duración de la prueba.

De nuevo, la pista podrá ser de cualquier longitud. Sin embargo, dada la mayor duración de este evento, no se comunica al piloto el número de vueltas que debe completar, sino que se le avisa, mediante un código de banderas, del momento en que comienza su última vuelta así como del fin de ésta y por ende de su recorrido.

- El **evento de eficiencia** valora los bajos consumos de energía por unidad de distancia. Como se señalara más arriba, tiene lugar simultáneamente con el de resistencia. El proceso es esencialmente simple: completados los 22 km del evento de resistencia, se mide el volumen de combustible consumido en el caso de los vehículos de combustión o la cantidad de energía gastada en el caso de los eléctricos.

## **Pistas**

Todos los eventos dinámicos tienen lugar en suelo asfaltado. Las reglas de cada competición especifican el rango de dimensiones de los tramos rectos y curvos de las pistas para los eventos de carrera contrarreloj y de resistencia.

## **Participación**

En todos los eventos salvo el de resistencia, los vehículos participan de uno en uno. En el evento de resistencia, para economizar tiempo, se admiten hasta 7 vehículos por kilómetro de pista, incluyendo los que se encuentren detenidos para el cambio de piloto.

Los criterios para determinar el orden de salida de los vehículos vienen especificados en las reglas relativas a cada evento.

## **Intentos**

En los eventos de aceleración, comportamiento en curvas y contrarreloj se ofrecen dos mangas de dos intentos, lo que supone un total de cuatro intentos por evento. Por su parte, en el evento de resistencia se ofrece una única manga de un intento.

Las reglas establecen que los equipos sólo podrán aprovechar el total de intentos disponibles si aportan un piloto distinto en cada manga. Asimismo establecen que ningún conductor puede participar en más de tres eventos.

### **3. MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LOS DOCUMENTOS CONCEPTO DEL NEGOCIO E INFORME DE COSTES**

Partiendo de las reglas de FS, y de la propia experiencia en la elaboración de los documentos correspondientes, se presenta en este Capítulo un manual práctico y sintético para la preparación de los mismos.

#### **3.1. CONCEPTO DEL NEGOCIO (BUSINESS LOGIC CASE)**

El concepto del negocio, en adelante Business Logic Case (abreviado como BLC), es un documento en el que cada equipo debe plasmar la relación existente entre los objetivos comerciales de su proyecto y el diseño de su monoplaza.

Se ha comenzado a exigir en las competiciones de 2013, y las reglas establecen que no recibirá puntuación, que deberá entregarse entre 6 y 9 meses antes de la competición en cuestión y que su extensión máxima será de una hoja de tamaño A4. Asimismo determinan que su función es servir a los jueces de todos los eventos estáticos puntuables como referencia para evaluar la coherencia del diseño del monoplaza con la estrategia empresarial elegida.

La antelación de la entrega del BLC no obliga a mantener ni la estrategia comercial ni el diseño expuestos en él. No obstante, cualquier modificación deberá justificarse en el momento de la competición. En dicho caso se valorará positivamente la aportación de documentación que corrobore la validez de las justificaciones.

El contenido del BLC debe repartirse en cuatro apartados: análisis del mercado (Analysis of Market Data), estrategia empresarial (Company Strategy), estrategia del vehículo (Vehicle Strategy and Performance) y planes para un diseño y una fabricación eficientes (Plans for Efficient Design and Manufacture). Al final deben aportarse sendas listas con las características básicas de diseño (Key Design Features) y las prestaciones que se hayan elegido (Key Performance Targets) para el vehículo.

### **3.2. INFORME DE COSTES (COST REPORT)**

El informe de costes (Cost Report) es el documento en el que debe quedar recogido el **coste directo de producción** del vehículo y de cada una de sus piezas. Es el principal ejercicio de los que componen el evento de costes, y para optar a puntuar en el mismo se requiere su envío previo a la competición en el plazo establecido por los organizadores.

El evento de costes y la elaboración del informe se regulan en el artículo S4 y en los apéndices S-1, S-2, S-3, S-4 y S-5 de las reglas.

#### **3.2.1. Estructura**

El informe de costes debe constar de los cinco elementos siguientes:

- 1) Portada
- 2) Índice
- 3) Una hoja resumen con el coste de los sistemas del vehículo y el coste total de éste.
- 4) La lista de piezas (Bill of Material) del vehículo con el coste de cada una.
- 5) Una sección por sistema, en la que se detalle individualmente el coste de sus respectivos subsistemas y piezas.

En las reglas se establece la descomposición del vehículo en ocho sistemas, que serán los enumerados a continuación:

- Propulsión
- Chasis y carrocería
- Electrónica y electricidad
- Suspensión
- Frenos
- Ruedas y neumáticos
- Dirección
- Puesto de conducción y acabado

Por su parte, el coste de las piezas, el de los subsistemas y el de los sistemas deberán presentarse descompuestos de la forma que se detalla en el apartado 3.2.3.

### **3.2.2. La Lista de Piezas**

Con respecto a la lista de piezas, las reglas determinan que debe tener una estructura de árbol de tres niveles: sistema (system), subsistema (assembly) y pieza (part).

Los sistemas deben ser los ocho enumerados más arriba. En cuanto a los subsistemas y las piezas, en el apéndice S-2 de las reglas se determina el sistema de codificación que debe emplearse en los mismos, mientras que en el apéndice S-3 se especifican tanto los vocablos con los que designarlos, como el sistema en el que referir cada uno.

Tanto cada pieza como cada subsistema deben figurar acompañados de su respectivo coste, descompuesto en los conceptos que se explican en el siguiente apartado.

### **3.2.3. Cálculo del coste de componentes**

El cálculo del coste de los componentes del vehículo, sean piezas, subsistemas o sistemas, debe efectuarse según se especifica en el artículo S4 y en el apéndice S-1 de las reglas. Se resumen aquí dichas instrucciones.

#### **3.2.3.1. Las tablas de costes**

Es evidente que la diversidad de procedencias de los equipos puede causar diferencias en el coste de componentes idénticos. Por ello resulta lógico pensar que, si no se tuviera en cuenta la dependencia de los costes con la situación geográfica, algunos equipos resultarían favorecidos en el evento de costes mientras que otros se verían perjudicados. Por otra parte, tenerla en cuenta para comparar equitativamente los costes de los vehículos requeriría una homogeneización previa de los mismos.

Como solución a dicho problema, el coste de cada material, cada pieza disponible en el mercado, cada proceso, cada elemento de sujeción y cada útil que intervienen en la fabricación de los monoplazas se especifican en las denominadas tablas de costes (Cost Tables), elaboradas por los organizadores de la FSAE y de uso obligado para todos los equipos. Las tablas son cinco:

- Tabla de materiales (materials). En ella se enumera el coste de todas las materias primas que se usan en la fabricación de un vehículo de FS así como el de las piezas fabricadas disponibles en el mercado. Dicho coste suele estar en función de uno o más parámetros, como la masa o las dimensiones.
- Tabla de procesos (processes). Sirve para calcular el coste de cualquier proceso de fabricación y de ensamblaje según la herramienta usada: corte con láser, con chorro de agua etc.; atornillado manual, con máquina etc. Gran parte de los mismos se ponen en función de uno o más parámetros, como la longitud en el caso del corte. Otros parámetros, como la dureza del material, se tienen en cuenta con la siguiente tabla.

- Tabla de multiplicadores de procesos (process multipliers). Dicha tabla sirve para determinar el coste de un proceso en función del material y la geometría de la pieza. Por ejemplo, el coste de roscar un taladro depende del material taladrado (acero, aluminio etc.) y de la relación diámetro-longitud del agujero.
- Tabla de sujeciones (fasteners). Contiene expresiones para calcular el coste de todos los elementos de sujeción en función del tipo, su tamaño y su resistencia: tornillos, tuercas, arandelas, abrazaderas etc.
- Tabla de útiles (tooling). En ella se indica el coste que debe asignarse a los útiles que son específicos para determinadas piezas, como por ejemplo el molde de una pieza de fundición.

### 3.2.3.2. Cálculo del coste de piezas

Las reglas distinguen entre piezas fabricadas por el equipo y piezas compradas. La forma de calcular el coste de una pieza depende de dicha clasificación, que se hace en la tabla de materiales incluyendo junto al nombre de cada pieza una o ninguna indicación.

- Si junto al nombre de una pieza aparece la indicación *Cost as made*, su coste deberá calcularse como si se hubiera fabricado, independientemente del método empleado por el equipo para obtenerla.
- Si una pieza no tiene ninguna indicación, su coste deberá calcularse con la fórmula dada para la misma en la tabla. Dicho coste será el coste de la pieza comprada al fabricante.
- Por último, si un equipo decide fabricar una pieza, sólo podrá contabilizarla como fabricada si existe en la tabla una entrada con la indicación *Student-made*. Si esta indicación no aparece, deberá calcular su coste usando la fórmula asignada a la pieza.

A continuación se presenta la expresión del coste de una pieza fabricada por el equipo así como la del coste de una comprada:

*Coste pieza fabricada = materiales + procesos + sujeciones + útiles*

*Coste pieza comprada = pieza + proceso + sujeciones*

Donde:

- El término *materiales* comprende el coste de la cantidad **bruta** de materia prima empleada en la pieza.  
En el caso de las piezas compradas, el término *pieza* será el coste de la misma en las condiciones en que la entregue el fabricante.
- El término *procesos* es el coste de todos los procesos necesarios para fabricar la pieza.
- El término *sujeciones* es el coste de todos los elementos de sujeción necesarios tanto en la fabricación de la pieza como en su ensamblaje a otra.

- El término *útiles* es el coste de los útiles específicos para la fabricación de una pieza. Dado que dichos útiles sirven para fabricar numerosas piezas iguales, su coste debe repartirse entre todas. El número de piezas que pueden fabricarse con los mismos viene especificado en el artículo S5.1 de las reglas.

El valor de cada uno de estos términos debe aportarse tanto en la hoja de costes de cada pieza como en la lista de piezas.

### 3.2.3.3. Cálculo del coste de subsistemas

De manera análoga al caso de las piezas, el coste de cada subsistema se calculará con la expresión siguiente:

$$\text{Coste subsistema} = \text{piezas} + \text{procesos} + \text{sujeciones}$$

Donde:

- El término *piezas* es el sumatorio del coste de cada pieza del subsistema multiplicado por el número de piezas iguales que contenga el mismo.
- El término *materiales* comprende el coste de materiales o sustancias que se añaden al subsistema terminado, como por ejemplo el líquido refrigerante en el caso del radiador.
- El término *procesos* es el coste de todos los procesos necesarios tanto para ensamblar las piezas del subsistema como para ensamblar éste a otro. También deben incluirse aquí los procesos de ajuste, como el tensado de la cadena en el caso de la transmisión.
- El término *sujeciones* es el coste de los elementos de sujeción necesarios para ensamblar el subsistema a otro.

Para cada subsistema, debe aportarse el valor de cada uno de estos términos tanto en la hoja de costes de cada subsistema como en la lista de piezas.

### 3.2.3.4. Cálculo del coste de sistemas

El coste de cada sistema será la suma de los costes de los subsistemas que lo componen.

En la hoja resumen se debe presentar el coste de cada sistema, descompuesto en materiales, procesos, sujeciones y útiles. Cada uno de estos conceptos será la suma de los correspondientes a los subsistemas que compongan el sistema en cuestión.

## **4. BUSINESS LOGIC CASE**

A continuación se presenta el estudio que ha servido para la elaboración del BLC del equipo ARUS para la FS España 2013. Se comienza detallando la visión de ARUS en el apartado 4.1. Seguidamente, en el apartado 4.2, se ofrece un análisis tanto del mercado de vehículos de FS como del de otros vehículos similares. En el apartado 4.3 se enumeran los objetivos estratégicos de ARUS. Dichos objetivos determinan las características requeridas del vehículo, detalladas en el apartado 4.4. Por último, en el apartado 4.5 se describe el proceso de selección de los componentes del vehículo.

En el apartado 4.6 se hacen aclaraciones con respecto al ejercicio de profundización elaborado para la misma competición. Dicho ejercicio se recoge en el Anexo I.

### **4.1. VISIÓN**

La visión de ARUS consiste en alcanzar los dos objetivos siguientes:

- Popularizar la FS.
- Llegar a ser un referente por la relación calidad-precio de sus vehículos y sus servicios.

Para alcanzar dichos objetivos, se propone desarrollar un vehículo con las siguientes características:

- De precio bajo en comparación con la competencia
- Sencillo
- Fiable
- Deportivo tanto por sus prestaciones como por su estética.

## 4.2. ANÁLISIS DEL MERCADO

Para materializar de manera competitiva las características del vehículo especificadas en la visión, se ha hecho un análisis de los vehículos que por presentar alguna de dichas características pueden englobarse en la competencia, sean o no modelos de FS.

### 4.2.1. Competencia externa a la FS

Entre los corredores aficionados, las competiciones monomarca gozan de gran aceptación por mantener el precio de los vehículos dentro de unos límites admisibles para particulares. Ello se consigue al obligar a que todos los vehículos participantes monten motores idénticos del mismo fabricante y, según la competición, también idénticos chasis, suspensiones y/o ruedas.

En el mercado ya existen vehículos de competición monomarca con características comparables a las de la FS y la FSAE. De éstos destacan, por ser los modelos más vendidos, los **Legends Cars®**, los **Thunder Roadster Cars®** y los **Bandolero Cars®**. [10]



Figura 4.1: Bandolero Cars

Los tres modelos, creados con el objetivo de popularizar el automovilismo deportivo en EE.UU., cuentan con un único fabricante oficial, U.S. Legend Cars International (USLCI). Asimismo, compiten en pruebas específicas para cada uno que son promovidas, organizadas y reguladas por el mismo organismo, INEX (abreviatura del inglés *inexpensive*). INEX se fundó expresamente para tal efecto. [10]

El éxito de dichos modelos, en particular el de los Legends Cars, es tal que USLCI se ha convertido en el mayor fabricante mundial de coches de carreras. Desde 1992, año en el que comenzó la venta de aquéllos, ha fabricado más de 5.500 unidades y existen distribuidores oficiales en EE.UU., en Canadá y en diversos países europeos, celebrándose en todos ellos competiciones de Legends Cars. [10]



**Figura 4.2: Legends Cars**

El precio de venta varía según el modelo y el distribuidor. En EE.UU. el precio básico de un Legends Car puede situarse en 10.500 \$, haciéndolo el de un Bandolero Car en 6.995 \$. El precio de los Thunder Roadster Cars no está disponible.

Gracias a la invariabilidad de las reglas, existe asimismo un activo mercado de vehículos usados, en el que pueden encontrarse precios inferiores.

Determinados distribuidores ofrecen la opción de arrendar los vehículos. Con esta opción, el usuario puede desentenderse tanto del mantenimiento de los mismos como de su transporte a las pruebas.

Las características técnicas de los tres modelos se han recogido en la Tabla 4.1. Nótese que, a diferencia de la FS y la FSAE, hay establecido un peso mínimo del conjunto conductor-vehículo para cada modelo.



**Figura 4.3: Thunder Roadster Car**

**Tabla 4.1: características técnicas de los Legends Cars, los Thunder Roadster Cars y los Bandolero Cars. (Fuente: USLCI y elaboración propia)**

<b>Modelo</b>	<b>Legends</b>	<b>Thunder Roadster</b>	<b>Bandolero</b>
<b>Motor</b>	Yamaha FJ 1200, XJR 1200, XJ 1219, XJ 1250	Yamaha Blitz	Briggs & Stratton Vanguard
<b>Cilindrada</b>	1200, 1200, 1219, 1250 cc	1250 cc	570 cc
<b>Potencia</b>	122 HP	140 HP	30 HP
<b>Peso mínimo con conductor</b>	1300 lb (590 kg)	1500 lb (680,4 kg)	750 lb (340,2 kg)
<b>Transmisión</b>	Secuencial, 5 marchas	Secuencial, 5 marchas	Automática
<b>Chasis</b>	Tubular de acero	Tubular de acero	Tubular de acero
<b>Suspensión</b>	Dobles triángulos, amortiguadores y muelles especificados	Dobles triángulos, amortiguadores y muelles especificados	Amortiguadores y muelles especificados
<b>Llantas (diámetro/ancho)</b>	13"/7". Acero	15"/8"	13"/6"
<b>Neumáticos</b>	205/13R60 Federal 595	Hoosier 26.5/8.0-15 Roadster Edition	BFGoodrich Bandolero Edition
<b>Batalla</b>	73"	96"	70"
<b>Anchura total máxima</b>	60"	61"	47"
<b>Longitud total máxima</b>	10' 6"	14' 3"	10' 9"
<b>Altura total máxima</b>	46"	44"	34"

#### **4.2.2. Competencia en la FS**

Los precios de venta de los vehículos de la FS no están disponibles. La competencia sólo publica información acerca de los componentes de sus vehículos y de sus prestaciones. Sin embargo, dicha información basta para estimar un rango de costes directos de producción y, partiendo de éste, un rango de precios de venta.

En los siguientes epígrafes se detallan las características de los monoplazas, y se estiman tanto el rango de costes directos de producción como el de precios de venta de los mismos.

En último lugar se hace una consideración acerca de la fiabilidad de los modelos. Esta característica, junto a la durabilidad, requiere especial atención dadas las características del mercado: estos vehículos son para uso particular

en competiciones, por lo que, para satisfacer a los consumidores, deben ofrecer la mayor fiabilidad y durabilidad posibles. En consonancia con esto, el evento de resistencia tiene asignados 300 puntos y es, por tanto, el de mayor peso de la competición.

#### 4.2.2.1. Características de los vehículos

De cada uno de los **110 vehículos** presentados en la Clase 1 de la FS 2012 se han estudiado las siguientes partes y características [9]:

- a) Razón potencia / peso
- b) Motor
- c) ECU
- d) Chasis y carrocería
- e) Suspensión
- f) Ruedas
- g) Frenos
- h) Diferencial



**SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
SLOVAKIA**

**CLASS 1** 90

STUBA Green Team from Slovak University of Technology in Bratislava was founded in 2009. Our team is developing its third fully electric Formula Student racing car. After great personal changes, the team is led by a new team leader, boosted by enthusiasm of new young members and equipped by skills of experienced members. This season will show how the team turned its great potential into success.

We have learned a lot from the last season and this year we want to build a reliable and safe formula car with weight under 300 kilograms

using the same Brusa electric motor. Reliability is going to be reached by simplification of both mechanical and electrical solutions. Optimization of the battery system and combination of glass and carbon-fibre reinforced plastic for the body will cause the most significant weight reduction.

The goal is to finish all dynamic events successfully. As we have powerful motor we have big expectations in gained position in charts too. The whole team is looking forward to the Silverstone adventure, so see you there!



**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

**Length/width/height/wheelbase**  
2750/1435/1135/1600mm

**Track (front/rear)**  
1230mm/1180mm

**Car Weight**  
290kg

**Weight Distribution**  
156kg/202kg

**Suspension**  
Double unequal length A-Arm. Pull rods on both axles. Horizontally (front) and vertically (rear) oriented spring and damper.

**Tyres** 205/510 R13 Continental

**Wheels** Al Rim Braid Formrace 7"x13"

**Brakes** 4 stainless steel full floating rotors. F-238,4pist.cal/R-220,2pist.cal

**Chassis** One piece steel tubular spaceframe. Frame is covered with combination of glass and carbon-fiber body

**Engine** Brusa - Hybrid Synchronous Motor HSM1-6.17.12 - CO1

**Bore/Stroke/Cylinders/cc**  
N/A

**Fuel** Electric

**Fuel System** High power Li-Po Battery, EVERWIN TECH CO., LP9244166HP. Rated voltage: 3.7V, Nominal capacity: 6100mAh

**Max Power/Max Torque**  
108 kW @ 4,800rpm/220 Nm @ 4,200rpm

**Transmission** Single 520 chain

**Differential** Drexler limited slip differential Formula Student

**Final Drive** 01:06.9

**POWER RPM (X1000)**



**FUEL**







**57**

**Figura 4.4: especificaciones técnicas de un vehículo de FS (fuente: Racecar Engineering).**

Los resultados de dicho estudio se han recogido en las Tablas 4.2 a 4.8, y se describen a continuación.

- a) De los 103 vehículos en los que se aporta el valor de la **relación potencia-peso**, la media de dicha razón estaba en 0,38 CV/kg, siendo el valor máximo de 1,05 CV/kg y el mínimo de 0,14 CV/kg. Los valores más frecuentes (7 vehículos cada uno) son 0,38 y 0,39 CV/kg.
- b) Entre los motores, se empleaban cerca del cuádruple de **motores de combustión interna** (86 motores, de los que 63 eran tetracilíndricos) que de eléctricos (23 vehículos), que en su mayoría eran de corriente alterna. Por primera vez se presentó un vehículo eléctrico alimentado por una célula de combustible de hidrógeno (PEMFC), así como un modelo híbrido.
- c) En cuanto a la unidad de control del motor (ECU), el modelo se detalla sólo en 19 vehículos, entre los cuales el fabricante más usado era DTA (8 vehículos). No es arriesgado suponer que la mayoría de los equipos que no especifican el modelo de su ECU mantuvieran la incorporada de serie en el motor.
- d) Entre los chasis prevalecían las **estructuras tubulares** (85 unidades), siendo el acero prácticamente el único material empleado en éstas (sólo dos estructuras tubulares eran de aluminio).

El material de las carrocerías, por lo general, no se detalla, tratándose de fibra de vidrio y fibra de carbono en los casos en los que se aporta dicha información.

La alternativa a las estructuras tubulares eran los monocascos de materiales compuestos, mayoritariamente fibra de carbono (CFRP).

14 vehículos montaban chasis mixtos, por lo general con un frontal de materiales compuestos y una estructura tubular en la mitad posterior. Los argumentos esgrimidos para justificar dicha elección son la consecución de un menor peso total y una accesibilidad al motor mejorada.

- e) En cuanto a la suspensión, los 110 vehículos presentaban amortiguación **independiente** con muelles y amortiguadores coaxiales. La conexión mangueta-chasis se hacía en 108 vehículos mediante **dobles triángulos**.

El conjunto muelle-amortiguador iba montado por lo general en el interior de la carrocería, y el fabricante se detalla sólo en 27 casos, siendo Öhlins el más frecuente entre éstos (13 vehículos).

Dado que sólo en cuatro casos no se detalla el método de conexión de los conjuntos muelle-amortiguador a los triángulos, se puede afirmar que el prevalente eran los mecanismos de balancín y barra de presión (*push rod*): se señala su uso en un total de 121 ejes, contando delanteros y traseros, frente a los 85 en los que se empleaban mecanismos con barras de tracción (*pull rod*). En los tres vehículos restantes se hacía una conexión directa.

El uso de barras estabilizadoras (*anti-roll/ anti-sway bars*) no estaba extendido: sólo 13 vehículos las montaban, y de éstos sólo 6 lo hacían en ambos ejes.

- f) Al menos 90 juegos de ruedas (esta información no se aporta en 8 casos) se componían parcial o totalmente de **aluminio**. Las alternativas a dicho material eran el magnesio, la fibra de carbono y el acero.

Aunque el diámetro de las ruedas no se especifica en seis casos, el más frecuente (87 vehículos) era de **13"**. El fabricante de neumáticos preferido (60 vehículos) es Hoosier, seguido de Avon (25 vehículos).

- g) En el apartado de los frenos apenas se detalla el material de los discos, entre los que prevalecen el acero (39 juegos) y el hierro (34 juegos).
- h) Los **diferenciales autoblocantes** son prácticamente la única opción elegida por los equipos. Los más empleados (53 vehículos) eran de discos de fricción. De éstos 48 eran de la marca Drexler. Les seguían los de engranajes helicoidales Quaife (17 unidades) y Torsen (13 unidades). Por su parte, 10 de los 23 vehículos eléctricos controlaban electrónicamente el reparto de par.

**Tabla 4.2: razones potencia-peso (CV/kg)**

Rango	0.10-0.19	0.20-0.29	0.30-0.39	0.40-0.49	0.50-0.59	0.60-...	N/E
Nº de vehículos	5	18	41	29	7	3	7

**Tabla 4.3: motores**

Combustión			Eléctrico			Híbrido
4 cil.	2 cil.	1 cil.	AC	DC	Célula Combustible	
63	9	14	16	6	1	1

**Tabla 4.4: chasis**

Tubular		Monocasco		Mixto
Acero	Aluminio	CFRP	Panel de Abeja Aluminio	
83	2	10	1	14

**Tabla 4.5: suspensiones**

Conexión mangueta-chasis		Conexión amortiguador-triángulo					N/E
Dobles triángulos	Otras	Directa	Push/Push	Push/Pull	Pull/Push	Pull/Pull	
108	2	3	43	14	21	25	4

**Tabla 4.6: ruedas**

Llantas						Diámetro			
N/E	Aluminio	Magnesio	CFRP	Acero	Mixtas	N/E	10"	13"	15"
8	75	6	3	3	15	6	15	87	2

**Tabla 4.7: frenos**

Discos					Pinzas		
Acero	Hierro	Aluminio	Otros	N/E	Wilwood	AP Racing	N/E
39	34	2	2	33	1	6	103

**Tabla 4.8: diferenciales**

Diferencia de par				Diferencia de velocidad		Electrónico	Otros
Discos fricción		Helicoidal		Viscoso			
Drexler	Otros	Quaife	Torsen				
48	5	17	13	1		10	16

Fuente de las tablas: Racecar Engineering y elaboración propia

#### 4.2.2.2. Rango de costes directos de producción

Tras estudiar por separado los componentes de los vehículos, se analizó la construcción de los mismos para estimar el coste de la más barata y el de la más cara, así como el de la más frecuente.

Para calcular cada estimación, se ha añadido al coste de los componentes arriba detallados el coste del resto de elementos de cada sistema, así como otros que hasta ahora no se han incluido en el análisis: dirección, asiento, cuadro de instrumentos etc.

Todos los valores usados se han extraído de las tablas de costes de la FSAE. En todos se han incluido los costes de los procesos y los resultados se han redondeado al múltiplo de 50 más cercano. Con dichos valores se ha calculado la estimación del coste directo de cada construcción. Las tres se describen a continuación.

- Llamativamente, **el tipo de construcción más frecuente consta de los componentes más frecuentes**: motor de combustión de 4 cilindros, chasis tubular de acero, suspensión de dobles triángulos, llantas de aluminio de 13", discos de freno de acero y diferencial de la marca Drexler. Calificamos de llamativa esta circunstancia porque no necesariamente tenía que darse.

El coste de esta construcción se ha estimado en 11.600 \$. Se ha hecho un desglose del mismo por sistemas, que se ofrece en la Tabla 4.9.

- El modelo con **menor coste de producción** resulta ser el presentado por el IIT de Madras (India). Lógicamente, reunía una gran cantidad de elementos de bajo coste: motor de combustión de 4 cilindros, ECU de serie, chasis tubular de acero y ruedas de 10" de acero, entre otros.

El coste de dicho vehículo se ha estimado en 10.700 \$. Su correspondiente desglose por sistemas viene dado en la Tabla 4.10.

- El monoplaza con el **mayor coste de producción** era el eléctrico de la Universidad de Delft (Países Bajos). La alta potencia que era capaz de desarrollar (112 kW) unida a su bajo peso (145 kg) indican el alto nivel de prestaciones tanto de los elementos montados como de los materiales empleados: un motor por rueda, baterías de litio, chasis monocasco de fibra de carbono, ruedas mixtas de aluminio y fibra de carbono etc.

El coste total de dicho vehículo se ha estimado en 24.050 \$. Puede verse su desglose por sistemas en la Tabla 4.11.

Por tanto, se tiene que el rango de costes de producción de los vehículos de la edición de 2012 se extendía **aproximadamente desde los 10.700 \$ hasta los 24.050 \$**, y que el coste más frecuente rondaba los 11.600 \$.

Puede observarse que en este mercado existe segmentación. Muchos de los equipos que desarrollan los modelos más caros lo hacen sin tratar de ser competitivos por el precio, sino con las miras puestas exclusivamente en las prestaciones y la innovación tecnológica. El coste de sus vehículos corresponde a la tecnología más puntera.

Como prueba de ello, puede verse la clasificación de todos los equipos del mundo en todos los eventos de los últimos 20 años en la página web <http://mazur-events.de/fs-world/> [17]. Dicha clasificación ha sido diseñada por diversos jueces y organizadores de las competiciones europeas.

**Tabla 4.9: desglose del coste directo del vehículo más frecuente**

<b>Sistema</b>	<b>Pieza</b>	<b>Coste (\$)</b>
Propulsión	Motor: 4 cilindros (incluye transmisión)	1.500
	Diferencial: Drexler	200
	Resto de piezas	900
<b>Total Propulsión</b>		<b>2.600</b>
Electrónica	ECU: de serie	600
	Cuadro de instrumentos: de serie	400
	Resto de piezas	300
<b>Total Electrónica</b>		<b>1.300</b>
Chasis y Carrocería	Chasis: tubular, acero	450
	Carrocería : fibra de vidrio	1.000
<b>Total Chasis y Carrocería</b>		<b>1.450</b>
Suspensión	Amortiguadores (4)	1.200
	Muelles (4)	100
	Resto de piezas	600
<b>Total Suspensión</b>		<b>1.900</b>
Dirección	Volante	100
	Cremallera	100
	Resto de piezas	50
<b>Total Dirección</b>		<b>250</b>
Frenos	Discos: acero (4)	150
	Pinzas (4)	900
	Zapatas (8)	150
	Resto de piezas	100
<b>Total Frenos</b>		<b>1.300</b>
Ruedas	Llantas: 13'', aluminio (4)	600
	Neumáticos (4)	500
	Resto de piezas	100
<b>Total Ruedas</b>		<b>1.200</b>
Interior	Asiento	1.450
	Cinturón de seguridad	50
	Resto de piezas	100
<b>Total Interior</b>		<b>1.600</b>
<b>Total Vehículo</b>		<b>11.600</b>

**Tabla 4.10: desglose del coste directo del vehículo más barato**

<b>Equipo: IIT Madras</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Pieza</b>	<b>Coste (\$)</b>
Propulsión	Motor: 4 cilindros (incluye transmisión)	1.500
	Diferencial: Quaife	250
	Resto de piezas	700
<b>Total Propulsión</b>		<b>2.450</b>
Electrónica	ECU: de serie	600
	Cuadro de instrumentos: de serie	400
	Resto de piezas	300
<b>Total Electrónica</b>		<b>1.300</b>
Chasis y Carrocería	Chasis: tubular, acero	450
	Carrocería: fibra de vidrio	1.000
<b>Total Chasis y Carrocería</b>		<b>1.450</b>
Suspensión	Amortiguadores (4)	1.000
	Muelles (4)	100
	Resto de piezas	600
<b>Total Suspensión</b>		<b>1.700</b>
Dirección	Volante	100
	Cremallera	100
	Resto de piezas	50
<b>Total Dirección</b>		<b>250</b>
Frenos	Discos: N/E – se suponen de acero (4)	150
	Pinzas (4)	900
	Zapatas (8)	150
	Resto de piezas	100
<b>Total Frenos</b>		<b>1.300</b>
Ruedas	Llantas: 13”, acero (4)	500
	Neumáticos (4)	500
	Resto de piezas	100
<b>Total Ruedas</b>		<b>1.100</b>
Interior	Asiento	1.000
	Cinturón de seguridad	50
	Resto de piezas	100
<b>Total Interior</b>		<b>1.150</b>
<b>Total Vehículo</b>		<b>10.700</b>

**Tabla 4.11: desglose del coste directo del vehículo más caro**

<b>Equipo: Delft UT</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Pieza</b>	<b>Coste (\$)</b>
Propulsión y Electrónica	Motor: eléctrico, 28 kW (4 uds.)	5.600
	Batería: iones de litio, electrolito polimérico, 4,2 kWh	2.500
	ECU: diseño propio	500
	Cuadro de instrumentos	1.000
	Resto de piezas	1.500
<b>Total Propulsión y Electrónica</b>		<b>11.100</b>
Chasis y Carrocería	Chasis: monocasco, CFRP	5.000
	Resto de piezas	500
<b>Total Chasis y Carrocería</b>		<b>5.500</b>
Suspensión	Amortiguadores (4)	1.200
	Muelles (4)	100
	Resto de piezas	800
<b>Total Suspensión</b>		<b>2.100</b>
Dirección	Volante	100
	Cremallera	100
	Resto de piezas	50
<b>Total Dirección</b>		<b>250</b>
Frenos	Discos (4)	150
	Pinzas (4)	1.000
	Zapatas (8)	200
	Resto de piezas	100
<b>Total Frenos</b>		<b>1.450</b>
Ruedas	Llantas: 10", aluminio y CFRP (4)	1.500
	Neumáticos (4)	400
	Resto de piezas	150
<b>Total Ruedas</b>		<b>2.050</b>
Interior	Asiento	1.450
	Cinturón de seguridad	50
	Resto de piezas	100
<b>Total Interior</b>		<b>1.600</b>
<b>Total Vehículo</b>		<b>24.050</b>

#### 4.2.2.3. Rango de precios y volúmenes de venta

En un mercado competitivo, como el que nos ocupa, el precio de venta del producto está relacionado con su demanda, por lo que no es posible fijarlo arbitrariamente con la única restricción de que sea superior al coste total.

Lo anterior contribuye a la precisión de nuestras estimaciones: asumiendo que en un mercado de estas características el precio de venta suele ser estar entre el 20 y 25% por encima de los costes directos del producto (según las Cuentas Anuales de distintos fabricantes, como Volkswagen España, Ford España, etc.) podemos aventurar que el rango de precios de venta estuviera comprendido **entre los 12.840 \$ y los 30.062 \$**. No obstante, en el caso del monoplaza Formula Student, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los volúmenes de producción son extraordinariamente bajos en comparación con los de un gran fabricante (suponiendo 500 monoplazas / año, frente a más de 200.000 para Volkswagen Polo, por ejemplo).
- Como consecuencia, los procesos productivos del monoplaza estarán menos automatizados, teniendo una mayor repercusión de la mano de obra directa, que además es más numerosa, en términos proporcionales, con respecto a una factoría automatizada.
- En el caso del caso empresarial del monoplaza, tal como se verá en el Capítulo 4, en el apartado dedicado al Ejercicio de Profundización (*Deep Dive Topic*), la infraestructura comercial y postventa es casi inexistente, por no formar parte del núcleo del negocio propuesto (*Core Business*).

Estas consideraciones ponen de manifiesto que la relación que se ha tomado entre los costes directos del monoplaza y el precio de venta es tan solo una cierta aproximación. Se recuerda que los costes calculados tienen en cuenta únicamente los precios de las piezas compradas, materiales y procesos.

Debe señalarse que el estudio del Plan de Empresa no es objeto del presente proyecto, tal como se indicó en el objeto del mismo. Se trata, por tanto, de hacer aquí tan solo unas estimaciones básicas.

En cuanto a los volúmenes de venta, en el enunciado del BLC se incluye una lista de puntos de la curva precio-demanda del mercado. Dicha lista se reproduce en la Tabla 4.12, y se ha representado gráficamente en la Figura 4.1. Nótese que el gráfico no mantiene la escala en el eje de abscisas.

Con los datos de dicha tabla se puede aproximar el volumen de ventas anuales correspondiente a cada monoplaza. Ya que en el enunciado del BLC se indica que los valores intermedios pueden aproximarse mediante interpolación lineal, se tiene que el volumen correspondiente al modelo de menor coste es de **925 unidades/año**, siendo de **74 unidades/año** para el más caro.

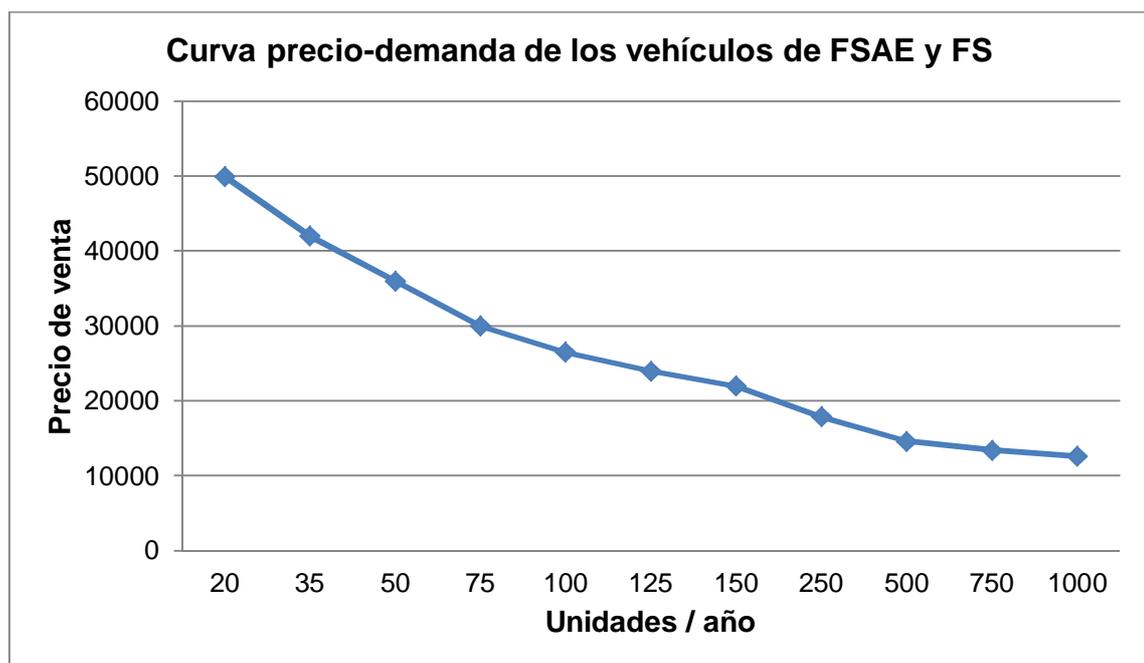
Análogamente, se puede estimar el precio una supuesta venta del vehículo de coste más frecuente en **14.500 \$**. A este precio correspondería a un posible volumen de ventas de **520 uds/año** (según Tabla 4.12).

#### 4.2.3. Consideración acerca de la fiabilidad de las propuestas

La fiabilidad y la durabilidad son un problema pendiente para cerca de la mitad de los competidores de FS. Como dato señalamos que en la edición de 2012 menos de la mitad de los vehículos completaron los 22 km del evento de resistencia. Similarmente, en la edición de 2011 sólo lo consiguieron el 55% de los monoplazas presentados. [7] [8]

**Tabla 4.12: curva precio-demanda de los vehículos de FSAE y FS (fuente: reglas)**

Volumen de ventas, Uds./año	Precio de venta, \$
20	50.000
35	42.000
50	36.000
75	30.000
100	26.500
125	24.000
150	22.000
250	17.900
500	14.600
750	13.400
1.000	12.600



**Figura 4.1**

### **4.3. ESTRATEGIA EMPRESARIAL**

Como ya se indicó en la Introducción, el desarrollo de la estrategia empresarial, con la correspondiente planificación estratégica y planes de acción, no forman parte del objeto de este proyecto. En este apartado se presenta las grandes directrices estratégicas de ARUS.

ARUS aspira a convertirse en un referente gracias a la relación calidad-precio de sus monoplazas. Para conseguirlo, se propone desarrollar vehículos asequibles, fiables, duraderos y energéticamente eficientes, compatibilizando estas características con unas prestaciones adecuadas para la competición (aceleración, maniobrabilidad etc.).

- Es objetivo de ARUS que sus vehículos sean asequibles dado que en su visión se encuentra la popularización de la FS.
- La fiabilidad es esencial en cualquier prueba, especialmente en las de resistencia, garantizando que el vehículo sea capaz de terminarlas. Téngase en cuenta la consideración hecha en el epígrafe 4.2.3 acerca de la fiabilidad.
- Con la durabilidad se persigue que el vehículo ofrezca una larga vida útil que maximice la satisfacción del consumidor.
- La eficiencia energética contribuye a minimizar la carga de combustible necesaria para las pruebas, y con ello el peso y el impacto medioambiental del vehículo.

### **4.4. ESTRATEGIA Y PRESTACIONES DEL VEHÍCULO**

A continuación se concretan los aspectos estratégicos del vehículo definidos en el apartado anterior:

- Asequibilidad: el precio de venta será inferior a 20.000 \$.
- Durabilidad: salvo en caso de accidente, los componentes no sujetos a desgaste (chasis, carrocería etc.) deberán ofrecer una vida útil de al menos 10 años.
- Eficiencia energética: su consumo de combustible será inferior a 0,15 l/km. Dicho valor se ha determinado teniendo en cuenta que se trata de un vehículo de competición.

Como se indicó en el objeto del proyecto, no forma parte del mismo el estudio RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) del diseño mediante

el cual se determinará de forma cuantitativa la fiabilidad de vehículo y de sus componentes.

En cuanto a las prestaciones del vehículo, los objetivos establecidos son los siguientes:

- Aceleración: presentará una razón potencia-peso superior a 0.35 CV/kg.
- Maniobrabilidad: deberá ser capaz de trazar curvas con un radio interior de 2 m.
- Estabilidad en curvas: deberá mantener la maniobrabilidad así como un funcionamiento normal al someterse a aceleraciones laterales inferiores a 2,5·g.
- Potencia de frenada: deberá ser capaz de detenerse en menos de 50 m partiendo de una velocidad de 100 km/h. Todos los componentes y sus sujeciones deberán soportar tal deceleración.
- Aerodinámica: la carrocería se diseñará para que el coeficiente de rozamiento del vehículo sea inferior a 0,80.

#### **4.5. PLANES DE DISEÑO Y FABRICACIÓN EFICIENTES**

En este apartado se describe el razonamiento seguido para elegir un diseño que permita alcanzar todos los objetivos estratégicos detallados anteriormente. Recordamos aquí que la filosofía del diseño del monoplaza se sustenta en cuatro pilares: bajo costo, alta durabilidad, alta fiabilidad y prestaciones deportivas.

El proceso ha consistido en evaluar, según dicha filosofía, las ventajas e inconvenientes de las opciones existentes para cada pieza. En la evaluación del objetivo de costos se utiliza un criterio cuantitativo, mientras que para los restantes objetivos los criterios son cualitativos.

El proceso es de naturaleza iterativa y consta de los siguientes pasos:

1. Se parte del diseño que establece las características técnicas de cada pieza.
2. Con estas características, empleando las tablas de costos, se determinan los costos totales de dicho diseño.
3. Se evalúa la compatibilidad del costo estimado en la iteración con la filosofía del vehículo.
4. En caso negativo, se modifican posibles características de la pieza y se efectúa una nueva iteración. Se procederá así hasta alcanzar el mejor equilibrio entre los objetivos perseguidos, tanto en la pieza como en el vehículo en su conjunto.

Como puede verse, los costos finales resultan determinados por el proceso que aquí se describe, por lo que debe señalarse que éste ha sido el procedimiento seguido para elaborar el Informe de Costes (Véase el Capítulo 5, apartado 5.1).

La opción definitiva elegida para cada pieza, así como sus ventajas y desventajas en comparación con otras opciones, se detallan a continuación. Asimismo, se presentan resumidas en la Tabla 4.13.

- Se ha elegido un motor de combustión, y, dentro de esta clase, uno de 4 cilindros porque, a pesar de ser la opción más pesada, presenta la mayor relación potencia-coste. Además, a pesar de su complejidad, el extendido uso de estos motores los hace altamente fiables. [7]
- La ECU elegida ha sido la MoTeC M400. Dicho modelo presenta un alto número de entradas y de salidas y por tanto es capaz de optimizar el rendimiento del motor en una amplia variedad de situaciones. Además, presenta una alta facilidad de programación, que reduce el riesgo de fallo humano durante la misma. Todas estas características explican su alto precio.
- La transmisión se hará mediante cadena. Esta opción, aunque requiere lubricación frecuente, es menos costosa y más ligera que una transmisión mediante juntas homocinéticas. Asimismo, es más fácilmente regulable y resiste mejor el calor que las correas dentadas.
- Se montará un diferencial autoblocante Quaife ATB (*Automatic Torque Biasing*) por tratarse de un modelo de altas prestaciones que no requiere mantenimiento y cuenta con una garantía de por vida. Estas características lo hacen más interesante para los objetivos de ARUS que el resto de opciones, incluidos los modelos específicos para FS de Drexler. [12] [13]
- El chasis será una estructura tubular de acero ya que es la opción menos costosa de fabricar, así como la más fácil de reparar en caso de accidente. Dado que se busca la asequibilidad del modelo, estas características compensan el mayor peso de esta opción frente a los monocascos de materiales compuestos.
- La carrocería se hará en fibra de vidrio para conseguir una relación resistencia-peso comparable a la de la fibra de carbono con un coste sensiblemente inferior.
- La suspensión será de dobles triángulos porque es el diseño que mejor permite ajustar el *camber*, el *caster* y el *toe* en todo el rango de movimiento de la rueda.
- Cada mangueta se fabricará mecanizando bloques individuales de aluminio para obtener un mínimo peso de la masa no suspendida del vehículo.

- Los bujes de las ruedas, así como las llantas, serán también de aluminio con el mismo propósito. Si bien el magnesio o la fibra de carbono son más ligeros que el aluminio, éste es menos costoso.
- Las ruedas tendrán un diámetro de 13" para permitir el uso de discos de freno anteriores de 267 mm de diámetro y de discos posteriores de 220 mm, todos de hierro.
- En el puesto de conducción se persigue la ergonomía, lo que justifica el uso de un acolchado de espuma en el asiento y la sustitución del cuadro de instrumentos original del motor por el cuadro AiM MyChron3 Plus.

**Tabla 4.13: componentes elegidos en la construcción del modelo**

Sistema	Componente	Elección	Ventajas	Desventajas
Propulsión	Motor	Suzuki GSX R600 k4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> <li>• Potencia</li> <li>• Fiabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> </ul>
	ECU	MoTeC M400	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad</li> <li>• Facilidad de programación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> </ul>
	Transmisión	Cadena	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> <li>• Facilidad de ajuste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere frecuente lubricación</li> </ul>
	Diferencial	Quaife ATB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> <li>• Prestaciones</li> <li>• Fiabilidad</li> <li>• No requiere mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> </ul>
Chasis	Chasis	Tubular, acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> <li>• Facilidad de reparación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> </ul>
	Carrocería	Fibra de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia-peso</li> <li>• Coste</li> </ul>	
Suspensión	Mangueta	Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> <li>• Peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de reparación</li> </ul>
	Barras	Dobles triángulos, acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libertad de diseño</li> <li>• Coste</li> <li>• Resistencia-peso</li> </ul>	
Frenos	Discos	Hierro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a las altas temperaturas</li> <li>• Conductividad térmica</li> <li>• Coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácilmente oxidable</li> </ul>
Ruedas	Llantas	13", aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio para alojar frenos</li> <li>• Peso</li> <li>• Coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de reparación</li> </ul>
	Bujes	Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso</li> <li>• Coste</li> </ul>	
Puesto de conducción	Asiento	Fibra de vidrio, espuma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia-peso</li> <li>• Ergonomía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> </ul>
	Cuadro de instrumentos	AiM MyChron3 Plus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad de la información mostrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste</li> </ul>

#### 4.6. EL EJERCICIO DE PROFUNDIZACIÓN

El ejercicio de profundización (Deep Dive Topic) planteado en la edición de 2013 de FS Spain solicita la definición de las siguientes tres políticas de relación con los clientes:

- Entrega del vehículo
- Contacto postventa con el cliente
- Tratamiento de la información recibida del cliente. Forma y duración.

El documento original que se ha elaborado para este fin se recoge en el Anexo I.

El ejercicio de profundización (Deep Dive Topic), de la presente edición española, no plantea, de forma explícita, el requisito de hacer el estudio del servicio de mantenimiento. Por esta razón, este estudio, no ha sido incluido en el Anexo I destinado al evento de la competición. Sin embargo, además de los tres aspectos de relación con el cliente, señalados para el Ejercicio de Profundización, el mantenimiento es otra de las principales necesidades del cliente. En este caso es especialmente importante, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo a las que se someterá al monoplaza.

Por todo lo anterior, se ha considerado importante hacer las consideraciones mínimas que a continuación se presentan, en relación con estas políticas.

Antes de definir las políticas a seguir, debe tenerse en cuenta que, dado lo minoritario de la producción y de la clientela, así como el objetivo de bajo costo marcado, no es posible atender este servicio de mantenimiento con una red propia. No obstante, Hay que considerar también que el cliente de este tipo de vehículos es un cliente “técnico”, bastante entendido y experimentado en la mecánica y otros aspectos de los vehículos de competición. Por todo ello, se plantea la siguiente política para la asistencia técnica postventa:

- Se concertará un acuerdo con talleres especializados existentes en la zona donde la empresa tenga algún cliente, de tal manera que el fabricante suministrará toda la información técnica y apoyo al taller. A cambio, el taller se beneficiará de un posible cliente.
- Se proveerá al cliente toda la información técnica necesaria para el mantenimiento.
- Tanto el cliente como el taller podrán solicitar repuestos y consejos técnicos a fábrica.
- Como el principal negocio no será la venta de repuestos sino la fabricación e investigación en vehículos de competición, se facilitará al cliente y a los talleres concertados información sobre los proveedores de repuestos no específicos que existan en la zona.

Como ya se ha señalado, una vez comentada esta “cuestión extra” que no pide explícitamente el Ejercicio de Profundización, se remite al lector al Anexo I.

## **5. INFORME DE COSTES Y EJERCICIO SUPLEMENTARIO**

Se presentan, a continuación, dos documentos elaborados por el autor del presente proyecto: El informe de costes (recogido en el Anexo II) y el ejercicio suplementario. Ambos documentos fueron expuestos por el autor que suscribe en el evento de costes de la competición Fórmula Student España 2013, celebrada en Montmeló (Barcelona) entre el 29 de agosto y el 1 de septiembre de dicho año.

### **5.1. EL INFORME DE COSTES**

El informe de costes se preparó partiendo del diseño de las cerca de 150 piezas que componen el monoplaça. Tiene la estructura detallada en el Capítulo 3 y, como se señala en el mismo, los costes de cada pieza, cada subsistema y cada sistema se presentan descompuestos en coste de materiales, coste de procesos, coste de sujeciones y coste de útiles específicos.

El cálculo de los costos de cada componente del vehículo se ha hecho teniendo en cuenta las reglas según se detalla en Capítulo 3.

Los componentes enumerados en el informe, así como sus costes, son el resultado de aplicar el proceso de selección diseñado por el autor de este proyecto para este fin. Esta metodología o proceso involucra a los cuatro pilares en que se basa la filosofía del diseño del monoplaça (bajo costo, alta durabilidad, alta fiabilidad y prestaciones deportivas), ya que no es posible calcular el costo sin tener en cuenta los otros tres factores, de lo contrario se alteraría el objetivo estratégico de vehículo a diseñar. Por tanto, el cálculo de

costos afecta al diseño final de detalle, a través del proceso iterativo establecido. Las principales características del diseño se indican en el apartado 4.5 del presente documento (donde también se ha hecho referencia a esta metodología).

A título recordatorio se describe a continuación, de forma breve, la metodología para el cálculo de costes (se presentó en el apartado 4.5, al ser común al diseño de detalle del vehículo, para el cumplimiento de la estrategia del mismo y al cálculo de costes),

El proceso parte, para cada pieza, de lo establecido por el equipo de técnicos responsable de cada sistema del vehículo, en coordinación con los restantes sistemas. Cuando, para una pieza, existen diversas opciones, con diferentes costos, se evalúan sus ventajas e inconvenientes según la filosofía (estrategia) del vehículo. En la evaluación del objetivo de costos se utiliza un criterio cuantitativo, mientras que para los otros tres objetivos los criterios son cualitativos.

El proceso es de naturaleza iterativa y consta de los siguientes pasos (en la Figura 5.1 se ilustra de forma gráfica):

1. Se parte del diseño que establece las características técnicas de cada pieza.
2. Con estas características, empleando las tablas de costos, se determinan los costos totales de dicho diseño.
3. Se evalúa la compatibilidad del costo estimado en la iteración con la filosofía del vehículo.
4. En caso negativo, se modifican posibles características de la pieza y se efectúa una nueva iteración. Se procederá así hasta alcanzar el mejor equilibrio entre los objetivos perseguidos, tanto en la pieza como en el vehículo en su conjunto.

Como puede verse, los costos finales resultan determinados por el proceso que aquí se describe.

El informe completo de costes, resultado de la metodología citada, se recoge en el Anexo II. En la hoja de costes correspondiente a cada pieza comprada, si es éste el caso, se incluyen su marca y modelo.

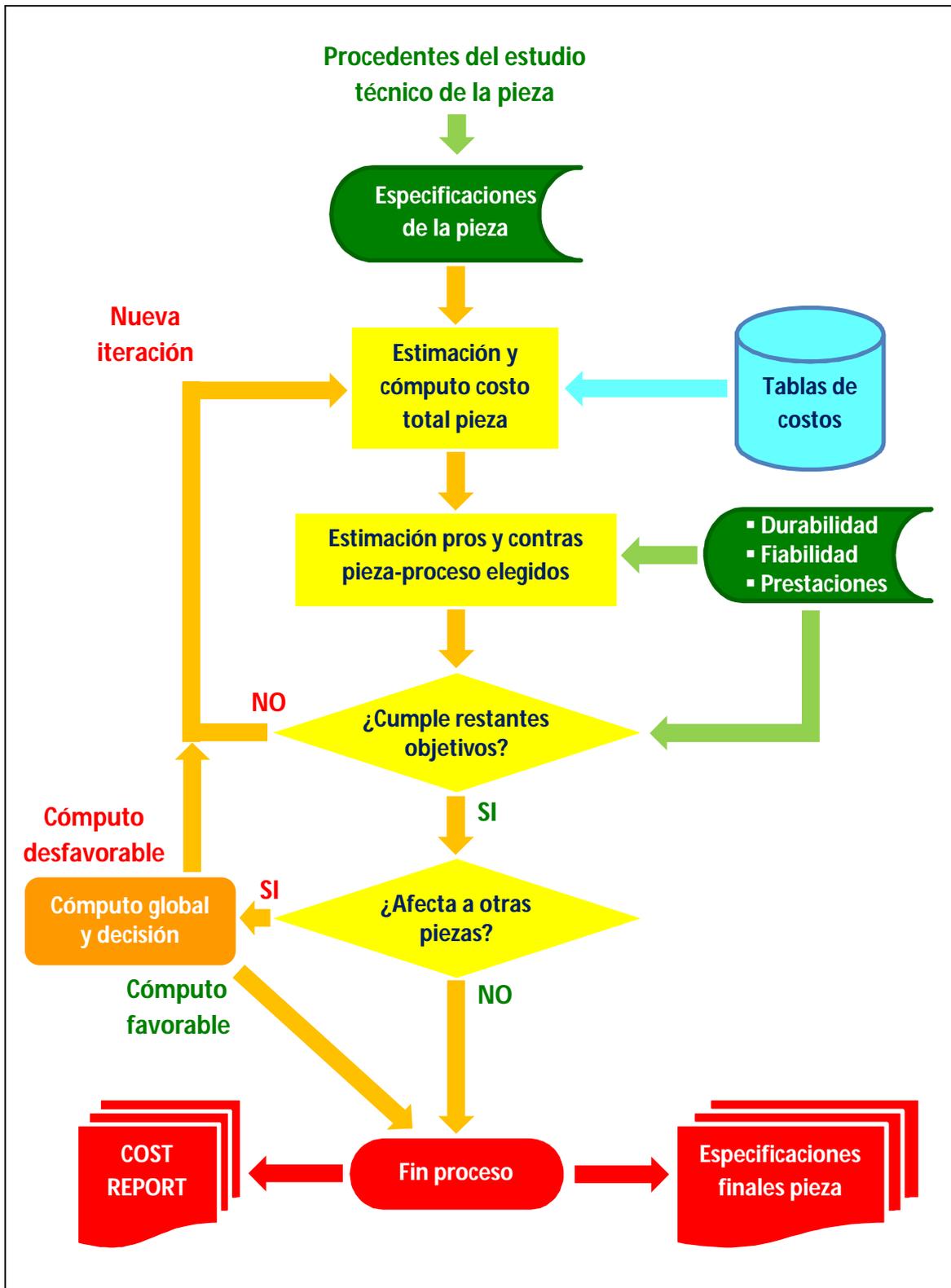


Figura 5.1: Proceso de determinación de los costes de cada pieza (Fuente y elaboración propias)

## **5.2. EL EJERCICIO SUPLEMENTARIO**

Como se indicó en el Capítulo 2, el ejercicio suplementario consiste en resolver un problema relacionado con el coste y/o la fabricación del monoplaza. Suele plantearse a los equipos con un mes de antelación a la celebración de la competición.

El enunciado del ejercicio suplementario (Cost Special Task) planteado en la FS España 2013 es un supuesto de carta, en la que unos hipotéticos inversores requieren la reducción del coste del vehículo en un 15%, indicándose que los únicos sistemas sujetos a posibles modificaciones deben ser el de propulsión, el chasis y la carrocería.

Dada la disparidad de funciones, características y costes de las piezas susceptibles de modificarse, se ha decidido desarrollar una metodología para la selección de las mismas, que permita no sólo reducir el coste del vehículo, sino determinar la repercusión del mismo en el concepto del vehículo, con objeto de afectar lo menos posible a sus prestaciones y demás características, en las decisiones adoptadas.

### **5.2.1. Metodología para el Ejercicio Suplementario**

Para diseñar la metodología, se ha considerado la filosofía empleada en los estudios de criticidad, en lo concerniente a las consecuencias de las pérdidas funcionales.

La metodología diseñada consta de los siguientes pasos:

1. Determinar las piezas que efectivamente puedan modificarse en cada sistema para reducir costos. Dado que el coste asignado a determinadas piezas en la tabla de materiales es fijo, modificar dichas piezas no tendría repercusión en el coste del vehículo.
2. Para las piezas que permitan reducción de costos, se estudian las repercusiones de cada posible modificación en los siguientes cinco aspectos del vehículo:
  - coste
  - seguridad
  - emisiones
  - fiabilidad
  - prestaciones
3. Decidir, en función de dicho análisis, qué piezas modificar.

En el paso 2, los cinco aspectos enumerados se emplearán como criterios de decisión jerarquizados y sucesivamente eliminatorios. Es decir, sólo si las implicaciones en el coste resultan interesantes se procederá a estudiar las implicaciones en la seguridad, y así sucesivamente con los demás criterios. Véase la aclaración acerca de las escalas de gradación hecha más adelante.

El orden elegido prioriza las repercusiones en el coste por ser éstas lo solicitado en el enunciado. Le siguen las repercusiones en la seguridad y en las emisiones por ser aspectos cuya variación puede resultar inadmisibles. Las repercusiones en la fiabilidad y en las prestaciones se estudian en último lugar, con este orden de prioridad, porque condicionan el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos del vehículo. La inadmisibilidad de alguno de los factores citados hará descartar la modificación de la pieza, eliminando la necesidad de estudiar el resto de los mismos.

Para evaluar las repercusiones de una modificación en cada uno de los aspectos señalados en el paso 2, se clasifican según las siguientes escalas:

- Repercusión en el coste:
  - 0-50 \$: Despreciable
  - 51-100 \$: Baja
  - 101-500 \$: Media
  - 501-... \$: Alta
  
- Repercusión en la seguridad: la escala será cualitativa, con la siguiente gradación:
  - Sin repercusiones
  - Baja
  - Media
  - Inaceptable
  
- Repercusión en las emisiones: la escala será cualitativa y contará con la siguiente gradación:
  - Sin repercusiones
  - Baja
  - Media
  - Inaceptable
  
- Repercusión en la fiabilidad: la escala será cualitativa y contará con la siguiente gradación:
  - Sin repercusiones
  - Baja
  - Media
  - Alta

- Repercusión en las prestaciones: la escala será cualitativa y contará con la siguiente gradación:
  - Sin repercusiones
  - Baja
  - Media
  - Alta

### **5.2.2. Resultados**

La metodología expuesta se aplicó con éxito al vehículo diseñado por ARUS. Los resultados se exponen en la página siguiente.

# Cost Report Presentation

## Special Task

Original Cost ..... \$ 12,571.87

Target Cost (-15%) ..... \$ 10,686.09

Target Cost Reduction ..... \$ 1,885.78

### Procedure for Decision Making

#### Decision Criteria



SYSTEM	ASSEMBLY	MODIFIABLE PARTS	IMPLICATIONS					MODIFIED YES / NO	OBSERVATIONS
			COST	SAFETY	EMISSIONS	RELIABILITY	PERFORMANCE		
ENGINE AND DRIVETRAIN	FUEL ASMB.	TANK	NEGLIGIBLE					NO	
	AIR INTAKE	THROTTLE BODY MANIFOLD MANIF. GASKET	NEGLIGIBLE					NO	
	ENGINE ASMB.	ENGINE						NO	MODIFICATIONS WOULD AFFECT CAR'S PHILOSOPHY
		ECU	HIGH	NO	HIGH	LOW	MEDIUM	YES	EASE OF PROGRAMMING WOULD SUFFER
	COOLING	NONE						NO	
	EXHAUST	HEADERS COLLECTORS MUFFLER	NEGLIGIBLE					NO	
	DRIVETRAIN	SPROCKETS DIFFERENTIAL	LOW					NO	
FRAME & BODY	FRAME	NONE	NEGLIGIBLE	UNACCEPTABLE				NO	MODIFICATIONS WOULD AFFECT SAFETY AND PERFORMANCE
	BODY	NOSE CONE	MEDIUM	MEDIUM	NO	LOW	LOW	NO	RISK OF INTRUSIONS WOULD INCREASE
		LEFT PANEL	MEDIUM	LOW	NO	LOW	LOW	YES	
		RIGHT PANEL	MEDIUM	LOW	NO	LOW	LOW	YES	
		ENGINE HOOD	MEDIUM	LOW	NO	LOW	LOW	YES	
FLOOR PAN	MEDIUM	LOW	NO	LOW	LOW	YES			

COST IMPLICATIONS GRADING      BELOW \$50: NEGLIGIBLE      \$ 51—100: LOW      \$ 101—500: MEDIUM      OVER \$500: HIGH

### Cost Reduction

SYSTEM	PART	ORIGINAL CHARACTERISTICS	CHARACTERISTICS AFTER MODIFICATION	ORIGINAL COST	COST AFTER MODIFICATION	COST REDUCTION
ENGINE & DRIVETRAIN	ECU	MoTeC M400	Dynojet Power Commander	\$ 1,615.00	\$ 175.00	\$ 1,440.00
FRAME & BODY	LEFT SIDE PANEL	3-ply glass fiber	ABS plastic	\$ 163.99	\$ 52.00	\$ 111.99
	RIGHT SIDE PANEL	3-ply glass fiber	ABS plastic	\$ 163.99	\$ 52.00	\$ 111.99
	ENGINE HOOD	3-ply glass fiber	ABS plastic	\$ 171.01	\$ 55.79	\$ 115.22
	FLOOR PAN	Honeycomb cardboard & 4-ply carbon fiber	3-ply glass fiber	\$ 786.19	\$ 541.53	\$ 244.66
<b>TOTAL COST REDUCTION</b>					<b>\$ 2,023.86</b>	

## 6. LÍNEAS DE DESARROLLO FUTURO

6.1 Realización de un Plan de Empresa completo. En el presente proyecto únicamente se ha abordado la visión del negocio y los aspectos directa e inmediatamente relacionados con la misma, particularmente en lo tocante a la estrategia del vehículo y su situación en el mercado. Para la realización de este nuevo trabajo, se partiría de la memoria del estudio “Business Logic Case”. Este nuevo proyecto extendería, además, lo que se ha consignado en el estudio “Deep Dive Topic” y los comentarios generales realizados en la memoria del mismo

Este nuevo proyecto abarcaría, entre otros, y sin ánimo de ser exhaustivos, la estrategia comercial, así como la composición de la estructura completa de costos empresariales, que no han formado parte del objeto del presente proyecto.

6.2 Proyectos tecnológicos, teóricos y prácticos (túnel de viento, ensayos destructivos y no destructivos, etc.), de los distintos sistemas del vehículo.

6.3 Proyecto RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) del diseño mediante el cual se determinará de forma cuantitativa la fiabilidad de vehículo y de sus componentes. Este importante aspecto depende de forma directa de los elementos elegidos en la etapa de diseño, de los procesos y de la topología estructural y funcional (posibles redundancias activas o pasivas, ubicaciones, etc.). Este proyecto está directamente relacionado con los de diseño de los distintos sistemas del vehículo citados en el punto anterior.

6.4 Proyecto del sistema productivo (maquinaria, instalaciones, etc.). Este proyecto está directamente relacionado con los de los sistemas tecnológicos del vehículo y con el de Plan de Empresa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] 2013 Formula SAE Rules. SAE International.
- [2] 2013 Formula Student Spain Rules.
- [3] Colla, David A (editor). *Automotive engineering. Powertrain, Chassis system and Vehicle body*. Elsevier, 2009.
- [4] Ocaña, O. *Tratado del automóvil*. Dossat. Madrid 2001.
- [5] Omar, Mohammed A. *The automotive body manufacturing systems and processes*. Wiley & Sons Ltd. Sussex, 2011.
- [6] Orovio Astillo, M. *Tecnología del automóvil*. Paraninfo. Madrid, 2010.
- [7] Racecar Engineering, Vol. 22, Nº 9. Septiembre 2012.
- [8] Racecar Engineering, Vol. 21, Nº 9. Septiembre 2011.
- [9] FS Magazine. Racecar Engineering, 2012.
- [10] Royce, M., Royce, S. et al. *Learn and Compete. A primer for Formula SAE, Formula Student and Formula Hybrid Teams*. Editor: William Kimberley. Racecar Graphic Limited. Londres, 2012.

### ENLACES

- [11] Página web del fabricante de vehículos de carreras US Legends Cars International:  
<http://www.uslegendcars.com/>
- [12] Página web del fabricante de componentes de automoción Quaife:  
<http://quaife.co.uk/differentials>
- [13] Página web del fabricante de componentes de automoción Drexler:  
<http://drexler-motorsport.eu/page/de/drexler-motorsport.php>
- [14] Página web del equipo DUT Racing de la Universidad de Delft:  
<http://dutracing.tudelft.nl/>
- [15] Página web del equipo Delta Racing de la Hochschule Mannheim:  
<http://www.delta-racing.de/>

[16]Página web del equipo AMZ de la ETH Zürich:

<http://www.amzracing.ch/>

[17]Página web de la clasificación mundial de los equipos:

<http://mazur-events.de/fs-world/>