



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MONOPLAZAS FSAE EN SERIE

Autor: Rafael García Domínguez

Madrid

Julio 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. RAFAEL GARCÍA DOMÍNGUEZ

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE NGNORAZAS BAE EN SERIE.

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 12 de Julio de 2018

ACEPTA

Fdo.....


Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE
MONOPLAZAS FSAE EN SERIE

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico ...17/18... 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.: Rafael García Domínguez

Fecha: 12/7/18

Autorizada la entrega del proyecto

LA COORDINADORA DEL PROYECTO



Fdo.: Eva María Arenas Pinilla Fecha: 12/7/18

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MONOPLAZAS FSAE EN SERIE

Autor: García Domínguez, Rafael

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

Para la competición Formula Student, el equipo de la Universidad, ICAI Speed Club (ISC), necesita desarrollar un modelo de negocio sobre la producción de monoplasas eléctricos en serie. Para ello se lleva a cabo el análisis del proceso de fabricación y el modelo de venta del producto.

Este Proyecto Fin de Grado consiste en el desarrollo de dicho modelo de negocio a través de la creación de un sistema de apoyo a decisiones para optimizar la producción de los monoplasa. Para la creación de este modelo se llevan a cabo dos procesos. El primero, de investigación y diseño de la base de datos del modelo y el segundo, el diseño del sistema de programación lineal del que se obtienen los resultados óptimos que propone el sistema.

BASE DE DATOS

El modelo de negocio de la empresa cuya actividad es la de fabricar monoplasas para su posterior venta se centra en dos pilares, el proceso de producción y el proceso de venta y marketing.

A pesar de esto, el primer paso a realizar cuando se habla de un negocio cuyo producto es nuevo en el mercado es un análisis de mercado. El producto en cuestión es un monoplasa eléctrico con características similares a las de un kart por eso se decide enfocar este análisis desde tres puntos de vista: crecimiento de los vehículos eléctricos, estudio de las modalidades de Karting y Fórmula 4, y, por último, investigación sobre la FormulaE¹. Con los datos obtenidos en la investigación se estima el máximo número de

¹ Modalidad similar a la Fórmula 1 pero con monoplasas eléctricos.

monoplazas que se pueden vender cada año en el mercado, este estudio queda reflejado con más detalle en el apartado 4.5 de esta memoria.

Una vez hecho el estudio de mercado se analiza en detalle la parte más importante del modelo de negocio, el proceso de fabricación de los monoplazas. En este apartado se analiza el método de fabricación, materiales y maquinaria asociados a las piezas que tienen mayor relevancia en el proceso.

Se empieza por el chasis, cuya fabricación consta de dos partes muy diferenciadas, un proceso de corte de perfiles tubulares, seguido de un proceso de soldadura. En primer lugar, se tiene que escoger el acero de los perfiles tubulares que van a formar el chasis. Para su elección se busca un acero que sea fácilmente soldable, y tenga la mejor relación densidad-precio-límite elástico. Se comparan los distintos tipos de corte de perfiles tubulares y de soldadura de estos para elegir cuál se adapta mejor a las condiciones que se necesitan. Los procesos de corte que se estudian requieren de una maquinaria de coste elevado por lo que también se plantea la posibilidad de externalizar la fabricación del chasis. Las decisiones que se han tomado en torno al chasis se encuentran de forma detallada en el apartado 4.3.1 de esta memoria.

La segunda pieza que se estudia son los triángulos de la suspensión. Esta pieza va unida al chasis a través de rótulas, lo que hace que precisen el uso de la fresadora o el taladro para alcanzar las tolerancias del rodamiento, debido a su utilización en otras piezas del monoplaza se decide optar por una fresadora. Además, los triángulos soportan mayores esfuerzos que los del chasis por lo que se tiene que estudiar el acero a emplear en su fabricación. Al igual que se hizo con el chasis, el acero debe de ser soldable y se escoge aquel que, superando el límite elástico de 350 MPa, tiene el menor precio, ya que en este caso la diferencia en la densidad no es relevante. El apartado 4.3.2 contiene todos los cálculos y decisiones que se han llevado a cabo en torno a la fabricación de los triángulos.

En el apartado 4.3.3 se realiza el estudio sobre la mangueta. Esta pieza se puede fabricar mediante dos métodos de fabricación muy distintos, la fundición y el mecanizado. En el caso del mecanizado por su difícil geometría debería de fabricarse mediante el uso de máquinas de control numérico. Ambos procesos necesitan de una maquinaria de coste elevado por lo que se plantea una posible externalización de la fabricación. En lo que respecta a los materiales, la pieza precisa de un límite elástico superior a 300MPa y se debe estudiar su comportamiento ante un proceso de mecanizado.

Los bujes, delantero y trasero son las últimas piezas que se estudian en detenimiento debido a que su fabricación precisa de cierta atención. Son las piezas que tienen el proceso de torneado más complejo. Además, se añade a esto que el buje trasero, necesita de la fabricación de un estriado mediante el proceso de electroerosión. En el apartado 4.3.4 se encuentran las hojas de operaciones donde se muestran con detalle el proceso de mecanizado que se debe seguir en la fabricación de ambas piezas.

A continuación, se analizan los eventos donde se van a buscar inversión y clientes para el producto. Se decide participar en eventos de automoción a nivel español y europeo. Además de participar en carreras amateur a nivel nacional para probar el producto y darlo a conocer en el mundo de la competición donde se pretende consolidar como futura categoría inferior de la ya conocida Formula E.

Para acabar con el proceso de fabricación se realiza una investigación acerca del salario del personal en la industria de la automoción y de las infraestructuras necesarias para realizar el proceso.

SISTEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Una vez estudiados y analizados todos los datos que conforman la base de datos del sistema de apoyo, el segundo paso para realizar el modelo es el diseño de un sistema de programación lineal con el que obtener para distintos casos que se planteen la fabricación óptima de coches cada año y el precio de venta de estos.

Para la creación del sistema se tienen que definir:

- Función Objetivo: Maximizar la producción.
- Variable de entrada: Presupuesto máximo
- Restricciones:
 - o Estudio de mercado (máximo número de coches que vender cada año)
 - o Reglas Competición (vender un mínimo de 1000 coches en 5 años)
 - o Capacidad de Personal (máxima capacidad del personal contratado)
 - o Capacidad maquinaria (máxima capacidad de las máquinas)
 - o Costes (coste variable unitario \times N° coches + Costes Fijos)

Cuando el sistema está diseñado se aplica para conocer el número óptimo de coches que se deben fabricar cada año según el modelo creado. Para validar el modelo y tener una visión más amplia de la aplicación de este se ejecuta en tres casos distintos.

- a) Presupuesto= 30 millones de euros
- b) Presupuesto=40 millones de euros
- c) Presupuesto=50 millones de euros

Las soluciones que devuelve la herramienta SOLVER de Microsoft Excel en la que se ejecuta el sistema de programación lineal se muestran con detalle en el capítulo 5 de esta memoria.

El sistema en cada caso nos sombrea las restricciones que actúan y por tanto limitan la producción en cada caso.

Con los datos de fabricación que se obtienen en el sistema aplicando el margen de beneficio que se quiere sacar en cada año se obtiene el precio de venta óptimo de los monoplaza. En este caso la variable de entrada es el margen de beneficio que en función de su valor el sistema nos devuelve un precio óptimo u otro.

Con estos datos se realizan las conclusiones del capítulo 6 y último de esta memoria donde además se citan otras aplicaciones posibles al sistema creado.

FSAE RACING-CAR MANUFACTURE OPTIMIZATION

Author: García Domínguez, Rafael

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

For the Formula Student competition, the team of the University, ICAI Speed Club (ISC), needs to develop a business model focused on the production of serially electric single-seaters. For this reason, it is necessary to clarify why, indeed, it is a good business, due to its manufacturing process and the product's sales model.

This Final Degree Project consists of the development of the aforementioned business model through the creation of a support system for the optimization of the production of the cars. For the creation of this model, two processes are carried out. One of them involving the previous research and design of the model database and the other one, the design of the linear programming system of the optimal results proposed by the system.

DATABASE

The business model of the company whose goal is to manufacture single-seaters, in order to later sell them, is mainly focused on two parts: the production process and the sales and marketing process.

In spite of this, the first step to take when talking about a business whose product is new to the market is, always, a market analysis. In this case, the product is an electric car with similar characteristics to those of a kart, which is why it was decided to focus on market analysis from three different points of view: electric vehicles study, study of karting modalities and formula4, and, finally, research about the new FormulaE. With the data obtained in this investigation, we have an estimation of the maximum number of single-

seaters that can be sold each year in the market, which is reflected in detail in section 4.2 of this report.

Once the market study is done, the manufacturing process of the cars is analyzed in detail. In this section, we analyze the manufacturing method, materials and machinery related to the pieces that have the most relevance in the process.

It all begins with the chassis, whose manufacturing consists of two very different parts, a process of cutting tubular profiles, followed by a welding process. First of all, you have to choose the steel of the tubular profiles that will form the chassis. In order to make the choice, we look for a steel that is easily weldable, and has the best elastic density-price-limit ratio. Later on, the different types of cutting of tubular profiles and welding of these are compared so as to choose which one best suits the conditions required. The cutting processes that are studied require high-cost machinery, which also raises the possibility of outsourcing the manufacture of the chassis. The decisions that have been taken around the chassis are detailed in section 4.3.1 of this report.

After that, the second part studied is the triangles of the suspension. This piece is attached to the chassis through ball joints, which means that they require the use of the milling machine or the drill to reach the tolerances of the bearing, and due to its use in other parts of the car, the final decision is a milling machine. In addition to this, the triangles support greater efforts than those of the chassis, so the steel to be used in their manufacture must be studied. The same way it was done with the chassis, the steel must be weldable so the choice would be the steel which, exceeding the elastic limit of 350 MPa, has the lowest price, since in this case the difference in density is not relevant. Section 4.3.2 contains all the calculations and decisions that have been made regarding the manufacturing of the triangles.

In the section 4.3.3 the study of the stub is carried out. This piece can be manufactured by two very different manufacturing methods, casting or machining. In the case of machining, given its difficult geometry, it should be manufactured through the use of numerical control machines. Both processes require high-cost machinery, so there is a possible outsourcing of manufacturing. As far as materials are concerned, the precise piece of an elastic limit superior to 300MPa and its behavior must be studied before a machining process.

The bushings, front and rear are the last pieces that are studied in detail because their manufacture requires great attention. First of all, we will find the parts that are manufactured by lathe which involve a greater manufacturing process and therefore a longer manufacturing period. Additionally, the rear hub requires the manufacture of a fluted by the process of EDM. In section 4.3.4 of this report, the machining process that must be followed in the manufacture of both parts is shown in detail.

Next, we analyze the events where investment and customers for the product are searched. Therefore, the decision to participate in automotive events at Spanish and European level is taken, including participation in amateur races nationwide to test the product and make it well-known in the world of competition where it is intended to consolidate as a future lower category of the already known Formula E.

To finish the manufacturing process, an investigation is made about the staff salary in the automotive industry and the infrastructures required to carry out the process.

LINEAR PROGRAMMING SYSTEM

Once studied and analyzed all the data that make up the database of the support system, the second step to make the model is the design of a linear programming system that will guarantee, in different scenarios that may arise, the optimal manufacturing of cars each year and its sale price.

For the creation of the system you have to define:

- Objective function: Maximize production.
- Input variable: Maximum Budget
- Restrictions:
 - o Market study (maximum number of cars to sell each year)
 - o Competition Rules (the goal to sell a minimum of 1000 cars in 5 years)
 - o Staff Capacity (maximum capacity of hired staff)
 - o Machinery capacity (maximum capacity of the machines)
 - o Costs (unit variable cost \times Cars No. + Fixed Costs)

When the system is designed, it is applied to know the optimal number of cars that must be manufactured each year according to the model created. To validate the model and have a broader view of its application, it is executed in three different cases:

- a) Budget = 30 million euros
- b) Budget = 40 million euros
- c) Budget = 50 million euros

The solutions returned by the Microsoft Excel SOLVER tool in which the linear programming system is executed are shown in detail in chapter 5 of this report.

The system in each case highlights the restrictions that act and therefore limit production in each case.

With the manufacturing data obtained in the system by applying the profit margin that you want to take out in each year, you get the optimal sale price of the cars. In this case,

the input variable is the profit margin and, based on its value, the system returns an optimal price or another.

In light of the aforementioned data, the conclusions are made in chapter 6 and last of this report, where other possible applications to the created system are mentioned.

ÍNDICE CONTENIDO

ÍNDICE CONTENIDO.....	1
ÍNDICE ILUSTRACIONES	9
ÍNDICE TABLAS.....	11
1.CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	15
1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	16
2. CAPÍTULO 2: ENTORNO DEL PROYECTO.....	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 FORMULA STUDENT.....	19
2.3 HISTORIA DE LOS SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES (DSS).....	23
2.3.1 <i>Evolución en las aplicaciones de los sistemas de soporte a decisiones</i>	23
2.4 CONCLUSIONES.....	24
3. CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	25
3.1 INTRODUCCIÓN	25
3.2 MODELOS DE DECISIÓN	25
3.2.1 <i>QUÉ SON</i>	25
3.2.2 <i>FUNCIÓNES</i>	27
3.2.3 <i>TIPOS DE SISTEMAS DE DECISIÓN</i>	28
3.3 PROCESOS DE FABRICACIÓN	30
3.3.1 <i>SIN PÉRDIDA DE MATERIAL</i>	31
3.3.1.1 Fundición	31
3.3.1.2 Deformación.....	33
3.3.2 <i>CON PÉRDIDA DE MATERIAL</i>	34
3.3.2.1 Torneado	34
3.3.2.2 Fresado	37
3.3.2.3 Taladrado.....	37
3.3.2.4 Mecanizado por corte láser	38
3.3.2.5 Mecanizado por Electroerosión.....	39
3.3.2.6 Proceso de mecanizado	40

3.3.3 UNIÓN DE PIEZAS	42
3.4 SELECCIÓN DE MATERIALES	46
4. CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES.	51
4.1 INTRODUCCIÓN	51
4.2 ANÁLISIS DE MERCADO	51
4.2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	52
4.2.2 KART & FORMULA 4	58
4.2.2.1 Karting Competición	59
4.2.2.2 Karting como negocio	60
4.2.2.3 Fórmula 4	62
4.2.3 FORMULA E	63
4.3 FABRICACIÓN	65
4.3.1 CHASIS	67
4.3.1.1 Materiales.....	68
4.3.1.1.1 Cálculos.....	72
4.3.1.1.2 Decisión	74
4.3.1.2 Método de Fabricación.....	75
4.3.1.2.1 Decisión	77
4.3.1.3 Maquinaria	77
4.3.1.3.1 Decisión	79
4.3.2 TRIÁNGULOS DE SUSPENSIÓN.....	81
4.3.2.1 Materiales.....	81
4.3.2.1.1 Cálculos.....	83
4.3.2.1.2 Decisión	84
4.3.2.2 Método de Fabricación.....	84
4.3.2.3 Maquinaria	84
4.3.3 Mangueta.....	85
4.3.3.1 Método de Fabricación.....	85
4.3.3.1.1 Decisión	86
4.3.3.2 Materiales.....	86
4.3.3.2.1 Decisión	91
4.3.3.3 Maquinaria	92
4.3.4 Bujes.....	94
4.3.4.1 Método de Fabricación.....	94
4.3.4.2 Materiales.....	94
4.3.4.2.1 Cálculos.....	97
4.3.4.2.2 Decisión	97

4.3.4.3 Maquinaria	98
4.3.4.3.1 Cálculos.....	99
4.3.5 Otras piezas	104
4.4 ESTRATEGIA DE MARKETING.....	105
4.4.1 <i>CLIENTES POTENCIALES</i>	105
4.4.1.1 Decisión	107
4.4.2 <i>DÓNDE VENDER</i>	108
4.4.2.1 Decisión	108
4.4.2.1.1 Ferias Automoción.....	109
4.4.2.1.2 Carreras Amateur	110
4.4.2.1.3 Eventos Privados.....	110
4.4.3 <i>CANTIDAD</i>	111
4.5 CONCLUSIÓN	112
5.CAPÍTULO 5: APLICACIONES DEL SISTEMA DE APOYO A DECISIONES.	115
5.1 INTRODUCCIÓN	115
5.2 SISTEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL	115
5.2.1 <i>FUNCIÓN OBJETIVO</i>	116
5.2.2 <i>RESTRICCIONES</i>	117
5.2.2.1 Estudio de mercado y reglas competición.....	120
5.2.2.2 Capacidad de producción de las máquinas	120
5.2.2.3 Capacidad producción del personal de fabricación	123
5.2.2.3.1 Cálculos.....	127
5.2.2.4 Presupuesto máximo.....	129
5.2.2.4.1 Coste Variable Unitario Años 1 y 2	129
5.2.2.4.2 Coste Variable Unitario Años 3,4 y 5	132
5.2.2.4.3 Coste Fijo	133
5.2.2.4.3.1 Maquinaria.....	133
5.2.2.4.3.2 Personal	136
5.2.2.4.3.3 Infraestructuras	138
5.2.2.4.3.4 Eventos Marketing.....	140
5.2.3 <i>RESULTADOS</i>	142
5.2.3.1 Producción Óptima.....	142
5.2.3.2 Precio de Venta Óptimo	146
5.3 CONCLUSIONES.....	148
6.CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	151
6.1. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	151

6.2. SISTEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL	154
6.3 APLICACIONES FUTURAS.....	161
BIBLIOGRAFÍA	163
ANEXOS COSTES.....	167
ANEXOS MATERIALES.....	177
ANEXOS MAQUINARIA.....	193
ANEXO PLANOS CEDIDOS POR ISC.....	203

ÍNDICE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1; CILINDRADO	35
ILUSTRACIÓN 2; REFRENTADO ¹⁵	35
ILUSTRACIÓN 3; ACHAFLANADO	36
ILUSTRACIÓN 4; CORTE LÁSER.....	38
ILUSTRACIÓN 5; ELECTROEROSIÓN	39
ILUSTRACIÓN 6; SOLDADURA SNAW	43
ILUSTRACIÓN 7; SOLDADURA TIG	44
ILUSTRACIÓN 8; CRECIMIENTO COCHES ELÉCTRICOS.....	53
ILUSTRACIÓN 9; MARKET SHARE COCHES ELÉCTRICOS.....	54
ILUSTRACIÓN 10; PREVISIÓN COSTE BATERÍAS	55
ILUSTRACIÓN 11; PREVISIÓN VENTA COCHES ELÉCTRICOS ¹⁸	57
ILUSTRACIÓN 12;PREVISIÓN PRECIO DE LOS COCHES	58
ILUSTRACIÓN 13; CIRCUITOS KARTS ESPAÑA.....	61
ILUSTRACIÓN 14; CIRCUITOS KART ESPAÑA (1).....	61
ILUSTRACIÓN 15; PROCESO ESTUDIO PROCESO FABRICACIÓN	65
ILUSTRACIÓN 16; DENSIDAD VS PRECIO (CHASIS)	69
ILUSTRACIÓN 17; ACERO DENSIDAD VS PRECIO (CHASIS) ³²	69
ILUSTRACIÓN 18; ACEROS SOLDADURA DENSIDAD VS PRECIO (CHASIS)	70
ILUSTRACIÓN 19; LÍMITE ELÁSTICO VS PRECIO (CHASIS)	71
ILUSTRACIÓN 20; LÍMITE ELÁSTICO VS DENSIDAD. ³⁴	71
ILUSTRACIÓN 21; ÁREA CORONA CIRCULAR.....	73
ILUSTRACIÓN 22; ACERO TRIÁNGULOS DENSIDAD VS PRECIO	82
ILUSTRACIÓN 23; MATERIAL MANGUETA 1	87
ILUSTRACIÓN 24; MATERIAL MANGUETA 2	88
ILUSTRACIÓN 25; MATERIAL MANGUETA 3	89
ILUSTRACIÓN 26; MATERIALES MANGUETA 4	90
ILUSTRACIÓN 27; MÁQUINAS CN.....	93
ILUSTRACIÓN 28; MATERIALES BUJES 1.....	95
ILUSTRACIÓN 29; MATERIALES BUJES 2	96

ÍNDICE TABLAS

TABLA 1 PUNTUACIÓN COMPETICIÓN FSAE (FORMULA STUDENT RULES , 2017).....	21
TABLA 2; MATRICULACIÓN COCHES ELÉCTRICOS	52
TABLA 3;MATRICULACIÓN COCHES ELÉCTRICOS POR PAÍS.....	53
TABLA 4; CORREDORES KARTING:.....	60
TABLA 5; PARTICIPANTES F4	62
TABLA 6; MATERIALES CHASIS	72
TABLA 7; CÁLCULO VOLUMEN ACERO CHASIS	73
TABLA 8; CÁLCULO PRECIO ACERO CHASIS	74
TABLA 9; TABLA COMPARATIVA ACERO CHASIS	74
TABLA 10; TIPOS SOLDADURA	76
TABLA 11; MÁQUINAS CORTE LÁSER 1	78
TABLA 12; EQUIPO DE SOLDADURA.....	78
TABLA 13; GAS SOLDADURA A PARTIR DE DATOS DEL PROVEEDOR SURGALI.	79
TABLA 14; MÁQUINAS CORTE LÁSER 2	79
TABLA 15; MÁQUINAS CORTE LÁSER 3	80
TABLA 16; ACERO TRIÁNGULOS.....	83
TABLA 17; CÁLCULO VOLUMEN ACERO TRIÁNGULOS.....	83
TABLA 18; PRECIO ACERO TRIÁNGULOS.....	84
TABLA 19; FRESADORA.....	85
TABLA 20; PROCESO FABRICACIÓN MANGUETA	86
TABLA 21; MATERIALES MANGUETA.....	89
TABLA 22; MATERIALES MANGUETA	91
TABLA 23; MATERIALES BUJE DELANTERO	95
TABLA 24; MATERIALES BUJE TRASERO	96
TABLA 25; PRECIO MATERIALES BUJES.	97
TABLA 26; TORNO Y RECTIFICADORA.....	98
TABLA 27; CONCLUSIÓN ESTUDIO MERCADO	111
TABLA 28; VARIABLES FUNCIÓN OBJETIVO.....	116
TABLA 29; RESTRICCIÓN CAPACIDAD MAQUINARIA.....	118
TABLA 30; RESTRICCIÓN CAPACIDAD PERSONAL.....	118
TABLA 31; COSTES POR PERIODO.....	119
TABLA 32; MAQUINARIA PERIODO 1	121
TABLA 33; MAQUINARIA PERIODO 2	122
TABLA 34; PERSONAL AÑOS 1 Y 2	123

TABLA 35; PERSONAL AÑOS 3 Y 4.....	124
TABLA 36; PERSONAL AÑO 5	125
TABLA 37; RESTRICCIÓN MAQUINARIA 1.....	127
TABLA 38; RESTRICCIÓN MAQUINARIA 2.....	127
TABLA 39; RESTRICCIÓN MAQUINARIA 3	128
TABLA 40; RESTRICCIÓN MAQUINARIA 4.....	128
TABLA 41; RESTRICCIÓN MAQUINARIA 5.....	128
TABLA 42; RESTRICCIÓN COSTES	129
TABLA 43; COSTE VARIABLE UNITARIO AÑOS 1 Y 2	130
TABLA 44; COSTE VARIABLE UNITARIO AÑOS 1 Y 2.(1).....	131
TABLA 45; COSTE VARIABLE UNITARIO AÑOS 3,4 Y 5.....	132
TABLA 46; COSTE VARIABLE UNITARIO AÑOS 3,4 Y 5.....	132
TABLA 47; COSTE MÁQUINAS PERIODO 1	134
TABLA 48; AUMENTO MÁQUINAS EN PERIODO 2	135
TABLA 49; PERSONAL AÑO A AÑO.	138
TABLA 50 TARIFAS ALQUILER INFRAESTRUCTURAS A PARTIR DE LA EMPRESA IDETSA.	139
TABLA 51; INFRAESTRUCTURAS POR AÑO	139
TABLA 52; COSTE EVENTOS AÑO 1.....	140
TABLA 53; COSTE EVENTOS AÑO 2.....	140
TABLA 54; COSTE EVENTOS AÑO 3.....	140
TABLA 55; COSTE EVENTOS AÑO 4.....	141
TABLA 56; COSTE EVENTOS AÑO 5.....	141
TABLA 57. APLICACIONES DEL SISTEMA DE SOPORTE.....	142
TABLA 58; PRODUCCIÓN ÓPTIMA PARA 30 MILLONES €.	143
TABLA 59; PRODUCCIÓN ÓPTIMA PARA 40 MILLONES €.	144
TABLA 60; PRODUCCIÓN ÓPTIMA PARA 50 MILLONES €.	145
TABLA 61; PRECIO ÓPTIMO SEGÚN MARGEN BENEFICIO CASO 1.	146
TABLA 62; PRECIO ÓPTIMO SEGÚN MARGEN BENEFICIO CASO 2.	147
TABLA 63; PRECIO ÓPTIMO SEGÚN MARGEN BENEFICIO CASO 3.	147

1.CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

Este Proyecto de Fin de Grado se realiza para crear el modelo de negocio de una empresa cuya actividad consiste en la producción de monoplasas de la competición Formula Student y optimizar su rendimiento en la fabricación del producto.

Para ello se desarrollará un sistema de apoyo a decisiones en los que se presenten de manera clara todos los costes que la empresa tiene que llevar a cabo tanto desde el punto de vista de la venta de los coches (marketing) como desde la fabricación de estos. El punto donde se centra la investigación será el proceso de producción de los monoplasas.

El sistema de apoyo se realiza mediante la herramienta Microsoft Excel, donde se crea la base de datos y posteriormente el sistema de programación lineal para optimizar el proceso. Para el análisis de materiales que tienen lugar en el proceso de fabricación destaca el uso del software CES Edupack.

El fin último al que se pretende llegar una vez finalizado el sistema de apoyo a decisiones es optimizar el proceso de fabricación calculando el número de monoplasas óptimo que tiene que producir la empresa en los primeros cinco años además de establecer el precio al que se van a vender los coches. Con estos datos además se podrán sacar conclusiones acerca del personal necesario y la maquinaria.

Como se ha citado con anterioridad el proyecto que se intenta exponer a través de esta memoria corresponde a la realización de un Proyecto de Fin de Grado por lo que espera reflejar los conocimientos que se han adquirido durante estos años del grado.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La realización de un Trabajo de Fin de Grado consiste en aplicar todos los conocimientos que se han aprendido y afianzado durante los años del grado a un caso práctico que pueda tener un lugar y una aplicación reales. En este caso el proyecto se realiza para el equipo de la

Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), ICAI Speed Club (ISC), que participa este año en la competición entre universidades tanto a nivel español como europeo, llamada Formula Student.

Esta competición de la que más adelante se hablará con más detalle consiste en diseñar y fabricar un coche fórmula y posteriormente realizar un modelo de negocio de una empresa de nueva creación que se ocupe de fabricar y vender estos coches.

El proyecto va a realizar el modelo de negocio que se necesita para la competición y para ello se va a desarrollar el sistema de apoyo a decisiones mencionado anteriormente.

El trabajo está muy relacionado con los conocimientos que transmite la Universidad, ya que, además de poder aplicar los conocimientos técnicos relacionados con la especialidad mecánica como pueden ser entre otros los métodos de fabricación y máquinas industriales, también se utilizan recursos adquiridos en asignaturas que tienen un contenido más relacionado con la dirección y gestión de proyectos o la optimización de los recursos entre otros aspectos. En definitiva, pone en práctica las capacidades adquiridas en el grado de ingeniería del ICAI.

1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La memoria se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, después de esta pequeña introducción, se hablará del entorno en el cual se desarrolla el proyecto y más concretamente se aclarará en que consiste la competición Formula Student y la historia de los modelos de decisión.

En el tercer capítulo se definirá el marco teórico en el que se basa el trabajo tanto de los métodos usados como de las herramientas en las que se apoyan.

En el cuarto capítulo se redactará el proceso de investigación y decisión que se han llevado a cabo para crear la base de datos necesaria para el sistema. El capítulo empieza con un estudio de mercado donde se sitúa el nuevo producto, posteriormente se analiza con detalle todo lo que el proceso de fabricación lleva asociado y, por último, la investigación sobre el modelo de venta de los monoplaça.

El capítulo 5 recoge la implementación a la base de datos del sistema de programación lineal con el que se termina el proyecto al obtener la cantidad óptima de productos a fabricar cada año y el precio de venta de estos. Se incluyen en este capítulo las conclusiones a las que llega gracias al sistema de apoyo a decisiones y otras aplicaciones distintas a la tratada en el trabajo.

Finalmente, en el capítulo 6 se expondrán, con una visión de conjunto, todas las conclusiones a las que se ha llegado con la realización de este proyecto.

Al final del documento se encuentran los Anexos que complementan el trabajo realizado.

2. CAPÍTULO 2: ENTORNO DEL PROYECTO

2.1 INTRODUCCIÓN

Como anteriormente se ha mencionado este proyecto cumple con la necesidad que tiene el equipo de FORMULA SAE de ICAI de realizar un modelo de negocio de una empresa que produzca y venda estos coches. Para ello se va a desarrollar un modelo de decisión que ayuda demostrando la objetividad y los conocimientos sobre la fabricación de los coches a la hora de llevar a cabo el modelo de negocio de dicha empresa.

El fin de este capítulo es hablar sobre el entorno de en el que se encuadra el proyecto. En concreto se va a introducir en que consiste y de que trata con detalle la competición Formula Student. También se citará la historia de los modelos de decisión y como se están implantando de forma exponencial en el mundo empresarial de forma que quede claro porque se ha elegido este método para elaborar la gestión de la empresa.

El capítulo se estructura de la siguiente manera:

- Definición de Formula Student
- Historia de los modelos de decisión.

Este es un capítulo fundamental en la memoria porque se explicarán conceptos clave para el completo entendimiento del problema que quiere resolver el proyecto.

2.2 FORMULA STUDENT

Actualmente, uno de los principales problemas que tiene la educación universitaria en España frente a otros países y de la cual se quejan la gran mayoría de estudiantes es la escasez de parte práctica que se da en los grados. Desde el punto de vista de la ingeniería el problema incluso se acentúa porque además de tener unos conocimientos teóricos, el tener poca

experiencia práctica con relación a lo que se está estudiando hace incluso más complicado afianzar los conocimientos.

En este entorno surge la Formula Student o también conocida como Fórmula SAE. Una competición entre estudiantes universitarios de ingeniería de todo el mundo que se agrupan en equipos dentro de las universidades y se encargan junto con el apoyo de los profesores de diseñar y construir un monoplace con el que competirán entre distintas categorías para determinar cual es el mejor coche.

El concepto que se esconde detrás de la Formula Student es que una empresa ficticia contrata a un grupo de ingenieros que se van a encargar de decidir el diseño del coche, hacer todo tipo de pruebas y ensayos para posteriormente proceder a la construcción del coche. Para la construcción del coche usarán en la medida de lo posible las máquinas que les pueda facilitar la universidad a la que pertenezcan lo que ayuda más aún a los estudiantes a familiarizarse con máquinas y procesos que han estudiado y que son fundamentales dominar teóricamente como ingenieros y que realizándolo con sus propias manos ganan una experiencia clave y que les hará diferenciarse del resto de ingenieros en un futuro. Sin embargo, no todos los procesos se pueden realizar con la maquinaria que tiene la universidad, eso conlleva que los alumnos tienen que tener la capacidad de encargar ciertas tareas y procesos a otras empresas especializadas tomando contacto así con el mundo laboral de la ingeniería y más en concreto con la fabricación industrial. Es importante aclarar que el dinero necesario para participar en la competición además de para hacer frente a todos los gastos de material y actividades externalizadas lo tiene que conseguir cada equipo buscando patrocinios de empresas. Por todo esto, Formula Student es una de las mejores prácticas y formas de tomar un primer contacto con el mundo de la ingeniería.

Una vez construido el coche cada equipo es evaluado por una serie de jueces que serían los jueces de la “empresa” que hemos citado anteriormente.

Para evaluar a los equipos se atiende a los distintos criterios que se exponen en la (Tabla 1), siendo la puntuación máxima que puede obtener en total de mil puntos.

	CV & EV	DV
Static Events:		
Business Plan Presentation	75 points	75 points
Cost and Manufacturing	100 points	100 points
Engineering Design	150 points	150 points
Autonomous Design	-	175 points
Dynamic Events:		
Skid Pad	75 points	75 points
Acceleration	75 points	75 points
Autocross	100 points	-
Endurance	325 points	-
Efficiency	100 points	100 points
Trackdrive	-	250 points
Total	1000 points	1000 points

Tabla 1 Puntuación Competición FSAE (Formula Student Rules, 2017)

Dentro de todos estos criterios que evalúan a cada equipo participante en la competición este proyecto se ocupa de los siguientes criterios:

- Cost and Manufacturing
- Business Plan Presentation

Cost and Manufacturing

El primer apartado consiste en especificar el coste detallado de los distintos gastos que tendría una empresa que produjera un mínimo de mil coches en cinco años.

La propia organización de la competición facilita una tabla de costes estándar a todos los equipos donde se detallan los costes de materiales, moldes, herramientas, tornillería y otros elementos comerciales como neumáticos o amortiguadores. La mayoría de los equipos detallan todo el coste a partir de estas tablas que simulan los costes para la fabricación de mil coches.

Sin embargo, con este proyecto se pretende llevar a cabo un coste detallado de la fabricación de los vehículos de una manera más real usando sólo los datos que sean imprescindibles de la tabla que facilitan y así destacar frente a otros equipos en este aspecto.

En el proyecto se clasificarán los gastos en:

- Coste de piezas y materiales
- Coste de maquinaria
- Coste de personal
- Coste de infraestructuras
- Coste de eventos de marketing
- Coste de actividades y procesos externalizados

De esta manera se pretende acercar mucho más el presupuesto al de una empresa real en la cual se tiene que contratar al personal necesario dependiendo de la carga de trabajo, comprar las máquinas necesarias para fabricar el coche, comprar las materias primas y piezas, alquilar o comprar una serie de infraestructuras donde llevar a cabo las actividades para fabricar los coches además de determinar cuáles son los procesos que se externalizarán.

Business Plan Presentation

En este apartado se tiene que exponer el plan de negocio que se llevaría a cabo si los jueces deciden apostar por la producción en serie de tu coche.

Para convencer a dichos jueces se argumentan y explican detalladamente como se ejecutaría la fabricación en serie de los coches además del sistema de marketing que se utilizaría.

Con respecto al sistema de marketing es importante dejar claro que tipo de clientes se están buscando a los cuales va a ir dirigido el producto y que en gran medida determinará las prestaciones que va a tener el coche al igual que el precio final de este. En lo que respecta a la fabricación lo más importante es decidir qué actividades y procesos se llevarían a cabo en la propia empresa y cuales se externalizarían. Una vez decidido esto se procedería a la elección del personal de fabricación al igual que de las máquinas e infraestructuras necesarias para dicho fin.

2.3 HISTORIA DE LOS SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES (DSS)

En los años sesenta, investigadores estadounidenses empezaron a investigar acerca del uso de modelos informáticos para ayudar a la toma de decisiones en la producción y planificación.

Ferguson and Jones (1969) declararon el primer estudio experimental usando un modelo de decisión informático. Aunque, un momento histórico de mayor relevancia fue la tesis de Michael S. Scott Morton's (1967) en la Universidad de Harvard. ²

Los sistemas de soporte a decisiones antes de cobrar mucha mayor intensidad, durante la década de los ochenta se convirtieron en la época de los setenta en un área de investigación propia. En esta época de los setenta los modelos de decisiones se definieron como un sistema basado en computadora para ayudar a la toma de decisiones. Esta definición se amplió durante los años ochenta donde un modelo de decisión consistía en usar la tecnología adecuada y disponible para mejorar la eficacia de las actividades empresariales y profesionales.

Por último, en la época de los noventa y primeros años del siglo XXI los almacenes de datos y procesamiento analítico en línea (OLAP) empezaron poco a poco a ampliar el ámbito de los sistemas de soporte a decisiones cuyas siglas en inglés son (DSS), Decision Support System.

2.3.1 Evolución en las aplicaciones de los sistemas de soporte a decisiones

Tras iniciarse en los años ochenta muchas actividades relacionadas con el estudio y la creación de modelos de decisión en distintas universidades y organizaciones, se produjo como consecuencia directa una ampliación en las aplicaciones y en los campos donde se iban a usar dichos modelos.

En estos años se reconocía a los sistemas de decisión como elementos que se usaban para apoyar a la toma de decisiones a cualquier nivel dentro de una organización o empresa. A partir de los ochenta se amplió este campo de actuación y se empezaron a utilizar dichos sistemas en las áreas de gestión financiera y de estrategia de la empresa (strategic decision-making).³

² (Holsapple, 2008)

³ (Haoxiang, 2011)

A partir de finales de los ochenta se empezaron a distinguir dos tipos de modelos, los llamados model-driven DSS y los communications-driven.

En el caso de los model-driven, como el que se desarrolla en este proyecto, se centran en el acceso y la manipulación de modelos financieros, de optimización y/o simulación. En este tipo de modelos utilizan datos y parámetros limitados dados por el encargado de tomar las decisiones para ayudarse de ellos a la hora de analizar una situación, pero generalmente no son necesarias grandes bases de datos para los model-driven. Debido a esto último es posible desarrollar un DSS, como el que se va a realizar en este proyecto, utilizando los conocimientos adquiridos en los cuatro años del grado además de unas bases fundamentales a la hora de realizar un DSS.

Por otro lado, están los communications-driven DSS, los cuáles utilizan tecnologías de red y comunicaciones para facilitar decisiones relevantes sobre colaboración y comunicación. En estos sistemas la clave está en las tecnologías de comunicación. Las herramientas utilizadas en estos sistemas incluyen, groupware, videoconferencia y tableros de anuncios informatizados.⁴

2.4 CONCLUSIONES

Se puede concluir este capítulo con las ideas claras acerca de lo que es Formula Student y que parte de esta competición compete a este proyecto además de una breve ponencia sobre los antecedentes de los modelos de decisión y su evolución en las distintas aplicaciones.

⁴ (Holsapple, 2008)

3. CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se va a tratar de describir el enfoque teórico que sostiene las decisiones que se van a tomar para el diseño de la solución. Un Proyecto de Fin de Grado ha de tener un marco teórico consistente, ya que se trata de poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Este capítulo sirve al alumno para que se inicie en la investigación complementando la aplicación de los conceptos teóricos a una situación real.

3.2 MODELOS DE DECISIÓN

3.2.1 QUÉ SON

Tomar las decisiones acertadas en cualquier negocio consiste en la mayoría de los casos en tener una buena calidad en los datos y en la capacidad que se tenga para poder filtrar estos datos y posteriormente analizarlos detalladamente para poder encontrar alguna tendencia a partir de la cual se puedan llevar a cabo la estrategia de la compañía y crear soluciones.

Los sistemas de soporte de decisiones, conocidos comúnmente con las siglas DSS, son sistemas informáticos en los que aparecen una serie de datos que tiene como función fundamental proporcionar información y soporte, de aquí su nombre, a las personas encargadas de tomar las decisiones dentro de una organización con el fin de que este tome las decisiones adecuadas en el menos tiempo posible.

Cuando se habla de soporte, se refiere a la ayuda que se presta a personas que trabajan solas o en grupo a dar diferentes alternativas e inteligencia y de esta manera apoyar en gran medida a la comparación entre las distintas alternativas para llegar a una solución óptima.

Una vez claro el concepto de que es un modelo de decisión vamos a ver las diferentes definiciones que se le han dado a los sistemas de soporte de decisiones dependiendo del punto

de visto del autor. Esta variedad de enfoques, refleja la gran utilidad y la variedad de campos en los que se usan este tipo de modelos.

Un sistema de soporte de decisión es en términos muy generales:

- “Un sistema basado en computador que ayuda en el proceso de toma de decisiones”⁵

En términos bastantes más específicos:

- “Un sistema de información basado en un computador interactivo, flexible y adaptable, especialmente desarrollado para apoyar la solución de un problema de gestión no estructurado para mejorar la toma de decisiones. Utiliza datos, proporciona una interfaz amigable y permite la toma de decisiones en el propio análisis de la situación”.⁶

Destacan también estas definiciones que se encuadran en un punto medio de las dos anteriores:

- “Un conjunto de procedimientos basados en modelos para procesar datos y juicios para asistir a un gerente en su toma de decisiones”.⁷
- “Un DSS combina recursos intelectuales individuales con las capacidades de un ordenador para mejorar la calidad de las decisiones (son un apoyo informático para los encargados de tomar decisiones sobre problemas semiestructurados”.⁸

⁵ (Finaly, 1994)

⁶ (Turban, 1993)

⁷ (Little, 2004)

⁸ (P.G.W., 1978)

- “Sistemas informáticos interactivos que ayudan a los encargados de tomar decisiones utilizando datos y modelos para resolver problemas no estructurados”⁹

3.2.2 FUNCIONES

Los sistemas de soporte a decisiones son una herramienta de gran importancia en la inteligencia empresarial, ya que, permite analizar las distintas variables de un negocio apoyando así a los directivos de las organizaciones a tomar decisiones de gran importancia sin tener que perder mucho tiempo comprendiendo datos internos de la compañía o analizando estadísticas que nacen de grandes bases de datos.

Las principales funciones que tienen son:

- Permite al usuario definir qué datos necesita y de qué manera quiere combinarlos.
- Facilita la extracción y manipulación de la información de forma flexible.
- Supone una ayuda y soporte cuando hay que tomar decisiones no estructuradas.
- Pueden poseer herramientas de simulación o modelización entre otras.
- Resuelve muchas de las limitaciones de los programas de gestión.
- Combinan información en los sistemas internos de la empresa con los de otra empresa externa.

Extrapolando estas funciones a las tareas que desempeñan en un caso práctico podemos decir que:

- Mejoran la productividad y la relación entre la eficiencia y el coste.
- Se optimizan las estrategias que se aplican en el negocio.
- Generan tablas de datos.
- Se usan para crear gráficas y análisis de datos que sean necesarios.

⁹ (Sprague, 1982)

3.2.3 TIPOS DE SISTEMAS DE DECISIÓN

En los sistemas de soporte a decisiones tienen se han dado tres tipos de clasificaciones diferentes. En primer lugar, se clasifican según la relación con el usuario. En segundo lugar, utilizando como criterio el modo de asistencia. Y por último según el ámbito de actuación.

Clasificación según la relación del sistema con el usuario:

1. DSS pasivo: En estos sistemas se recogen de manera clara y detallada los distintos datos, pero no lleva a cabo ninguna decisión explícita, sugerencias o soluciones. Lo cual implica que toda la responsabilidad acerca de la decisión depende del usuario que utiliza este modelo como soporte para tener una visión clara de los diferentes datos y poder encontrar alguna tendencia que le ayude a elegir la estrategia óptima.
2. DSS activo: Este tipo de sistemas procesa los datos y después muestra soluciones, sugerencias o decisiones basadas en dichos datos. En este caso toda la responsabilidad de las decisiones de la organización depende del modelo lo cual es bastante arriesgado pues hay que depositar toda la confianza en el sistema informático.
3. DSS cooperativo: Este último tipo es un híbrido entre los dos modelos anteriores y por tanto la responsabilidad se divide entre el usuario y el sistema. En estos sistemas, el modelo recoge los datos y los analiza, acto seguido el usuario puede modificar y mejorar estas sugerencias dadas por el sistema antes de volver a enviarlo de vuelta al sistema para su validación. De esta manera se consigue generar una solución sólida.

Este proyecto se clasifica dentro de los DSS pasivos, es decir, el usuario se encargará de recolectar todos los datos necesarios para montar el sistema ya sea a partir de los datos proporcionados por la organización de la competición Formula Student en una minoría y la gran mayoría tras un proceso de investigación en muy distintas áreas como son:

- Análisis de mercado
 - Estadísticas de ventas de coches eléctricos
 - Número de coches de la modalidad F4
 - Número de coches de la modalidad Kart
- Maquinaria necesaria
- Salarios en la industria de la automoción
- Infraestructuras
- Eventos Automovilísticos

- Procesos de fabricación
 - Soldadura
 - Mecanizado
 - Rectificado

La clasificación utilizando como criterio el modo de asistencia¹⁰ distingue:

1. DSS dirigidos por modelos: Se compone de datos y parámetros proporcionados por los usuarios para ayudar a las personas encargadas de tomar la decisión cuando se analiza una situación.
2. DSS dirigidos por comunicación: Tienen un soporte para varias personas que trabajan realizando una misma tarea de forma compartida.
3. DSS dirigidos por datos: Se centran en la manipulación de series temporales de datos internos de la empresa y algunas veces también de datos externos
4. DSS dirigidos por documentos: se encargan de gestionar, recuperar y manipular información no estructurada en distintos formatos electrónicos.
5. DSS dirigidos por conocimiento: aportan normas, hechos o procedimientos que nos proporcionan una experiencia para solventar problemas.

Con respecto a esta clasificación en torno al modo de asistencia del modelo al usuario, el proyecto que se redacta en esta memoria es un DSS dirigido por modelos. Como se ha venido explicando desde el principio de esta memoria con este sistema se pretende dar un

¹⁰ (Power, 2002)

apoyo a partir de datos clave en una organización para facilitar y acelerar el proceso de decisiones. Esto es especialmente importante para el caso de una empresa de nueva creación que es el enfoque de este proyecto.

Clasificación utilizando como criterio el ámbito de actuación¹¹:

1. DSS para la gran empresa: este sistema se encontrará enlazado con una gran base de datos que dará servicio a varios directores, gerentes y ejecutivos de una gran compañía.
2. DSS de escritorio: estos sistemas se realizan para el servicio de un solo gerente o director al que apoyan en sus decisiones.

Por último, el sistema en cuestión se clasifica como un DSS de escritorio cuyo ámbito de actuación se limitaría únicamente al servicio del director de la empresa u gerente de esta para que se ayude de él en la estrategia a seguir por parte de la organización tanto en la parte de marketing como en la fabricación.

3.3 PROCESOS DE FABRICACIÓN

Este proyecto se basa principalmente en los conocimientos aprendidos durante el estudio del grado en el ámbito de la fabricación entre las que destacan dos asignaturas cursadas por encima de las demás: Tecnologías de Fabricación durante el tercer curso y este último año la asignatura de Diseño y Fabricación Integrados.

Ambas asignaturas están muy ligadas y tienen como fin dotar al alumno de distintas competencias como bien marca la guía docente de la asignatura. En este proyecto se aplican dichas competencias entre las que destaca la capacidad de resolver problemas, toma de decisiones, capacidad de organización y planificación en la empresa y por último realización de cálculos y valoraciones.

Por la relevancia y el peso que tienen los procesos de fabricación en el proyecto se decide exponer brevemente que tipos de procesos existen haciendo hincapié en aquellos que más tienen que ver con este trabajo.

¹¹ (Power, 2002)

Los procesos de fabricación se clasifican según el trato que se le aplique al material en tres grupos:

1. Procesos de fabricación sin pérdida de material
2. Procesos fabricación con pérdida de material
3. Procesos de unión de piezas

3.3.1 SIN PÉRDIDA DE MATERIAL

Dentro de este grupo se va han detallar los dos grupos más importantes como son la fundición y la deformación.

3.3.1.1 Fundición

El proceso de fundición consiste en introducir un metal fundido dentro de una cavidad o molde que se realiza con la forma de la pieza que se pretende fabricar. Esto que parece muy sencillo es un procedimiento bastante costoso tanto por su realización como por el componente económico. Antes de conseguir fabricar la pieza además es probable que se tenga que fabricar además del molde un modelo con el que fabricar dicho molde.

El proceso a seguir para fabricar una pieza mediante un proceso de fundición es el siguiente:

- i. Diseño de la pieza
- ii. Construcción de un modelo (madera o yeso)
- iii. Diseño del molde y modelo.
- iv. A partir del modelo se construye el molde.
- v. Si la pieza fuese hueca o tuviese huecos interiores se fabricar los machos (se encargan de recubrir los huecos interiores de la pieza para que el metal fundido no llegue a ellos)
- vi. Se funde el material del que se desea fabricar la pieza
- vii. Se rellena el molde con el metal fundido
- viii. Se realiza el desmoldeo
- ix. Se enfría la pieza

Los puntos más importantes a la hora de realizar una pieza por fundición son el del diseño del modelo y el molde. Si se hace un mal diseño del molde, con total seguridad la pieza

no se fabricará de forma adecuada y aparecerán defectos muy típicos en un proceso de fundición como son sopladuras y contracciones.

Dependiendo del método de vertido del material y de si el molde se puede reutilizar o no existen distintos tipos de fundición que se explican brevemente a continuación.

A. Fundición en Arena

En este tipo de fundición el molde es desechable, es decir, solamente sirve para la fabricación de una pieza. Sin embargo, tiene como ventaja su bajo coste.

B. Fundición en Coquilla

En este proceso el molde es metálico lo que permite que se fabriquen un gran número de piezas usando el mismo molde. Aunque se pueda fabricar un mayor número de piezas con este molde, dicho molde es de un precio muy superior al mencionado en la fundición en Arena.

Otras ventajas que presenta este proceso con respecto a la fundición en arena es que mejora la precisión y las propiedades mecánicas en parte gracias a que se acelera el enfriamiento de la pieza.

C. Fundición a la cera perdida.

Este proceso se reserva para piezas de geometría muy complicada o de tamaños muy reducidos. Al igual que la fundición en arena el modelo es de un solo uso lo que hace muy costoso el producir grandes tiradas de piezas. La precisión que se obtiene con este proceso se acerca bastante a la de la fundición en coquilla.

D. Fundición a presión

Con este proceso, el material fundido se inyecta con presión en el molde. Gracias a esto la pieza fabricada tiene una alta precisión y un gran acabado superficial. La principal desventaja es la dificultad de tratar las piezas posteriormente, además del coste de la maquinaria y los moldes.

3.3.1.2 Deformación

Los procesos que consisten en la deformación del material son el segundo tipo de métodos en los que no se pierde nada del material con el que se fabrica, lo que es una gran ventaja en el ahorro de materia prima con respecto a otros procesos. La principal característica las piezas que se obtienen tras un proceso de deformación son las buenas propiedades mecánicas, como la dureza o la ductilidad del material.

Según la temperatura a la que se realice el proceso existen dos tipos de deformación: en caliente o en frío

Deformación en caliente

El proceso más utilizado de deformación en caliente es la Forja. El proceso de Forjado tiene como características principales:

- Se pueden producir largas cadenas de piezas
- Excelentes propiedades mecánicas de las piezas (tenacidad, ductilidad.)
- Velocidad de producción
- Acabado superficial de las piezas precisa de un tratamiento posterior
- No es posible forjar cualquier geometría

La maquinaria necesaria para los procesos de forja es:

- Prensas
- Martillos

Deformación en frío

Los materiales que son tratados en frío aumentan propiedades mecánicas como la dureza, límite elástico y tensión de fractura. Para la deformación se requiere de una mayor fuerza que en los procesos realizados a altas temperaturas por lo que la producción es más costosa.

Las ventajas más importantes de las piezas que se deforman en frío son la mayor precisión y la mejora del acabado superficial de las piezas frente a otros procesos.

- Estampación: En este proceso el material a deformar se introduce entre dos matrices y a partir de golpes de prensa se consigue la geometría requerida en uno o varios pasos.

- Doblado y curvado: Para realizar estas operaciones se requiere de un punzón y una matriz. Al incidir el punzón sobre el material este adquiere la forma geométrica de la matriz sobre la que se coloca.

3.3.2 CON PÉRDIDA DE MATERIAL

Estos procesos son conocidos también como procesos de fabricación por arranque de viruta o más comúnmente como procesos de mecanizado. Se le denomina viruta a aquellos trozos de metal que son cortados para así obtener la pieza requerida. El proceso es simple, se introduce un bloque del material de la pieza que se quiere fabricar en la máquina. Una vez dentro de la máquina esta irá cortando el bloque hasta dejar únicamente la pieza que se desea obtener.

Los principales procesos de conformación por arranque de viruta son:

- Torneado
- Fresado
- Taladrado

Además de estos procesos también se explican dos procesos de mecanizado especial que se tratan en el trabajo que son:

- Corte Láser
- Electroerosión

3.3.2.1 Torneado

La operación de torneado se utiliza para fabricar piezas de revolución, ya sean esféricas, cilíndricas o incluso cónicas. El proceso consiste en introducir el material del que se quiere fabricar la pieza en un útil el cual hace girar la pieza a la vez que avanza a una velocidad definida hacia una herramienta de corte.

Con lo cual se observan dos movimientos simultáneos. En primer lugar, el movimiento giratorio de la pieza alrededor de su eje principal. El segundo tiene es un movimiento rectilíneo realiza la herramienta de corte en la dirección donde se trabaja.

Mediante el torno se pueden muchas operaciones diferentes pero las más destacadas son:

- a) Cilindrado: Esta operación es la más básica y consiste en ir reduciendo el diámetro de la pieza mediante un proceso de mecanizado.

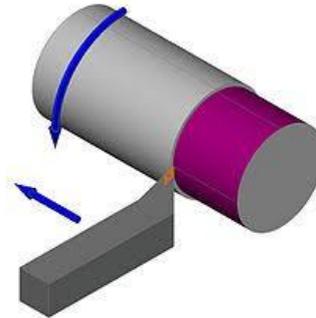


Ilustración 1; Cilindrado.¹²

- b) Refrentado: Mecanizado de la parte frontal del material para rebajar sus dimensiones.

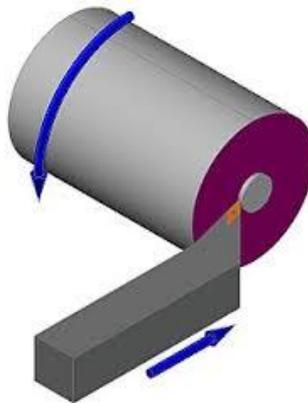


Ilustración 2; Refrentado¹⁵

- c) Achaflanado: Mediante este proceso se realiza una rebaja del material en los bordes de este para que los cambios de diámetros se hagan de forma progresiva.

¹² Florian Schott, Abril 2008.

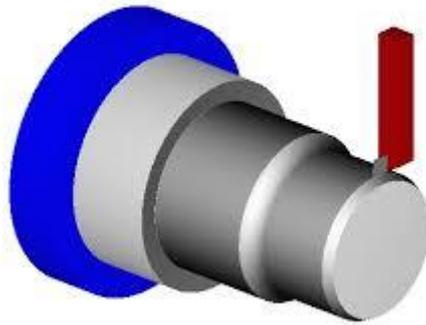


Ilustración 3; Achaflanado¹³

Una vez definidos varios de los procesos que se pueden realizar mediante el torneado se van a mostrar las bases teóricas para proceder al torneado de una pieza. Con ellos se realizan los cálculos necesarios para obtener datos importantes en este proyecto como son la velocidad de corte dependiendo de las características del torno y el tiempo que se tarda en producir cada pieza.

VELOCIDAD DE CORTE TORNO

Cada material tiene unas características definidas y diferentes. Una de ellas es la velocidad de corte. La velocidad de corte que se indica en los materiales no debe de ser superada cuando se realizan procesos como el de torneado. Esto hace que calcular la velocidad de corte sea algo fundamental a la hora de realizar el proceso. De no hacer esto correctamente las piezas fabricadas tendrán peor calidad y las herramientas utilizadas para el torneado se dañarán.

¹³ Assignment 1 WIKIFAB

La fórmula general para calcular la velocidad de corte es la siguiente:

$$Velocidad\ Corte\ (m/min) = \frac{\pi \times Dm \times n}{1000}$$

Siendo: n= Velocidad del husillo (rpm)

 Dm= Diámetro mecanizado (mm)

3.3.2.2 Fresado

El proceso de fresado junto con el torneado son los procesos más versátiles y de mayor uso en la fabricación por arranque de viruta.

El fresado se distingue del torneado en que las superficies que se tratan en este caso en su amplia mayoría son superficies planas.

El proceso tiene lugar de la siguiente manera. Se coloca un material en la mesa de trabajo el cual se va a mover de forma longitudinal con una velocidad a la que se le denomina velocidad de avance. A su vez hay una herramienta rotatoria que tiene dientes encargados de cortar el material a medida que este avanza sobre la ella.

3.3.2.3 Taladrado

Mediante el proceso de taladrado se realizan agujeros en las piezas que luego pasan a usarse para la sujeción mediante tornillos, pernos o para realizar engrase.

Es un proceso muy simple que combina un movimiento de rotación del útil con un movimiento longitudinal de avance.

Para su realización existen máquinas especializadas llamadas taladradoras pero la mayoría de las veces en su uso industrial se pueden realizar operaciones de taladrado con una fresadora o un torno, ahorrándose así el precio de otra herramienta más.

3.3.2.4 Mecanizado por corte láser

El corte láser es conocido por ser el proceso de corte más preciso que hay en la actualidad. Es un proceso de corte térmico en el que un rayo láser se aplica sobre la pieza a cortar con una gran potencia y que tiene mucha precisión debido al uso de un sistema de espejos.

Entre otras ventajas, una muy importante es la capacidad de este proceso de cortar todo tipo de materiales (hierro, acero inoxidable, aluminio o titanio) y con un rango de espesor de piezas grande.

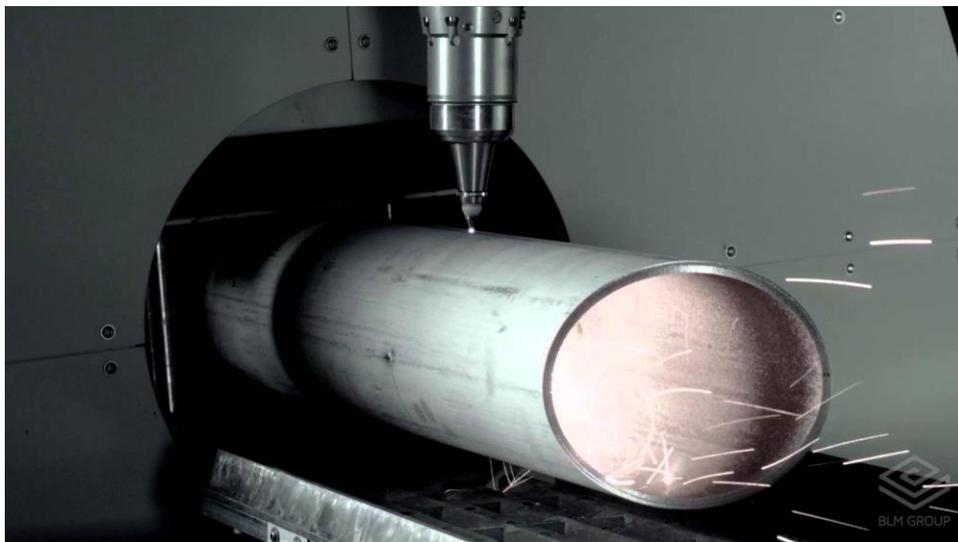


Ilustración 4; Corte Láser¹⁴

Este proceso es muy utilizado en la industria de la fabricación, militar, aeronáutica entre otras aplicaciones.

Actualmente cada vez se está dando más uso a esta técnica frente a otros procesos de menor precisión como el fresado o el taladrado. El principal motivo por el que ocurre esto es que el corte láser es el proceso más eficiente en el mercado actual. Con él se reducen los tiempos de fabricación en gran medida, se reducen los costes y se optimiza el gasto de material.

El proceso de corte láser se realiza en máquinas que necesitan de un archivo CAD con los planos de las piezas a cortar. Una vez que los planos se introducen en la máquina se procede a introducir el material y se determinan la velocidad, material a cortar y tipo de corte.

¹⁴ BLM Group

3.3.2.5 Mecanizado por Electroerosión

La electroerosión es un proceso de mecanizado por abrasión en la que se realiza el arranque de material sobre materiales conductores mediante descargas eléctricas que son producidas por un arco eléctrico creado entre la herramienta (electrodo) y la pieza.

La diferencia con el resto de los procesos de mecanizado es que en este proceso se arranca el material sin existir contacto entre la herramienta y la pieza. Esta característica le dota de una ventaja sobre los demás procesos y es la capacidad de trabajar sobre metales de dureza muy elevada, ya que, al no haber contacto no se produce desgaste de la herramienta al trabajar este tipo de materiales.

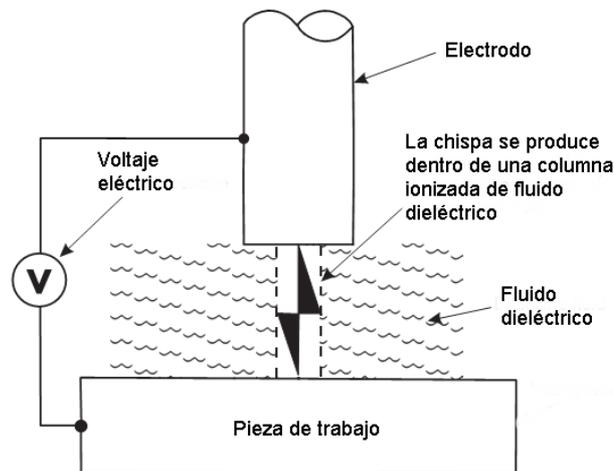


Ilustración 5; Electroerosión¹⁵

Otras ventajas que reúne la electroerosión son:

- Tolerancias más precisas
- No se crean rebabas
- Mecanizar metales explosivos o inflamables
- Crear piezas complejas

¹⁵ De Maquinas y Herramientas

Por el contrario, las desventajas son:

- Sólo materiales conductores
- Elevado tiempo de fabricación
- Acabo superficial no es muy bueno

Una vez explicados los procesos de mecanizado más importante se termina este tipo de procesos explicando de manera detallada como se diseña un proceso de mecanizado y que cálculos no deben de faltar

3.3.2.6 Proceso de mecanizado

Para estudiar el mecanizado de una pieza y obtener el tiempo que se tarda en producir la pieza se siguen los siguientes pasos que se han estudiado en la asignatura de Diseño y Fabricación integrados.

En primer lugar, se tiene que tener o realizar un plano de la pieza que se quiere fabricar con todas las cotas relevantes y tolerancias bien especificadas.

Una vez tenemos el plano pasamos a definir las distintas operaciones de torneado que se van a aplicar diferenciándolas en: Fase, Subfase y Operación.

- Fase: Se refieren a las distintas máquinas que intervienen durante la fabricación de una pieza. Al cambiar la fase estamos indicando que cambiamos de máquina.
- Subfase: Con la subfase determinamos los cambios en la sujeción que tienen lugar durante el proceso realizado en una misma máquina. La subfase cambia cuando dentro de una misma máquina (fase) se cambia la sujeción y por tanto se empieza a trabajar otra zona de la pieza.
- Operación: Por último, la operación se utiliza para referirse a un cambio de operación de mecanizado sin tener que desmontar la pieza en cuestión para ello.

Dentro del proceso de mecanizado una parte vital es la elección de la maquinaria a utilizar. Para ello se tienen que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✚ La precisión que se busca
- ✚ Calidad superficial
- ✚ Peso
- ✚ Número de piezas que se mecanizan

El siguiente paso consiste en recopilar las características principales de la máquina que se va a utilizar en la fabricación de la pieza.

Una vez tenemos todo esto se aplican las fórmulas específicas para la máquina usada, se muestran seguidamente las correspondientes a una fresadora y un torno.

Fresadora

$$Tiempo\ Corte\ (min) = \frac{Longitud\ Mecanizada\ (mm)}{Avance\ de\ la\ Mesa\ (mm/min)}$$

Torno

$$Tiempo\ de\ corte\ (min) = \frac{Longitud\ mecanizado\ (mm)}{Fn \times n}$$

Siendo: Fn= Avance por revolución (mm/rev)

n= velocidad del husillo (rev/min)

3.3.3 UNIÓN DE PIEZAS

El proceso más importante en lo que respecta a este trabajo dentro de la unión de piezas es la soldadura.

En la soldadura se realiza la unión de piezas con aportación de material adicional o sin el aplicando calor o presión.

Existen distintos tipos de soldadura según el proceso que se utiliza para realizar la unión, se van a redactar aquellas más importantes y con mayor detalle las que se han tratado en la realización del proyecto

1. SOLDADURA BLANDA

En la soldadura blanca se utiliza material de aporte en estado líquido para unir dos metales. La unión se produce debido a la aleación entre los metales.

La aplicación principal de este tipo de soldadura es para piezas que no recibirán una fuerza o carga muy grande, un ejemplo puede ser la soldadura de los circuitos eléctricos.

2. SOLDADURA FUERTE

Por este proceso se consigue obtener una unión muy resistente, llegando a obtener una unión de mayor resistencia que el material que se ha unido.

Es muy utilizado para unir piezas de propiedades mecánicas distintas y puntos de fusión diferentes.

3. SOLDADURA POR ARCO

En este proceso se realiza la unión de las piezas creando un arco eléctrico que es el encargado de fundir el material de aporte y parcialmente el material base. Es la disciplina más común debido a la facilidad para transportar el equipo de un lado a otro.

Dentro de la soldadura por arco eléctrico hay distintos tipos, los más importantes se detallan a continuación.

a) Soldadura por Arco Revestido (SMAW)

Con este proceso se pueden soldar metales con un rango de espesores muy amplios y hacer todo tipo de uniones lo que hace que su campo de aplicación sea muy grande. Un ejemplo claro es que la mayor parte de los trabajos que se hacen en un taller que no requieren una soldadura muy grande se hacen por de esta manera.

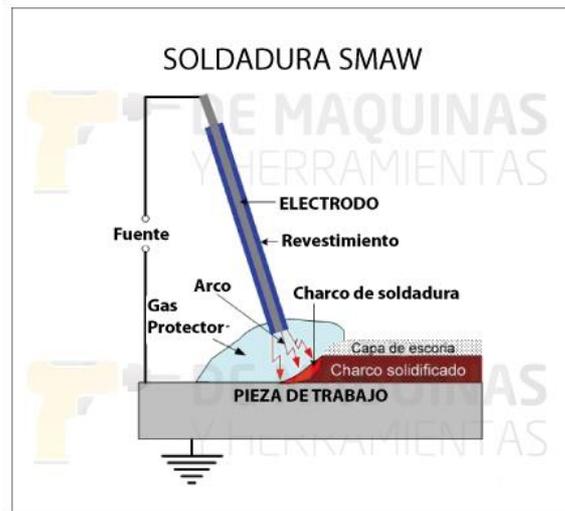


Ilustración 6; Soldadura SMAW¹⁶

Ventajas:

- Equipo portátil y precio bajo
- Amplio rango de metales y espesores
- Buen comportamiento en exteriores

Desventajas:

- Proceso manual, requiere de un especialista
- Emisión de humos
- Inclusiones de escoria durante el proceso

¹⁶ De Maquinas y Herramientas

b) Soldadura TIG

Es un proceso también conocido como soldadura por electrodo no consumible, ya que el electrodo que se utiliza normalmente de tungsteno es permanente.

El electrodo al no ser consumible hace que sea necesario utilizar material de aporte que además tiene que ser de composición similar a la del material base.

El gas más utilizado en este tipo de soldadura es el argón, seguido del helio. Sin embargo, en los EEUU se utiliza el helio por la facilidad de obtención de este.

La principal ventaja respecto al resto de procesos de soldadura es que se pueden obtener cordones de soldadura más resistentes y dúctiles que en otros procesos. Se une a esto la limpieza que deja en las superficies tratadas.

En contra, este proceso necesita de un flujo continuo de gas que encarece el proceso y precisa de un especialista para su realización. Por esto esta soldadura se reserva para piezas de elevada responsabilidad que requieran de un excelente acabado superficial y una precisión elevada.

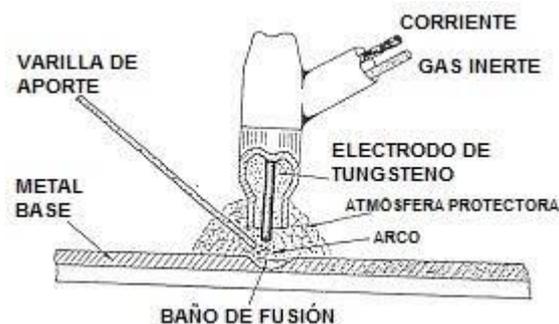


Ilustración 7; Soldadura TIG¹⁷

¹⁷ Ingemecánica

c) Soldaduras MIG y MAG

Las soldaduras MIG y MAG son denominadas soldaduras de electrodo consumible protegido. Como bien dice el nombre, en estos procesos el material de aporte es el propio electrodo.

La diferencia entre la soldadura MIG y MAG se encuentra en la función que tiene el gas inerte en la soldadura. En la soldadura MIG se limita a proteger la zona de la soldadura de oxidaciones e impurezas. Sin embargo, en la MAG se utiliza para el proceso de soldadura.

Las principales ventajas de estos métodos son la facilidad para de automatización y la alta capacidad de producción. Por el contrario, necesita continuamente aporte de gas y electrodo que encarece el proceso.

4. SOLDADURA POR GAS

Se encuadran en este tipo de soldaduras aquellos procesos que necesitan de gas combustible que aplique la energía necesaria para conseguir fundir el material de aporte.

La soldadura más usada es la soldadura oxiacetilénica.

5. SOLDADURA POR RESISTENCIA

En este tipo de soldaduras se hace pasar una corriente eléctrica de alta intensidad entre los dos metales que se quieren soldar.

Mediante la soldadura por resistencia se pueden soldar todo tipo de metales a excepción de zinc, plomo y estaño.

Dentro de este tipo de soldaduras la más destaca es la soldadura por puntos.

La soldadura por puntos es de especial importancia en el proyecto porque se trata del proceso más utilizado junto con la MIG /MAG para soldar las carrocerías en los automóviles.

Los dos factores en los que se basa la soldadura por puntos son la temperatura y la presión. En primer lugar, se calienta hasta la temperatura de fusión la pieza mediante la corriente eléctrica. Una vez conseguido esto se procede a unir con presión las piezas a soldar.

3.4 SELECCIÓN DE MATERIALES

En este apartado se aplica una gran parte de lo aprendido en las asignaturas del grado que tenían relación con los materiales y que para un ingeniero mecánico son básicas ya que la elección de los materiales es el punto de partida a la hora de diseñar o gestionar un proceso de fabricación industria. Entre otras asignaturas destacan los conocimientos aprendidos en la asignatura de Ciencia de Materiales en las que se aprendió a utilizar el software informático CES EduPack del que disponen los ordenadores de la Universidad y que ha sido de incondicional ayuda a la hora de hacer el proyecto.

A la hora de gestionar la fabricación dentro de una empresa, la elección de los materiales que se van a utilizar para fabricar el producto final debe de ser uno de los aspectos más relevantes ya no sólo por la calidad del producto final, sino porque el coste de las materias primas supone un porcentaje elevado del gasto de la empresa.

Una vez aclarada la importancia de este proceso se va a representar los factores más importantes que hay que analizar a la hora de decantarse por un material u otro.

Lo primero que se compara son las propiedades que tiene cada uno de los materiales, las propiedades de los materiales se clasifican según a lo que se refieran en:

- 1) Propiedades Físicas: Características de cada material en función al orden molecular de cada material.
 - a) Densidad: Representa el peso del material según el volumen de este. Su unidad de medida es (kg/m^3). La densidad es fundamental si se quiere crear un producto ligero como puede ser un monoplaza.
 - b) Resistencia Eléctrica: La oposición del material a la corriente eléctrica. Esta propiedad clasifica los materiales en conductores, semiconductores o aislantes. Es uno de los más importantes en determinados procesos y aplicaciones.

- 2) Propiedades mecánicas: Características que presenta cada material cuando se le someten fuerzas. Son los más importantes desde el punto de vista de los procesos y dependiendo de las características que presentan podrán o no ser sometidos.
 - a) Elasticidad
 - b) Plasticidad
 - c) Resistencia a fractura
 - d) Dureza
 - e) Fragilidad
 - f) Ductilidad
 - g) Maquinabilidad
 - h) Tenacidad
 - i) Resistencia a la fatiga

- 3) Propiedades Térmicas: Reflejan cómo reaccionan los materiales al calor
 - a) Temperatura de Fusión: Determina la temperatura a la cual el material cambia de estado.
 - b) Conductividad Térmica: Indica la capacidad del material para transportar el calor.
 - c) Dilatabilidad

- 4) Propiedades Químicas: Representan la capacidad que tienen los materiales de modificar su composición química en los procesos.
 - a) Oxidación: La oxidación en un material suele limitar la vida de este
 - b) Corrosión
 - c) Estabilidad

- 5) Propiedades magnéticas: Cambios físicos de los materiales cuando son sometidos a un campo magnético. Según las propiedades magnéticas que posean se clasifican en materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.

Junto con estas propiedades hay otros dos factores que tienen tanta importancia o más que estos en un proceso de fabricación.

- Costos y disponibilidad: Estos dos factores van de la mano y son fundamentales a la hora de decantarse por un material. Como se ha mencionado previamente el coste de las materias primas es un porcentaje elevado del coste total y dicho coste dependerá en gran medida de la facilidad de encontrarlos y su proximidad que es lo que llamamos disponibilidad del material.

Una vez se han descrito y citado las propiedades de los materiales que se tienen que analizar a la hora de decidir entre distintos materiales se muestran los distintos procedimientos que se utilizan en la actualidad en el mundo de la fabricación.

A partir de la información que se facilita en el libro (S.R.Schmid) distinguimos tres métodos diferentes para la selección de materiales.

- Método Tradicional: Con este método el encargado en diseñar la pieza escoge el material que piensa es el más adecuado basándose en el material usado en piezas que tienen un funcionamiento similar y que han cumplido su función. Este método tiene buena aceptación ya que nos hace ahorrar tiempo a la hora de escoger ciertos materiales que ya se han estudiado previamente para usarlos en otras piezas de función similar y nos ahorramos realizar ensayos previos.
- Método Gráfico: Con este método se realiza la elección de materiales apoyándose en unas gráficas conocidas como Mapas de Materiales. Sin embargo, este método se usa exclusivamente para utilizarlo en la etapa conceptual debido a que clasifican los materiales en grupos muy grandes y dentro de ellos los materiales que pertenecen a dichos grupos pueden diferir mucho unos de otros.
- Método con la ayuda de Base de Datos: Este es el método más completo ya que el encargado de elegir los materiales se ayuda de una base de datos sobre materiales que ha sido construida a partir de investigaciones en ensayos de materiales. En concreto destaca el software CES EduPack, es la base de datos más usada en el mundo del diseño y la ingeniería. No sólo se usa en Universidades (más de 800 en todo el mundo) sino también a nivel empresarial, entre otras Ferrari, Intel, Nasa etc.

4. CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES.

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se van a exponer los factores principales que van a formar parte del sistema de soporte a decisiones. En primer lugar, se analizará la situación del mercado en el cual queremos situar nuestro producto y se buscará alguna tendencia que nos ayude a decidir la cantidad de unidades que se pueden llegar a producir. Una vez expuesto esto, se dará paso a los elementos fundamentales en el proceso de fabricación, se discutirá acerca de los métodos de fabricación a emplear, la maquinaria necesaria, las infraestructuras y la plantilla necesaria para ello. Por último, se tratará en detalle la estrategia de marketing a seguir por la entidad para conseguir hacerse un hueco en el mercado.

4.2 ANÁLISIS DE MERCADO

A la hora de crear un nuevo negocio y en nuestro caso además de un producto totalmente novedoso en el mercado, uno de los elementos fundamentales para conseguir que triunfe es hacer un buen estudio de mercado. Gracias a un buen estudio de mercado se conseguirá reconocer a qué tipo de clientes les va a interesar nuestro producto y en caso de tener diferentes opciones proceder a realizar una segmentación del mercado. Otro principio básico dentro del análisis del mercado es el estudio de la competencia, con esta información se puede coger información indispensable a la hora de decidir precios y cantidad de producción.

El producto que se trata en el proyecto no tiene ningún precedente similar lo que hace más difícil analizar el mercado y localizar a los clientes potenciales. Sin embargo, tiene unas características muy señaladas que son: eléctrico y es un coche de competición tipo fórmula. Dentro de estas características, pero en otro ámbito mucho mayor se encuadra los vehículos de la nueva Fórmula E, que también son coches eléctricos de tipo fórmula, pero de mucha mayor potencia.

Por todo lo dicho anteriormente, en este proyecto se decide analizar el mercado desde tres áreas diferentes de estudio:

- Vehículos eléctricos
- Kart y Fórmula4
- Fórmula E.

4.2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En el año 2016 se alcanzó un nuevo récord en el registro de nuevos coches eléctricos. Siguiendo así con la dinámica de los últimos años en los que el número de nuevos coches que entran al mercado eléctricos prácticamente se dobla cada año.

Desde el pasado año 2010 el crecimiento en el número de coches eléctricos que se matriculan cada año supera el 30%. Los últimos datos del año 2016 muestran la cantidad de más 750.000 coches eléctricos de nueva matriculación en todo el mundo llegando de esta manera al 1,1% de cuota de mercado, una cifra histórica.¹⁸

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Nuevas Matriculaciones (miles)	47,58	118,06	203,66	323,66	547,12	793,17
Crecimiento (miles)	40,8	70,48	85,60	120,00	223,46	246,05
Porcentaje de Crecimiento (%)	86%	60%	42%	37%	41%	31%

Tabla 2; Matriculación Coches Eléctricos

China es de largo el país que más cantidad de coches eléctricos a matriculado en el año 2016, le siguen los Estados Unidos con más de 150.000 coches. Los países europeos con mayor tasa de coches eléctricos de nueva matriculación son Noruega, UK y Francia.

En la (Tabla 3) se puede apreciar con mayor detalle la cuota de mercado desde los años 2008 al 2015, según los distintos países.

¹⁸ (Agency I. E., 2017)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Canada							0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%
China						0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.4%	1.0%
France							0.1%	0.3%	0.5%	0.7%	1.2%
Germany							0.1%	0.1%	0.2%	0.4%	0.7%
India						0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
Italy								0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
Japan					0.0%	0.1%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.6%
Korea							0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%
Netherlands						0.0%	0.2%	1.0%	2.5%	3.9%	9.7%
Norway				0.2%	0.1%	0.3%	1.5%	3.2%	5.8%	13.7%	23.3%
Portugal							0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.7%
South Africa											0.1%
Spain							0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%
Sweden							0.1%	0.3%	0.5%	1.4%	2.4%
United Kingdom							0.1%	0.1%	0.2%	0.6%	1.0%
United States						0.0%	0.1%	0.4%	0.6%	0.7%	0.7%
Others*							0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	0.7%
Total**				0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.5%	0.9%

Tabla 3; Matriculación Coches Eléctricos por país.¹⁹

Para reflejar mejor todos estos datos recopilados se decide realizar dos gráficos, (Ilustración 8) y (Ilustración 9), en los que se aprecia mejor el crecimiento año a año tanto de número de matriculaciones de coches eléctricos en todo el mundo como el crecimiento en la cuota de mercado.

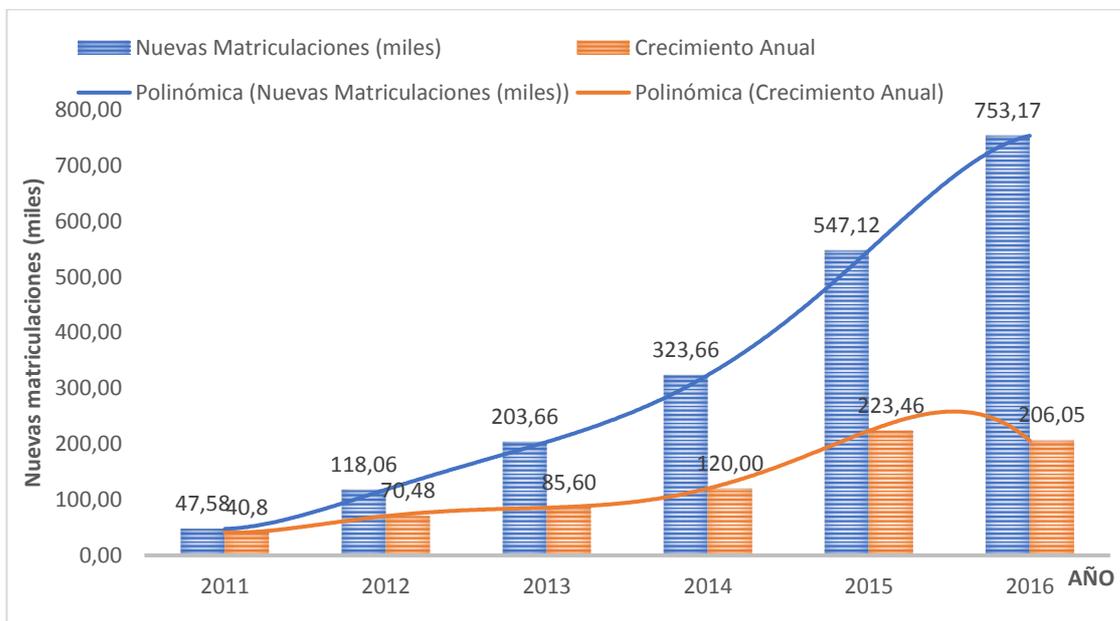


Ilustración 8; Crecimiento Coches Eléctricos.

¹⁹ (Agency I. E., 2016)

La (Ilustración 8) aporta una mejor visión de cómo el mercado de coches eléctricos está en pleno crecimiento y como año a año aumenta en el peor de los casos un tercio de los coches matriculados en el curso anterior.

Otro elemento fundamental que nos ofrece una visión mucho más clara de cara al futuro es la cuota de mercado, más conocido en el término inglés (market share). Esta cuota de mercado nos indica el porcentaje de coches eléctricos que hay en comparación con el total de los coches del mercado. En particular, como se está hablando del número de matriculaciones que se registran cada año, la cuota de mercado que se trata es el porcentaje de coches eléctricos de nueva matriculación con respecto al total de coches que se han matriculado en dicho año.

La (Ilustración 9), sin embargo, se muestra el crecimiento del porcentaje de coches eléctricos en los últimos años con respecto al total de vehículos²⁰.

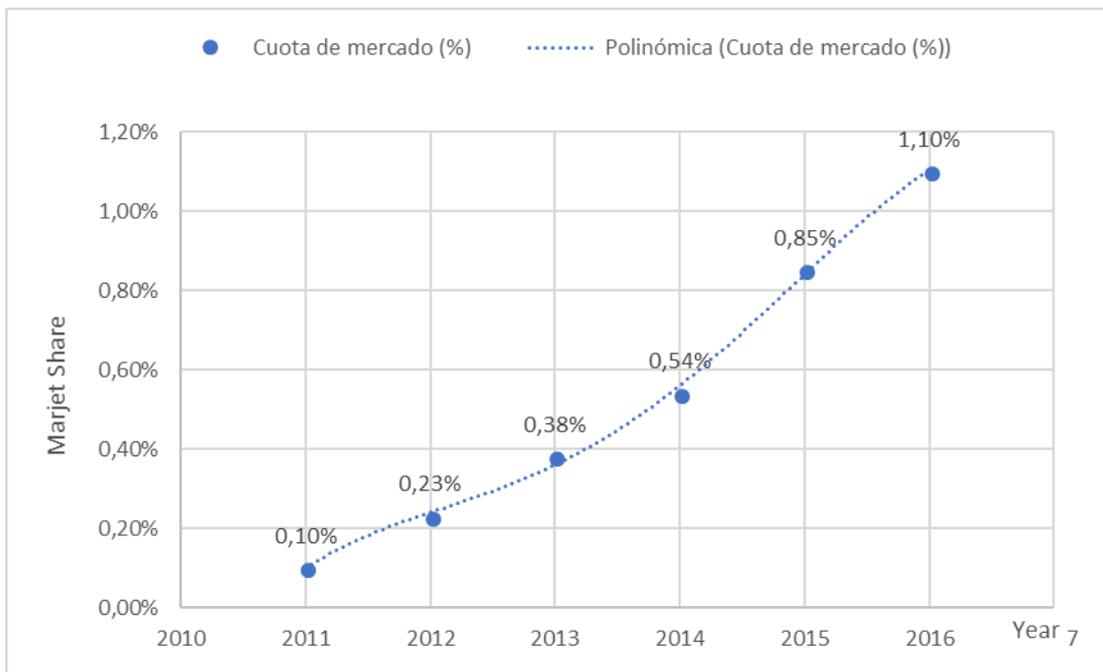


Ilustración 9; Market Share coches eléctricos.

²⁰ (Agency I. E., 2016)

Como la (Ilustración 9) muestra, en los últimos cinco años la cuota de mercado del número de coches eléctricos que salen cada año al mercado ha aumentado por más de diez veces.

Todos estos datos que han sido expuestos se deben a distintas causas de las cuales se va a hablar ahora de forma breve. Las principales causas que han favorecido el protagonismo del coche eléctrico en los últimos años han sido: coste de las baterías, crecimiento de los puntos de carga y las políticas que incentivan al uso del coche eléctrico

- Coste de las baterías.

Uno de los puntos más desfavorables a la hora de comprar un coche eléctrico es su alto coste en detrimento del precio que supone la compra de un coche de combustión. Esto se debe mayormente al precio que suponen las baterías.

En los últimos años a medida que han ido aumentando la producción y el aprendizaje tecnológico se han ido reduciendo los costos de estas. La (Ilustración 10) muestra el coste de las baterías del año 2008 al 2015 y una estimación del precio de estas en los próximos años.

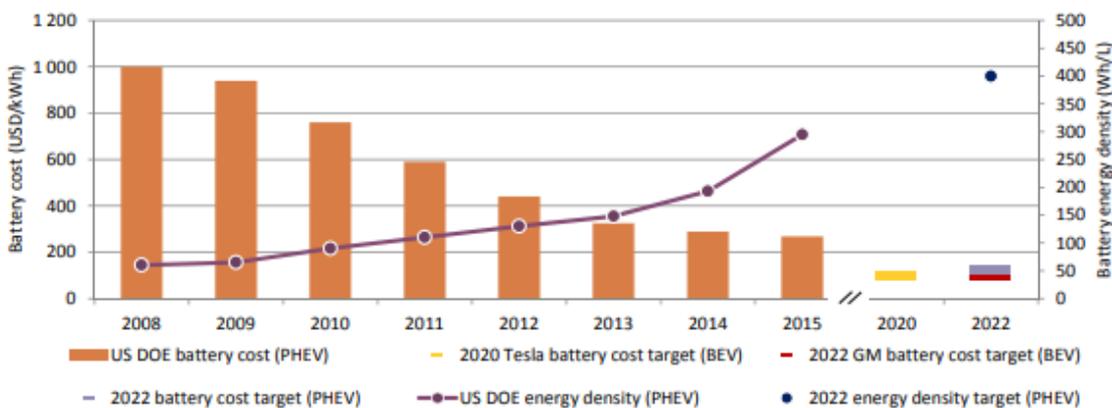


Ilustración 10; Previsión Coste Baterías ²¹

²¹ (Agency I. E., 2016)

- Puntos de carga

El segundo factor clave que hace que los usuarios se muestren reacios a los coches eléctricos son la poca cantidad de puntos de carga que se pueden ver hoy en día, y más aún en nuestro país. Sin embargo, en los últimos años cada vez hay más puntos de carga incluso dichos puntos de carga en la calle facilitan a los usuarios de coches eléctricos lugares de estacionamiento para su uso exclusivo.

- Políticas incentivan al uso del coche eléctrico

El tercer factor clave en el crecimiento de los coches eléctricos son las ayudas y políticas a favor de estos que se están realizando en los distintos gobiernos.

En España, el gobierno ofrece incentivos para facilitar a los usuarios la compra de vehículos eléctricos que como se ha mencionado anteriormente son más caros que los vehículos de combustión. En concreto los usuarios reciben una bonificación de 5.500€ por la compra de un coche eléctrico con más de 90km de alcance y con valor menor a 32.000€.

Otras medidas reseñables que se están aplicando en otros países de la Unión Europea son²²:

- Alemania: Desde el año 2016 hasta el 2020 los compradores de coches eléctricos reciben 4.000€ de ayuda.
- Francia: Los usuarios que desechen su coche de combustión por uno eléctrico reciben 10.000€.
- Holanda: Los vehículos eléctricos no pagan impuesto de circulación y motor hasta el año 2020.

²² (Martínez, 2017)

Para cerrar esta área de estudio se van a mostrar distintas perspectivas que se tienen hoy en día acerca del coche eléctrico en el futuro. En ellas se van a estimar también como se van a comportar los factores de los que se ha hablado previamente y cómo van a influir en el desarrollo de este tipo de coches.

En los próximos años se espera un crecimiento aún mayor del ya visto. En concreto se espera que en el año 2040 la cuota de mercado del coche eléctrico se sitúe en un 54% superando así el número de coches eléctricos de nueva matriculación a los coches de combustión por primera vez en la historia. Además, en este año 2040 también se espera que el 33% de la flota total de coches sean coches eléctricos. Todo esto se debe a que el precio de las baterías eléctricas se prevé que siga bajando de manera más drástica haciendo el que el precio de los eléctricos sea competitivo con respecto a los de combustión.²³

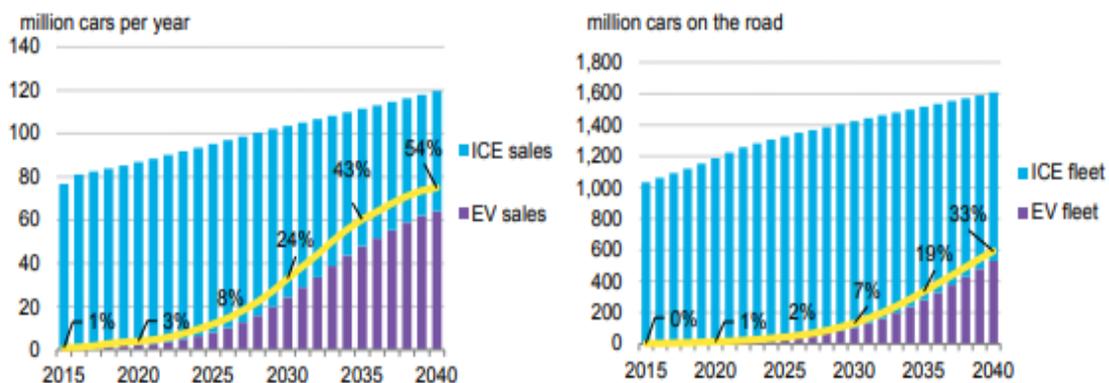


Ilustración 11; Previsión Venta Coches Eléctricos¹⁸

En la (Ilustración 11) se representa el crecimiento estimado que del que se hablaba previamente, siendo los (ICE), vehículos de combustión y los (EV) vehículos eléctricos.

Por otro lado, se pronostica el año en el cual se equipare el precio entre un coche eléctrico y uno de combustión.²⁴

²³ (Agency I. E., 2017)

²⁴ (Soulopoulos, 2017)

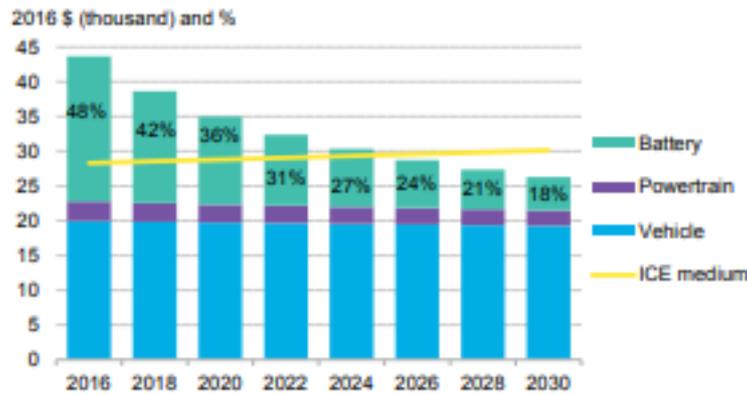


Ilustración 12; Previsión precio de los coches ²⁵

La (Ilustración 12), además muestra como actualmente la mitad del coste de un coche eléctrico se debe al precio de la batería y como a medida que este coste disminuya el coche eléctrico será más competitivo. En este caso se evalúa que el precio de un coche eléctrico y uno de combustión se igualará en torno al año 2025.

4.2.2 KART & FORMULA 4

Una vez definido el punto más general del mercado como era el de los coches eléctricos en general en el mercado, se pasa a estudiar un ámbito más concreto del producto en cuestión. Como se ha citado anteriormente cuando se ha hablado de que es la competición Formula Student, el producto consiste en un coche de tipo Formula eléctrico. En la actualidad no existe ningún precedente similar por lo que debido a que sus características muy similares a las de un Kart y porque con total seguridad este coche va a suponer una competencia a los Karts entre otros tipos de coches se decide estudiar su posición en el mercado.

Con respecto a las dimensiones, se trata de un coche más largo y estrecho ya que frente a unas medidas de Kart (1,75m largo y 1,4m de ancho), el Formula Student tendrá unas dimensiones de 2,5 m de largo y en torno a 1,2m de ancho.

Con respecto a la potencia y velocidad que puede alcanzar estarán en torno a 100km/h y 120 km/h en circuito según los ensayos realizados por el equipo de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI, cuyo producto se trata en este trabajo.

²⁵ (Soulopoulos, 2017)

Por todo esto se decide analizar la situación tanto en el área de la competición como en los negocios relacionados con la categoría de coches Kart.

4.2.2.1 Karting Competición

La modalidad de Karting es la categoría más básica del automovilismo cuya función fundamental es la formación de futuros pilotos de competición. Esta modalidad nació en los 1956 en los Estados Unidos, también se le conoce como Go-Kart debido a que ese era el nombre de la compañía que comenzó a fabricar y distribuir los primeros Kart.

Llegó al continente Europeo, y más concretamente a Italia en el año 1957. Las primeras pruebas en pista se hicieron en el hoy emblemático circuito de Monza donde se disputa el Gran Premio de Italia de Fórmula 1.

En España el karting tuvo un desarrollo más lento en comparación con Italia. En los años sesenta surge la primera empresa llamada Hispakart, que se encargaba de fabricar chasis para este tipo de coches. Sin embargo, la expansión en nuestro país no fue la esperada y durante las décadas siguientes el material con el que se corría en España era importado desde Italia.

Actualmente, el karting es una modalidad para pilotos en formación muy difundida en todo el mundo. Debido a la gran cantidad de pilotos y que su función se resume a ir formándolos, no existe un campeonato europeo ni mundial en el cual compitan sólo algunos pilotos como ocurre por ejemplo en categorías superiores como son la Formula 2 o la Formula1. La FIA es la organización que regula las distintas competiciones de karting que tienen lugar en distintos países y que dependen cada una de sus federaciones.

A partir de los datos obtenidos en las distintas federaciones se muestra el número de pilotos que participan en los últimos años en las principales competiciones que tienen lugar en Europa.

	2015	2016	2017
GERMANY (4 categories)	101	139	149
CEE (7 categories)	162	223	217
BELGIUM (5 categories)			94
DENMARK (5 categories)			118
ESPAÑA (6 categories)			235
UK (4 categories)		100	100
WKC (4 categories)	127	102	172
TOTAL	390	564	1085

Tabla 4; Corredores Karting:

Como se puede observar en la (Tabla 4), la cantidad de competiciones y el número de pilotos en cada una de ellas ha ido en aumento en los últimos tres años. En lo que respecta a España se convierte en el año 2017 contando con seis categorías diferentes en la federación que tiene un mayor número de pilotos.

4.2.2.2 Karting como negocio

En este punto vamos a estudiar la cantidad de negocios y circuitos de Karting que hay en España junto con las tarifas de estos, ya que, nuestro producto podría ser interesante para los dueños de dichos negocios.

Como hemos visto en el punto anterior España se coloca a la cabeza en número de pilotos de Kart de las principales competiciones a nivel europeo. Esto nos indica que hay mucho público en España aficionados a este deporte.

Actualmente es España, existen más de 70 pistas de karting que se distribuyen de la siguiente manera por Comunidad Autónoma²⁶

²⁶ (Castro, 2013)

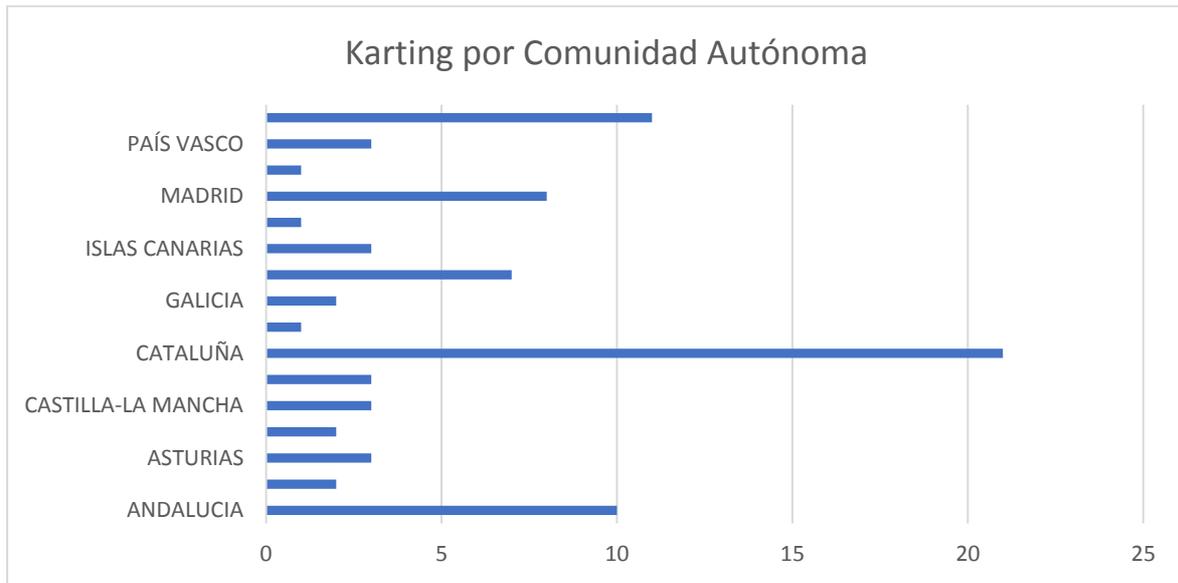


Ilustración 13; Circuitos Karts España

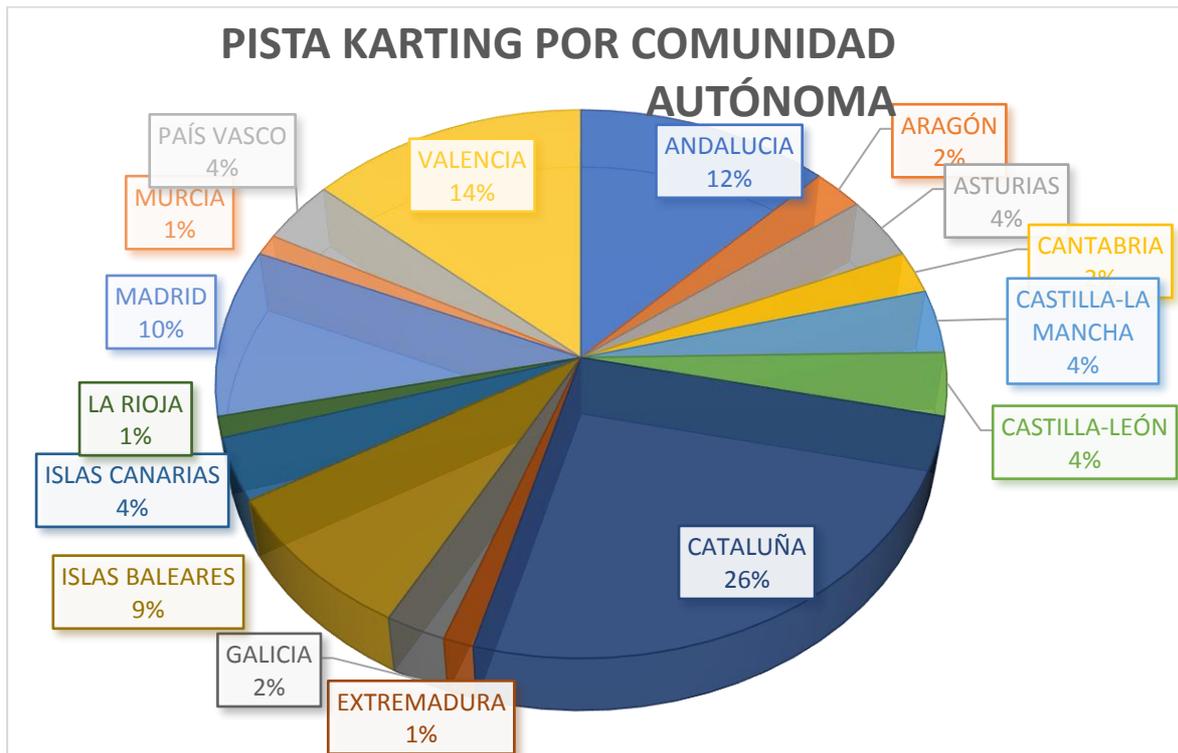


Ilustración 14; Circuitos Kart España (1)

4.2.2.3 Fórmula 4

La FIA Formula 4 también conocida como FIA F4, es una nueva modalidad de competición de coches Formula que nació en marzo de 2013, aunque el primer campeonato que se disputó fue en el 2014.

Al igual que ocurre con el karting esta modalidad es el siguiente paso en la formación de pilotos para que lleguen algún día a ser profesionales. Tampoco existe un único campeonato, sino que hay campeonatos nacionales o regionales todos bajo las mismas reglas y especificaciones.

En España la categoría F4 entraría en vigor en el año 2015, disputándose el primer campeonato al año siguiente. Uno de los aspectos que la diferencia de otras modalidades es que en la F4 en España el promotor (Formula 4 Ibérica) es propietario de los 26 coches que participan y suministra a los pilotos todos los elementos necesarios en cada circuito, siendo así económicamente mucho más accesible para los pilotos el participar y esto lo hace realmente atractivo a los pilotos que provienen del karting dar el salto a la F4 sin necesidad de hacer una gran inversión a costa de sus familias.

Para representar el crecimiento de esta modalidad en todo el mundo y como está ganando fuerza haciéndose un hueco en el automovilismo de competición, se muestra en la (Tabla 5) el número de pilotos compitiendo en los distintos campeonatos desde el año 2015 hasta la temporada pasada, 2017.

	2015	2016	2017
Australian	15	13	14
British	24	21	23
Chinese			23
German	52	46	33
Italian			35
Japanese	62	57	55
Nacam(México)			25
North Europe			26
South East Asia		20	16
Spanish			18
UAE			15
United States		16	39
South American Championship	11	11	
TOTAL	164	184	322

Tabla 5; Participantes F4

En la (Tabla 5), se puede observar la tendencia alcista que tiene la modalidad, como empezaron en 2015 únicamente 5 competiciones y en el año 2017 acabaron teniendo lugar 13 competiciones diferentes en todo el mundo (aún no han subido los datos de la South American Championship de 2017).

4.2.3 FORMULA E

Por último para acabar el estudio de mercado en el cual se encuadra el producto que se trata en el proyecto vamos a hablar de la novedosa Formula E, que está levantando un gran revuelo en el mundo del automovilismo, ya que, a priori se presenta como el futuro de la Formula 1 que como todos es uno de eventos deportivos en los que se mueve más dinero del mundo, y es por ello que gran cantidad de inversores y empresarios están muy atentos a los primeros pasos de esta modalidad.

La Formula E, actualmente denominada ABB Formula E, ya que la empresa ABB es el principal patrocinador de esta, es una categoría de competición de monoplazas eléctricos regulada por la FIA, creada con el objetivo de servir como laboratorio de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos para promover la popularidad de estos en un marco que combina la tecnología con el deporte.

Este objetivo de promover el desarrollo y la investigación sobre coches eléctricos de grandes marcas se está consiguiendo como se pueden ver en estas declaraciones de distintas marcas de alto reconocimiento en la automoción.

Según el artículo (Gibbs, 2015), en la segunda temporada de la Formula E, año 2016, Jaguar y Land Rover, declararon que iban entrarán en la FormulaE en la tercera temporada para evaluar su tren de potencia eléctrico. En ese momento ni Jaguar ni Land Rover tenían vehículos eléctricos en producción, aunque Jaguar estaba trabajando ya para sacar un crossover eléctrico para el año 2017. El director del grupo de ingeniería JLR Nick Rogers dijo: *"The championship will enable us to engineer and test our advanced technologies under extreme performance conditions"*, *"In the next decade we will see more changes in the automotive world than in the last 30,"* y añadió: *"We believe electrification is the future"*.

Como bien adelantaron en estas declaraciones que se han citado, Jaguar creó una escudería que participó por primera vez en el año 2016 y que durante esta temporada 2017-2018 está disputando su segunda temporada. Es importante especificar que Jaguar formó parte de la

Formula 1 durante 5 años, lo cual nos hace indicar el gran interés que suscita esta nueva modalidad.

En el artículo (Gibbs, Aston Martin may join Audi, Jaguar in Formula E, 2017), el autor nos adelanta la intención de la reputada marca Aston Martín de unirse la próxima campaña a la Formula E. El CEO Andy Palmer dijo en una entrevista lo siguiente: *"We don't have an electric car yet, but we will have in 2019. You can imagine the two coming together. I love Formula E"*. También se menciona el anuncio de Porsche y Mercedes-Benz de que van a participar por primera vez en el campeonato de la Formula E en la temporada 2019-20.

Es realmente importante resaltar la intención de Mercedes de unirse a la Formula E, ya que lleva ganando el mundial de constructores de la Formula 1 durante 4 años consecutivos.

Además de este interés que las grandes marcas tienen por esta nueva modalidad, se está produciendo a la vez una caída estrepitosa en la categoría reina del automovilismo, la Fórmula1.

En el artículo (Ciferri, 2016), se reflejan los problemas fundamentales que está atravesando la Formula 1. En primer lugar, se habla de cómo en los últimos años las carreras de Formula 1 apenas tienen emoción lo que hace que la audiencia televisiva se esté reduciendo año a año. Además, se expone como las carreras tienen una duración de 90 minutos, un periodo demasiado largo para el mundo tan rápido y ajetreado en el que vivimos. Se les añade a estos dos problemas uno aún mayor si cabe, desde hace años el reglamento de la competición cambia año tras año haciéndose de esta manera más complicado no caer en confusiones. Por última Ciferri nos habla desde su punto de vista de cómo su padre o su hijo, que antiguamente no se perdían ninguna carrera del mundial actualmente no les importa perderse alguna carrera si por ejemplo coincide con el mundial de MotoGP.

Esta caída del interés en la Formula 1, junto con el crecimiento que está suponiendo la Formula E para las principales marcas de automovilismo puede suponer en pocos años la desaparición de esta y que la Formula E acapare y se lleve todo el capital y las inversiones que hoy se depositan en la F1.

4.3 FABRICACIÓN

En este apartado, se van a definir todos elementos que dentro de la empresa están relacionados con la fabricación del producto. Para ello se va a seguir un orden, empezando desde lo más específico como son los materiales que se van a usar para fabricar las distintas piezas, seguido del método de fabricación de estas, una vez decidido esto se analizará que infraestructuras y espacio necesita la empresa y por último el personal necesario.



Ilustración 15; Proceso estudio proceso fabricación

MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Para cada una de las piezas que se estudian en este proyecto se mencionarán los procesos que existen en la actualidad para su fabricación de acuerdo al marco teórico definido en el capítulo tercero de esta memoria.

Una vez mencionados se procederá al estudio y comparación de los distintos procesos para finalmente decidir el método de fabricación óptimo en cada caso.

MATERIALES

En este proyecto se tratan las piezas de mayor importancia en la fabricación de un monoplace eléctrico. Un coche de competición tiene que cumplir ciertos requisitos mayores en cuanto a que tiene que soportar mayores esfuerzos en las piezas, por lo que se va a tener muy en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales para que cumplan con la seguridad suficiente su función.

El segundo factor que se pretende optimizar en la medida de lo posible es el peso del coche. Cuanto menor sea el peso de este, más velocidad se conseguirá con el coche ya que el motor de todos los que se presentan a la competición son de la misma potencia.

Por último, al tratar en este proyecto el modelo teórico de una empresa que va a producir este tipo de coches en serie, para destacar frente al resto de equipos hay que conseguir hacer el coche más competitivo posible reduciendo hasta el límite el precio de coste del coche, lo que hará el coche más competitivo en el mercado a pesar del elevado precio que tiene frente a los coches de combustión como se ha visto en el apartado de análisis de mercado.

De los tres métodos expuesto en el marco teórico, en este proyecto se decide utilizar el método con ayuda de base de datos ya que no se tiene la experiencia suficiente en el sector para utilizar el método tradicional y de esta manera se obtienen resultados debidamente justificados.

Se utiliza el software citado anteriormente CES EduPack que ya ha sido utilizado en varias asignaturas del grado relacionadas con la ciencia de materiales. De esta manera se evidencia en mayor medida como se aplican los conocimientos que se han adquirido durante los cuatro años de grado a la hora de realizar este proyecto. Las fichas con las propiedades de los materiales escogidos para fabricar las distintas piezas se pueden encontrar en los Anexos de Materiales

MAQUINARIA

Una vez conocido el método de fabricación y el material que va a constituir cada pieza se procede a elegir la maquinaria, equipo o herramientas necesarias para la fabricación de dichas piezas.

Para la búsqueda de las distintas máquinas sobre las que se ha investigado en este proyecto se ha utilizado el siguiente proceso.

1. Búsqueda de proveedores a través de los siguientes buscadores.
 - a. Direct Industry
 - b. AFM (Advanced Manufacturing Technologies)
 - c. ASLAK machine & tools
2. Contacto con los proveedores para facilitarles la información necesaria.
3. Se nos facilita información y características sobre máquinas que cumplen con nuestros requisitos.
4. Se pide un presupuesto detallado a la empresa.

Las hojas técnicas de las máquinas elegidas al igual que los presupuestos detallados que han sido facilitados por los proveedores se encuentran en los Anexos de maquinaria.

Dentro del proceso de fabricación de un coche hay gran cantidad de piezas y elementos, que una vez ensamblados constituyen el coche que en este caso es el producto que se trata. Sin embargo, no todas las piezas son igual de importantes para su estudio a la hora de decidir puntos fundamentales dentro de la gestión de una planta de producción automovilística. Para decidir que piezas o elementos son de obligado estudio se ha atendido a distintas premisas.

En primer lugar, se han considerado piezas fundamentales aquellas sobre las que se tenga que utilizar algún tipo de maquinaria. Esto se debe a que es de vital importancia conocer el tipo de máquina que se necesita para su fabricación que sin lugar a duda conllevará una inversión de capital de la empresa para comprar o alquilar dicha máquina o en su defecto tener que externalizar el proceso a otra empresa. Normalmente este tipo de piezas son aquellas que necesitan de un diseño particular y no se pueden comprar directamente en el mercado, es decir, son personalizadas.

Otro aspecto importante a la hora de decidir que piezas analizar es la función e importancia de dicha pieza para el conjunto del coche. En este registro ya nos encontramos con piezas que se pueden comprar a diferentes proveedores y no necesitan estar personalizadas, pero debido a su coste e importancia final en el producto necesitan de un estudio a la hora de decidir qué modelo y proveedor elegir.

Una vez aclarado el proceso que se ha seguido a la hora de decidir que piezas estudiar o no, vamos a estudiar cada una de ellas en detalle.

4.3.1 CHASIS

El primer elemento que se va a analizar es la construcción del chasis. Su diseño depende de los requisitos de la competición²⁷. El chasis se presenta como el elemento más importante a la hora de construir un coche porque en él se soportan los demás sistemas que forman un vehículo como son la dirección, la suspensión, frenos etc.

Se pueden distinguir dos tipos de chasis:

²⁷ (Formula Student Rules , 2017)

- Chasis monocasco: Es un tipo de estructura muy fácil de producir y que se usa actualmente por la mayor parte de los fabricantes de coches debido a su facilidad para producir coches en serie. Sin embargo, no son rentables a la hora de producir pequeñas cantidades y tienen un peso elevado.
- Chasis tubular: Este tipo de chasis consiste en la soldadura de secciones tubulares que van a conformar al final acaban formando el chasis. Este tipo de chasis tiene un peso mucho menor por lo que es recomendado para los coches de competición

El producto que se trata en este proyecto se sitúa dentro de la competición automovilística y eso hace que el chasis a fabricar sea tubular.

4.3.1.1 Materiales

Las reglas de la competición²⁸ aportan ciertas restricciones a la hora del diseño del chasis:

- El material del que tiene que estar hecho el chasis tiene que ser Acero.
- El espesor mínimo de los tubos que conformen el chasis es de 2mm.

El ICAI Speed Club, el equipo encargado de fabricar el coche, decide utilizar tubos con un espesor de 2,9mm.

Para la elección del acero se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Límite Elástico: Se busca un acero que tenga un límite elástico superior a 200MPa. Cuanto mayor sea este, mejor.
- Densidad: Al ser un coche de competición cuanto menor sea el peso de este mejor, por lo que se buscarán aceros de baja densidad.
- Proceso: Los tubos que formarán el chasis serán posteriormente soldados por lo que el acero escogido tiene que soldable.
- Precio: Cuanto menor sea el precio del material, más abarataremos los costes que es algo esencial.

²⁸ (Formula Student Rules , 2017)

De esta manera se siguen los siguientes pasos en el software CES EduPack para elegir los aceros que cumplen en mayor medida los factores anteriores.

El primer paso consiste en realizar un gráfico en el cuál se coloca en el eje X el precio en (€/kg) y en el eje Y la densidad en (kg/m³).

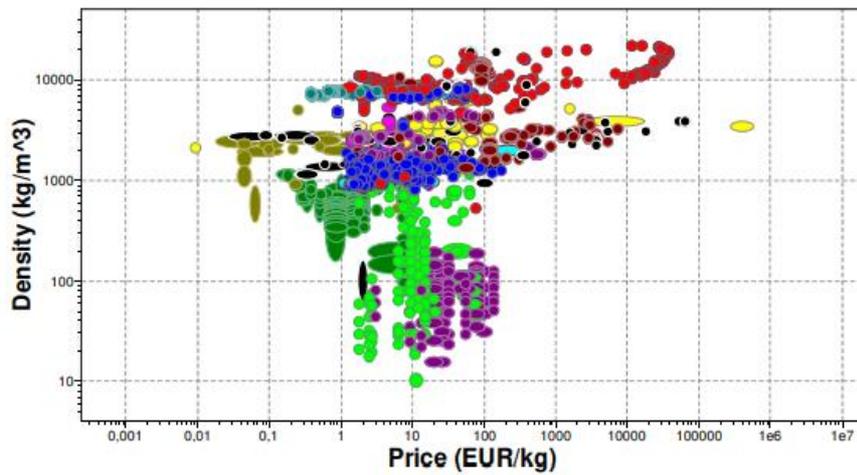


Ilustración 16; Densidad vs Precio (chasis)²⁹

En segundo lugar, seleccionamos dentro de todos los materiales aquellos que son aceros, quedándose el siguiente gráfico.

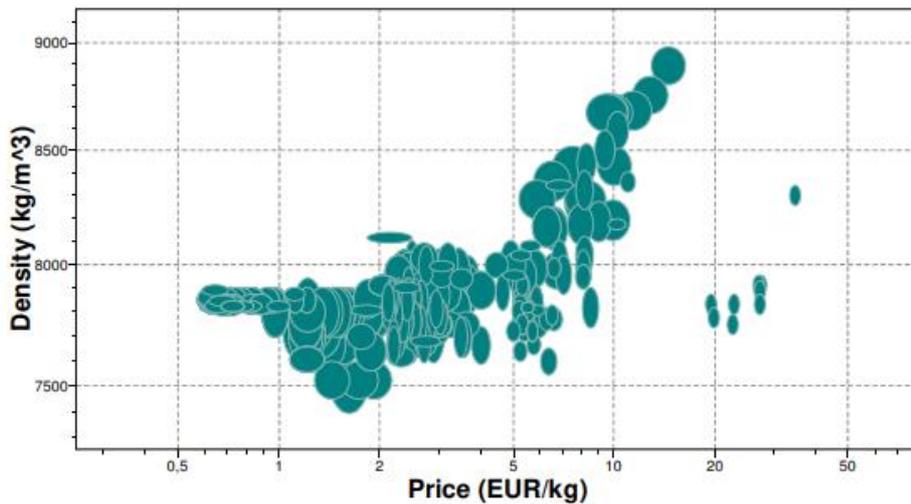


Ilustración 17; Acero densidad vs precio (chasis)³²

²⁹ CES EduPack

En tercer lugar, se establece el límite de mostrar en el gráfico sólo aquellos aceros que responden de forma buena o excelente a un proceso de soldadura. Obteniéndose el siguiente gráfico.

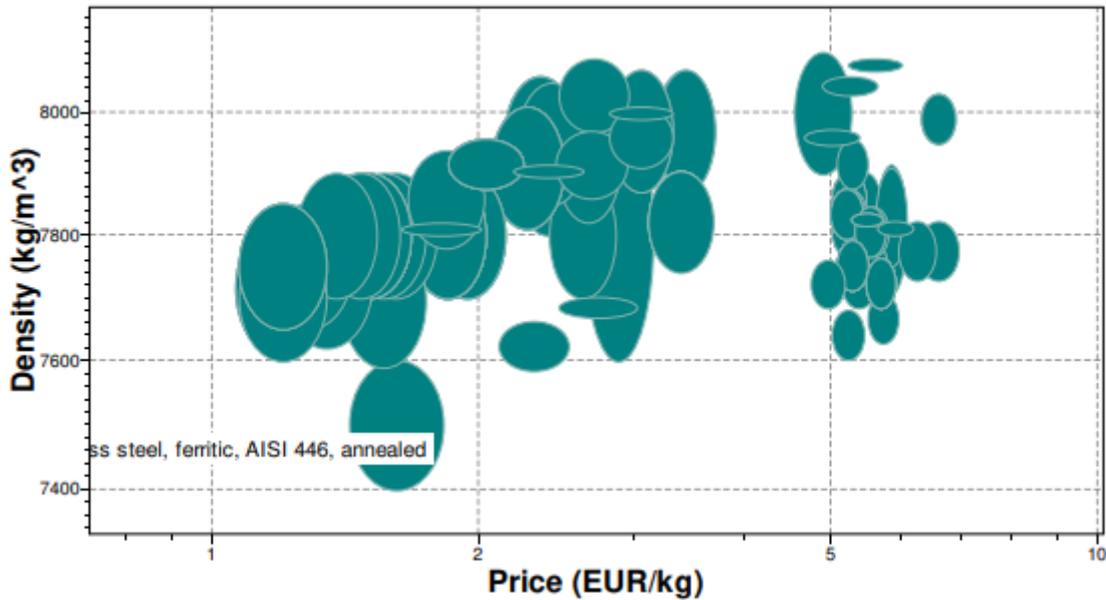


Ilustración 18; Aceros soldadura densidad vs precio (chasis)³⁰

En la (Ilustración 18) destaca respecto al resto de aceros el acero AISI 446 debido a que es con diferencia respecto al resto de aceros soldables el que tiene una densidad considerablemente menor al resto y está dentro del grupo con menor precio.

Sin embargo, aún queda evaluar el límite elástico de los aceros soldables que quedan y para ello se realizan dos gráficos, uno que relaciona el límite elástico con el precio y en el segundo el límite elástico con la densidad del material.

³⁰ CES EduPack

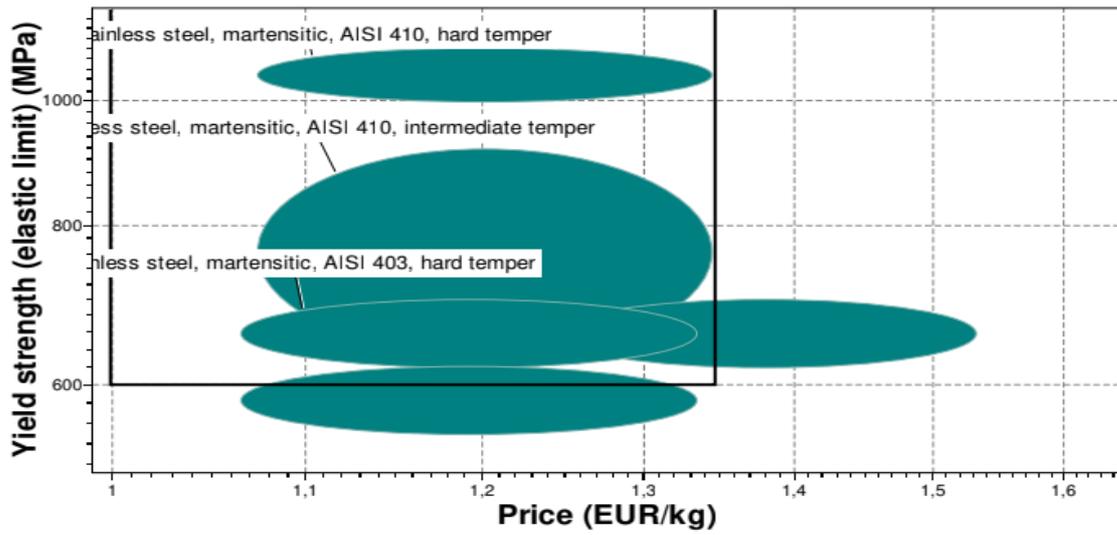


Ilustración 19; Límite elástico vs precio (chasis)³¹

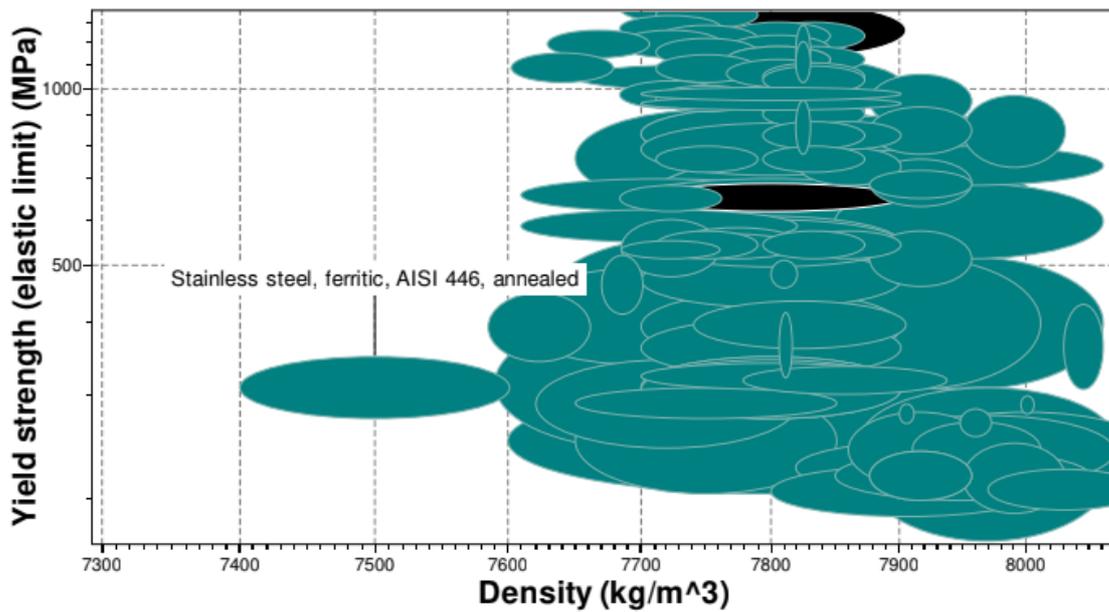


Ilustración 20; Límite Elástico vs Densidad.³⁴

De las (Ilustraciones 19 y 20) se sacan tres aceros interesantes en el primer gráfico debido a su alto límite elástico y su bajo precio que son respectivamente.

³¹ CES Edupack

Acero AISI 410 hard temper.

Acero AISI 410 intermediate temper.

Acero AISI 403 hard temper.

Por último, de estos cuatro aceros seleccionados con la ayuda de las características sacadas del programa CES EduPack que se presentan en los Anexos de materiales, se realiza la (Tabla 6) que recoge el límite elástico, la densidad y el precio de los cuatro materiales.

Tipo de Acero	Límite Elástico (MPa)	Densidad (kg/m³)	Precio (€/kg)
<i>AISI 446 annealed</i>	275 - 350	7.4e3 - 7.6e3	1.43 - 1.83
<i>AISI 403 Hard Temper</i>	620 - 700	7.61e3 - 7.82e3	1.07 - 1.33
<i>AISI 410 Hard Temper</i>	1000 - 1100	7.65e3 - 7.85e3	1.07 - 1.34
<i>AISI 410 Intermediate Temper</i>	634 - 917	7.65e3 - 7.85e3	1.07 - 1.34

Tabla 6; Materiales Chasis

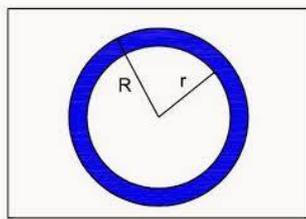
4.3.1.1.1 Cálculos

El primer cálculo que se realiza es el volumen (m³) de acero necesario para fabricar el chasis. Para ello se utilizan los planos del chasis realizados por el equipo de ICAI Speed Club.

No es de vital importancia conocer con una precisión exacta el volumen de acero que se necesita, ya que, para ello habría que dedicar demasiado tiempo al análisis de la geometría utilizada para el chasis que como se muestra en los planos es bastante compleja. A pesar de esto sí que en vistas de decidir entre distintos materiales para fabricar el chasis y tener un presupuesto orientado del coste de las materias primas se analiza de forma estimada el volumen necesario.

Para ello se realiza una tabla en Excel en la que se describe los diferentes conjuntos que forman el chasis, la longitud de cada uno de los tubos (este dato es el que no es exacto), el espesor de los tubos y el radio interior. Finalmente se calcula el volumen total de cada tubo y se acaban sumando para dar un volumen de acero total para fabricar el chasis.

1. Se calcula el área de cada tubo (mediante la fórmula de la corona circular) cuya ecuación es:



$$\text{Area Corona} = \pi * (R^2 - r^2)$$

Ilustración 21; Área Corona Circular

32

2. Una vez hallada el área se multiplica por la longitud del tubo

Nombre	Número de piezas	Longitud Pieza (mm)	Longitud Total (mm)	Espesor (mm)	Radio Interior Tubo(mm)	Volumen Total (mm3)
Plano 1	1					1174326,06
Tubo 1-1	4	426,9	1708	2,9	26,9	882100,55
Tubo 1-2	1	565,7	566	2,9	26,9	292225,51
Plano 2						1133465,11
Tubo 2-1	1	1780,7	1781	2,9	26,9	919862,05
Tubo 2-2	1	413,5	414	2,9	26,9	213603,05
Plano 3						2530020,99
Tubo 3-1	1	2471,6	2472	2,9	26,9	1276762,54
Tubo 3-2	1	885,1	885	2,9	26,9	457219,02
Tubo 3-3	1	895	895	2,9	26,9	462333,09
Tubo 3-4	1	646	646	2,9	26,9	333706,34
Plano 4						964442,33
Tubo 4-1	1	737,6	738	2,9	26,9	381024,46
Tubo 4-2	2	338,4	677	2,9	26,9	349616,80
Tubo 4-3	1	452,6	453	2,9	26,9	233801,07
Conjunto 1-2	1	6095,2	6095	2,9	26,9	3148617,51
Conjunto 2-3	1	5984,8	5985	2,9	26,9	3091587,81
Conjunto 3-4	1	5980	5980	2,9	26,9	3089108,26
Conjunto 4-5	1	292,12	292	2,9	26,9	150901,39
Soporte Tras	2	539,1	1078	5	26,9	995858,30
Jacking Point	1	300	300	2,9	26,9	154971,99
TOTAL						16433299,74

Tabla 7; Cálculo volumen acero chasis

Una vez conocido el volumen en (m³) que se necesita para fabricar el chasis se realiza una tabla que muestre los kg de cada material necesarios para fabricar el chasis y el precio final para cada material. La (Tabla 8) junto con la realizada en el capítulo cuarto se utilizará en el capítulo siguiente donde se decide el material a usar para fabricar el chasis.

Tipo de Acero	Densidad media (kg/m ³)	Cantidad necesaria (kg)	Precio Unitario (€/kg)	Precio Final (€)
AISI 446 annealed	7500	123,25	1,63	200,90 €
AISI 403 Hard Tempered	7715	126,78	1,20	152,14 €
AISI 410 Hard Tempered	7750	127,36	1,21	153,47 €
AISI 410 Intermediate Temper	7750	127,36	1,21	153,47 €

Tabla 8; Cálculo precio acero chasis

4.3.1.1.2 Decisión

Para la elección del material del chasis se crea una última tabla (Tabla 9) que recoge la información más importante mostrada en estas dos tablas anteriores (Tabla 7) y (Tabla 8).

Tipo de Acero	Límite Elástico (MPa)	Peso (kg)	Precio (€)
<i>AISI 446 annealed</i>	275 - 350	123.25	200.9 €
<i>AISI 403 Hard Temper</i>	620 - 700	126.78	152.14 €
<i>AISI 410 Hard Temper</i>	1000 - 1100	127.36	153.47 €
<i>AISI 410 Intermediate Temper</i>	634 - 917	127.36	153.47 €

Tabla 9; Tabla comparativa acero chasis

Viendo los datos recogidos en la (Tabla 9), se llega a la determinación de que la diferencia en el peso de los 4 materiales va a ser mínima, sin embargo, hay una gran diferencia de precio entre el acero AISI 446 y los demás por lo que este se descarta. Entre los tres materiales restantes se decide escoger el **AISI 403 Hard Temper**.

4.3.1.2 Método de Fabricación

Para fabricar el chasis del coche, se tienen que realizar dos procesos independientes:

1. Corte de las secciones tubulares
2. Soldadura de las secciones

Existen distintos métodos de corte con los cuáles se podrían cortar perfiles tubulares. Sin embargo, dichos perfiles pasan a ser soldados entre ellos por lo que el corte de estos perfiles debe de ser muy preciso y automatizado de manera que se consigan las especificaciones que se han diseñado.

Corte perfiles tubulares

En la industria se trabajan tres métodos diferentes para el corte de metal para soldaduras de precisión como ofrece entre otras la empresa PRAXAIR, especializada en este tipo de procesos.

- OXICORTE: Es un método muy rentable para el corte de chapas. Se aplica habitualmente en aceros al carbono o aceros de baja aleación. Se puede realizar este tipo de corte de forma manual si el espesor no es muy grande (menos a 100mm).
- CORTE PLASMA: En este proceso el metal es cortado al fundir un área de este mediante un arco eléctrico y posteriormente eliminándola mediante la aplicación de gas ionizado a alta velocidad. Destaca que se puede usar para corte de materiales no ferrosos y permite cortar una amplia gama de espesores.
- CORTE LÁSER: Es un procedimiento de corte térmico, se funde el material que se va a cortar al igual que en el corte plasma y dicho material se desaloja gracias a un gas de asistencia. La principal ventaja de este tipo de corte es su productividad, ya que, es capaz de obtener cortes de alta calidad a elevadas velocidades. Su mayor desventaja es el alto coste de los equipos que realizan este tipo de corte.

Soldadura

Una vez decidido el proceso de corte de las secciones se pasa a analizar el tipo de soldadura a utilizar para la unión de estas. Ya en el marco teórico se han mencionado los distintos procesos de soldadura que existen actualmente.

El chasis es el cuerpo del coche, si éste falla el coche en sí no vale absolutamente para nada. Ya a la hora de decidir el sistema de corte de los perfiles se ha hablado de la importancia de la precisión en la fabricación de esta además de que se busca un buen acabado superficial. De esta forma y con la información que se muestra en el marco teórico se decide realizar la soldadura de arco eléctrico por su buen acabado y sobre todo por la precisión de esta.

El material de los perfiles tubulares que se ha elegido es el AISI 403 Hard Temper, se trata de un acero inoxidable por lo que primero vamos a exponer que procesos son convenientes para soldarlos. Los tres procesos más usados para la soldadura de acero inoxidable como el elegido son:

- SMAW
- TIG
- MIG

Se realiza una tabla comparativa de los tres procesos.

PROCESO	PRECISIÓN	LIMPIEZA	PRECIO	ESPESOR
SMAW	Buena	Mala	Bajo	amplio
TIG	Excelente	Excelente	Alto	Hasta 7mm
MIG	Buena	Buena	Alto	Hasta 6mm

Tabla 10; Tipos soldadura ³³

³³ (Galbarro, s.f.)

4.3.1.2.1 Decisión

Una vez analizados los procesos que podemos utilizar para el corte y la soldadura de los perfiles tubulares, se decide cual vamos a utilizar.

En primer lugar, el oxicorte se descarta debido a que las piezas a cortar son tubos y no chapa plana. Se nos plantea la duda entonces entre el corte plasma y el corte láser. No debemos olvidar que el ensamblaje del coche no puede realizarse hasta que el chasis este fabricado, y que todos los sistemas van unidos a él. Por lo tanto, es de vital importancia la velocidad a la que podamos fabricar el chasis de cada uno de los coches a fin de reducir el tiempo de fabricación y poder aumentar la producción.

Finalmente, y debido a la necesidad de producir el chasis a la mayor velocidad y con la precisión que se indique en el diseño se decide utilizar el **proceso de corte láser** para el corte de las secciones tubulares.

En cuanto al proceso de soldadura, observando la (Tabla 10) y los requerimientos de calidad y precisión necesarios para fabricar el chasis el mejor posicionado es el TIG. Se le añade a esto que el proceso **TIG** es altamente recomendado en la soldadura de tubos por lo que finalmente se escoge este proceso de soldadura.

4.3.1.3 Maquinaria

El tercer punto de estudio es la maquinaria necesaria para fabricar el chasis a partir del proceso de fabricación empleado y el tipo de material. En este caso como se ha establecido en el punto anterior vamos a necesitar dos tipos de maquinaria. Primero se buscarán máquinas de corte láser automatizadas para el corte de los perfiles tubulares. En segundo lugar, todas las herramientas y equipos necesarios para realizar la soldadura TIG.

Máquinas de Corte Láser

Para la búsqueda de la máquina de corte láser se utilizó el buscador online Direct Industry. Los requisitos que se necesitan de la máquina de corte láser son:

- Material a tratar: Acero
- Sistema de Control: CNC
- Sección: Tubular

Se consiguió información de cinco máquinas de corte láser diferentes. En la (Tabla 11) se muestran los modelos, proveedores de estas de estas.

Modelo	Proveedor
<i>Tube Fiber Laser Cutting Machine P2060</i>	Golden Laser
<i>Tube Fiber laser Cutting Machine P3080</i>	Golden Laser
<i>Sheet and Pipe Fiber Laser Cutting Machine PE-F3015B</i>	Perfect Laser
<i>Fiber Laser Tube Cutting System CT-FTC-1500-GC60I</i>	Chutian Laser Group
<i>Fiber Laser Tube Cutting System CT-FTC-1000-GC60I</i>	Chutian Laser Group

Tabla 11; Máquinas corte Láser 1

Equipo y herramientas de soldadura

El equipamiento necesario para realizar una soldadura TIG debe constar de:

- Generador de alta frecuencia.
- Generador de corriente continua y/o corriente alterna.
- Pinza porta-electrodo.
- Gas de protección.

Se han obtenido presupuesto de dos equipos de soldadura del proveedor TELWIN.

MODELO	VOLTAJE	PRECIO
TECNICA 190 TIG DC-LIFT	190 V	428.12€
INFINITY TIG 225 DC-HF	225 V	666.82€

Tabla 12; Equipo de Soldadura

Se pide consejo al proveedor para obtener una opinión más detallada de la aplicación que pueden tener los dos equipos. El proveedor afirma que las especificaciones de calidad y precisión que requiere la soldadura de los tubos no pueden realizarse con el equipo de menor voltaje, y que además no es adecuada para el uso de un especialista. Por esto se decide utilizar la **INFINITY TIG 225 DC-HF**.

En segundo lugar, se investiga la compra del gas de protección a usar, en este caso argón obteniéndose el siguiente producto.

MODELO	PROVEEDOR	CAPACIDAD	PRECIO
Botella Gas Argón	SURGALI	10 litros	165 €/und

Tabla 13; Gas soldadura a partir de datos del proveedor SURGALI.

El último elemento que se necesita es el electrodo. Para ello se utiliza la información detallada el artículo de Ingemecánica.³⁴ De todos los electrodos que se citan, el electrodo **E410 NiMo-1** es el que se utiliza para acero inoxidable del tipo 403 como es nuestro caso.

4.3.1.3.1 Decisión

Para decidir la máquina de corte láser se crea una tabla comparativa con los siguientes aspectos: Potencia de la máquina, Intervalo de diámetro de tubo, longitud máxima de tubos y las dimensiones de la máquina.

MODELO	POTENCIA (W)	DIÁMETRO (MM)	LONGITUD (MM)	DIMENSIONES (LARGO X ANCHO)
P2060	1200	20-200	6000	9.6 x 2.5
P3080	1200	30-200	8000	9.6 x 2.5
F-500-3015B	500	20-200	6000	3.95 x 2.25
FTC-1500-GC60I	1500	20-200	6000	11 x 1.1
FTC-1000-GC60I	1000	20-200	6000	11 x 1.1

Tabla 14; Máquinas corte Láser 2

³⁴ (Galbarro, s.f.)

Como ya los fabricantes habían adelantado todas las máquinas cumplen con los requisitos de los tubos que se van a cortar. Destaca la máquina F-500-3015B por sus pequeñas dimensiones en comparación con el resto, algo que puede ser clave para escoger una infraestructura de menos dimensiones y por lo menos precio.

Sin embargo, el principal problema de las máquinas de corte láser es su elevado precio. Esto unido a que todas las máquinas de corte láser cumplen con la función que desempeñarían en la fabricación del coche hace que a la hora de decidir que máquina de corte láser nos basemos en el precio parar decidir entre ellas.

<i>Máquina</i>	<i>Precio</i>
<i>Golden Laser ; Tube Fiber Laser Cutting Machine P2060</i>	130.000\$
<i>Golden Laser ;Tube Fiber laser Cutting Machine P3080</i>	150.000\$
<i>Perfect Laser ; Sheet and Pipe Fiber Laser Cutting Machine PE-F3015B</i>	51.800\$
<i>Chutian Laser Group; Fiber Laser Tube Cutting System CT-FTC-1500-GC60I</i>	100.000\$
<i>Chutian Laser Group; Fiber Laser Tube Cutting System CT-FTC-1000-GC60I</i>	88.000\$

Tabla 15; Máquinas corte Láser 3

En la (Tabla 15) sobresale el modelo de Perfect Laser que tiene un precio muy reducido en comparación con las demás y que además coincide con ser la máquina de menor dimensiones, algo que puede ser doblemente beneficioso. Esto se debe a que es la máquina con menos potencia de todas, pero esto no es significativo ya que con 500W de potencia se asegura que se puede cortar el material elegido con espesor máximo de 5mm.

Aun siendo la Perfect Laser una máquina barata en comparación con el resto supone una inversión demasiado grande para una empresa nueva, por este motivo se externalizará el proceso durante los primeros dos años donde la producción de coches no superará los 150 coches por año.

4.3.2 TRIÁNGULOS DE SUSPENSIÓN

Al ser un coche de competición, de los sistemas que se han presentado en el marco teórico se ha escogido es el sistema independiente y dentro de todos los tipos que hay el equipo decide usar el de paralelogramo deformable. Por lo que cada rueda dispondrá de dos triángulos de suspensión uno superior y otro inferior.

4.3.2.1 Materiales

Para elegir el material a emplear para la fabricación de los triángulos realizamos los tres primeros pasos de igual forma que se hizo para analizar el material del chasis y que se refleja en las Ilustraciones 16,17 y 18.

Una vez que tenemos los aceros soldables en un gráfico que relaciona el precio y la densidad de estos procedemos a establecer los límites que tienen que cumplir los materiales.

Desde los ensayos realizados por el ICAI Speed Club se obtiene que los materiales de los que se fabriquen los triángulos de la suspensión tienen que soportar un límite elástico de 175MPa, debido a la responsabilidad de la pieza se decide aplicar un coeficiente de seguridad de 2.

n = coeficiente de seguridad

Y_e = Límite elástico ensayos.

Y_r = Límite elástico real

$$n = \frac{Y_e}{Y_r}$$

Aplicando la fórmula resulta un límite elástico real de 350MPa.

Añadiendo este requisito se nos queda la (Ilustración 22).

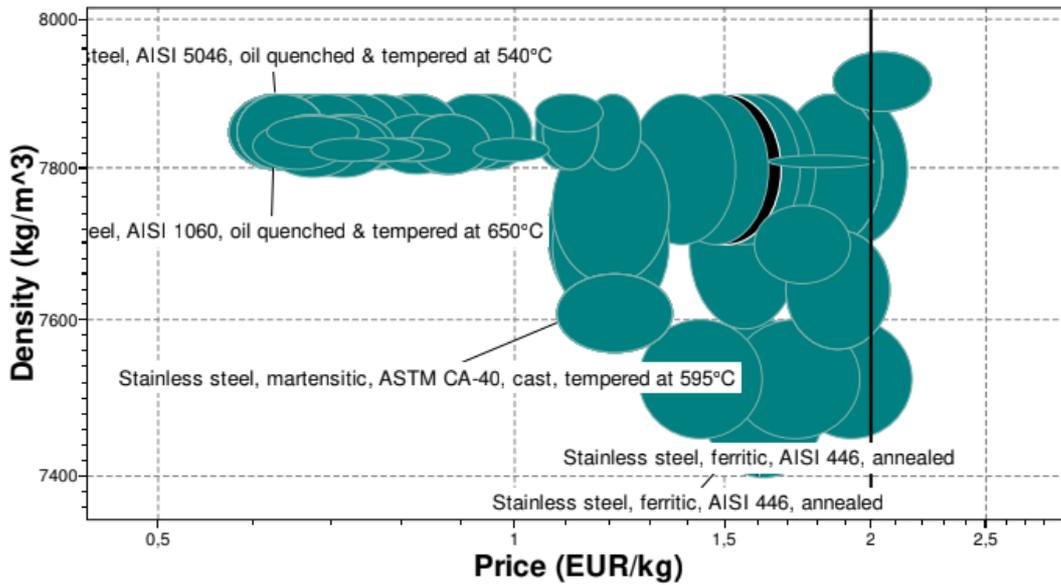


Ilustración 22; Acero triángulos densidad vs precio³⁵

Dentro de este gráfico podemos observar tres tendencias distintas. En la parte superior izquierda destacan un grupo grande de materiales los cuáles tienen el menor precio, a su vez la densidad más alta de los que se seleccionan los dos más destacados. Por otro lado, en la parte inferior derecha sobresale un material que no es de los más caros, no llega a 2€/kg y tiene la densidad más baja. Y por último al no aparecer ningún material en la franja inferior izquierda que es la óptima se escoge el material más cercano a esa zona.

De esta manera nos quedamos con cuatro materiales entre los que elegir para la fabricación de los triángulos, cuyas fichas se muestran en los Anexos. Para que sea más fácil analizar aquel más adecuado se realiza una tabla comparativa en la que se muestran, su precio, densidad, precio y velocidad de corte recomendada.

³⁵ CES EduPack

Tipo de Acero	Límite Elástico (MPa)	Densidad (kg/m³)	Precio (€/kg)	Velocidad de corte (m/min)
<i>AISI 5046</i>	690 – 840	7.8e3 – 7.9e3	0.582 – 0.689	17.7
<i>AISI 1060</i>	465 – 580	7.8e3 – 7.9e3	0.573 – 0.689	21.3
<i>AISI 446</i>	275 – 205	7.4e3 – 7,6e3	1.43 – 1.83	26.8
<i>ASTM CA-40</i>	815 – 910	7.56e3 – 7.66e3	1.08 – 1.35	14.9

Tabla 16; Acero triángulos

4.3.2.1.1 Cálculos

Antes de determinar que acero elegir para la fabricación de los triángulos vamos a calcular la cantidad de acero en m³ que se necesitan, gracias a los planos de la pieza proporcionamos por el ICAI Speed Club. Para ello se procede de la misma forma que con los cálculos del chasis en la (Tabla 17).

Nombre	Número de piezas	Longitud Pieza (mm)	Longitud Total (mm)	Espesor (mm)	Radio Interior Tubo(mm)	Volumen Total (mm ³)
Triángulos Delanteros	2					353553,701
Superior	1	562	562	1,25	15	68967,94
Inferior	1	737	737	1,25	18	107808,91
Triángulos Traseros	2					126827,41
Superior	1	305	305	1,25	18	44615,63
Inferior	1	562	562	1,25	18	82209,78
TOTAL						480381,11

Tabla 17; Cálculo volumen acero triángulos

Una vez tenemos los m³ que se necesitan se realiza de igual manera que con el chasis una tabla comparativa con el peso y el precio que se tendría al usar los cuatro aceros.

Tipo de Acero	Densidad media (kg/m ³)	Cantidad necesaria (kg)	Precio Unitario (€/kg)	Precio Final (€)
AISI 5046	7850	3,77	0,64	2,40 €
AISI 1060	7850	3,77	0,63	2,38 €
AISI 446	7500	3,60	1,63	5,87 €
ASTM CA-40	7610	3,66	1,22	4,44 €

Tabla 18; Precio Acero Triángulos

4.3.2.1.2 Decisión

Prestando atención a la (Tabla 18) se observa que el peso de los triángulos por cada coche es prácticamente el mismo. En cuanto al precio se diferencian dos aceros con un precio bastante menor, por lo que se descartan el Acero AISI 446 y el Acero ASTM CA-40.

Finalmente se decide utilizar el **Acero AISI 1060** para la fabricación de los triángulos porque a pesar de tener peso y precio muy similar al Acero AISI 5046, tiene una velocidad de corte mayor, por lo que reducirá nuestro tiempo de fabricación y será más fácil encontrar una máquina para mecanizarlo.

4.3.2.2 Método de Fabricación

La fabricación de los triángulos se llevará a cabo en tres pasos. En primer lugar, se cortarán los tubos de igual manera que se hizo con los tubos que formaban el chasis. Seguidamente se soldarán siguiendo el mismo método que en el chasis. Por último, y a diferencia de los tubos que componen el chasis, en los triángulos se alojan unos rodamientos para unirse así al cuerpo del coche.

Dichos rodamientos tienen mandan una tolerancia M7 que tiene que mecanizarse en los triángulos de la suspensión como viene indicado en los planos. Para realizar dicho mecanizado se utilizará un proceso de fresado.

4.3.2.3 Maquinaria

A partir de los métodos de fabricación y los materiales que se han escogido para hacer los triángulos se define la maquinaria a usar.

Como el método de fabricación de corte de los perfiles tubulares y la soldadura de estos es igual a la que se realiza con el chasis, la maquinaria a utilizar será la misma y ya se habló de ella previamente.

De esta manera, la única máquina que se necesita es una fresadora.

Una vez facilitada la información a varios fabricantes de dichas máquinas se obtiene el siguiente modelo que se ajustan perfectamente al material y proceso que se tiene que hacer con ellas.

<i>Descripción</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Precio</i>
<i>Fresadora Torrera FTV 2</i>	LAGUN Machinery	17.500 €

Tabla 19; Fresadora

Las características detalladas enviadas por el fabricante y el presupuesto se muestran en los Anexos de maquinaria.

4.3.3 Mangueta

La mangueta es una de las piezas que piezas más importantes dentro de un coche tanto por su función como por el precio de estas. En este caso al tratarse de un coche de competición su función aumenta aún más si cabe por lo que su estudio es imprescindible.

4.3.3.1 Método de Fabricación

Para fabricar la mangueta se pueden llevar a cabo distintos procesos que se han explicado más detalladamente en el marco teórico. Los dos principales son:

Fundición

La primera opción sería fabricar la mangueta por fundición, y dentro de los tipos de fundición los únicos que llegan a la precisión que se desea obtener y capaces de reproducir la geometría compleja serían la fundición a presión o a la cera perdida. El problema de la fundición es que es un proceso reservado para grandes lotes de piezas ya que conlleva el coste de un molde y modelo que hay que amortizar.

Mecanizado

En segundo lugar, se puede fabricar a partir de un proceso por arranque de viruta. Sin embargo, para realizar la geometría tan compleja y con las tolerancias especificadas se tardaría o bien mucho tiempo y se necesitaría de un personal cualificado o por el contrario habría que invertir en una máquina de control numérico.

Se muestra una tabla para comparar de forma más clara los distintos procesos

PROCESO	COSTE	PRECISIÓN	PROPIEDADES
FUNDICIÓN	MUY ELEVADO	BUENA	EXCELENTES
MECANIZADO	ELEVADO	EXCELENTE	BUENAS

Tabla 20; Proceso fabricación mangueta ³⁶

4.3.3.1.1 Decisión

Ambos procesos son de características muy similares y como se puede apreciar van a condicionar en gran medida el coste de fabricación porque requieren de una inversión de capital muy grande.

El factor clave para decidir entre ellos es que en ambos casos habría que invertir en una maquinaria específica para realizar los procesos, pero en el caso de la fundición además habría que amortizar el coste del molde y del modelo haciendo grandes tiradas de piezas. En este proyecto se analizan los primeros cinco años de un negocio, el negocio además no está pensado para grandes lotes de piezas como puede hacer una planta industrial como la de Seat en España, sino que se asemeja más a la cadena de producción de vehículos exclusivos de gran coste. Por esto y porque además se ve que el invertir en una máquina de control numérico puede resultar beneficioso para realizar alguna otra operación se decide optar por realizar la mangueta mediante un **proceso de mecanizado a través de máquinas de control numérico**.

4.3.3.2 Materiales

Siguiendo los ensayos llevados a cabo por el ICAI Speed Club reflejan que la mangueta debe de soportar unos esfuerzos en sus picos más altos de 150MPa.

Como se conoce la importancia de esta pieza en los sistemas de dirección y suspensión se decide aplicar un coeficiente de seguridad para así reducir los riesgos de fallo de la pieza. En un vehículo comercial se podría aplicar un coeficiente que esté entre el 1,5-2, sin embargo,

³⁶ (Galbarro, s.f.)

como el producto del que se habla en este proyecto es un monoplaza destinado a la competición se incrementará este coeficiente hasta el 2,5.

n = coeficiente de seguridad

Y_e = Límite elástico ensayos.

Y_r = Límite elástico real

$$n = \frac{Y_e}{Y_r}$$

De la ecuación anterior se obtiene que el límite elástico real que tiene que tener el material del que se fabrique la mangueta es de 300MPa. Obteniéndose el siguiente resultado.

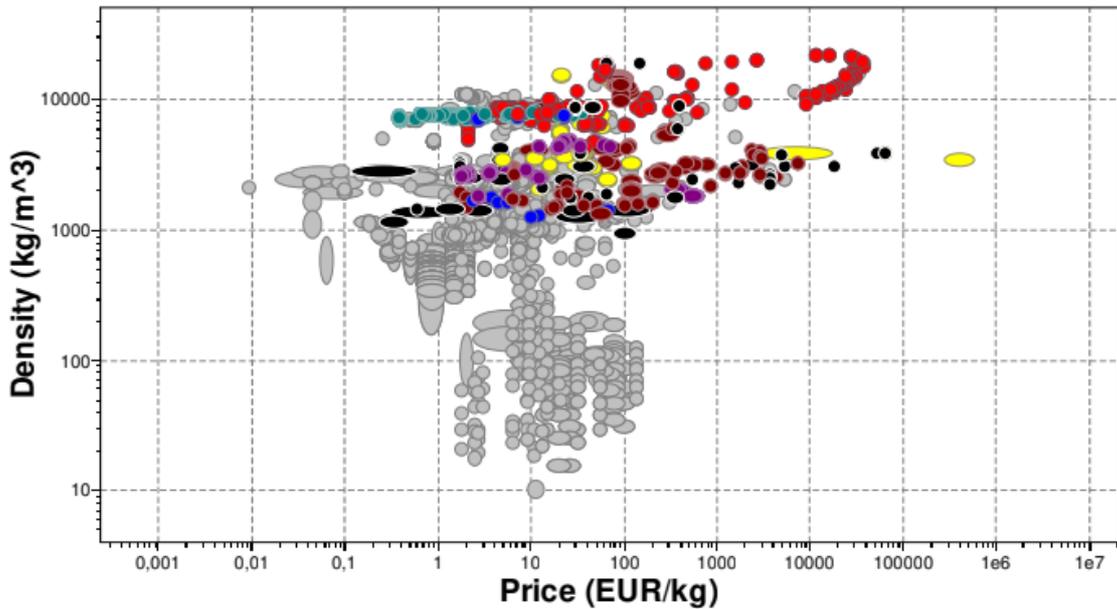


Ilustración 23; Material Mangueta 1³⁷

En el gráfico se muestran en gris los materiales que no superan los 300MPa, y seguiremos estudiando aquellos materiales marcados en color.

³⁷ CES EduPack

El segundo requisito particular que tiene la mangueta es que tiene que mecanizar fácilmente por lo que el material que se elija debe de tener una velocidad de corte adecuada relativamente alta, ya que a la hora de mecanizar no se debe superar la velocidad de corte que viene recomendada en cada material. Se establece como límite inferior de velocidad adecuada de corte del material 100m/min. Una vez aplicado este límite nos quedamos con el siguiente gráfico.

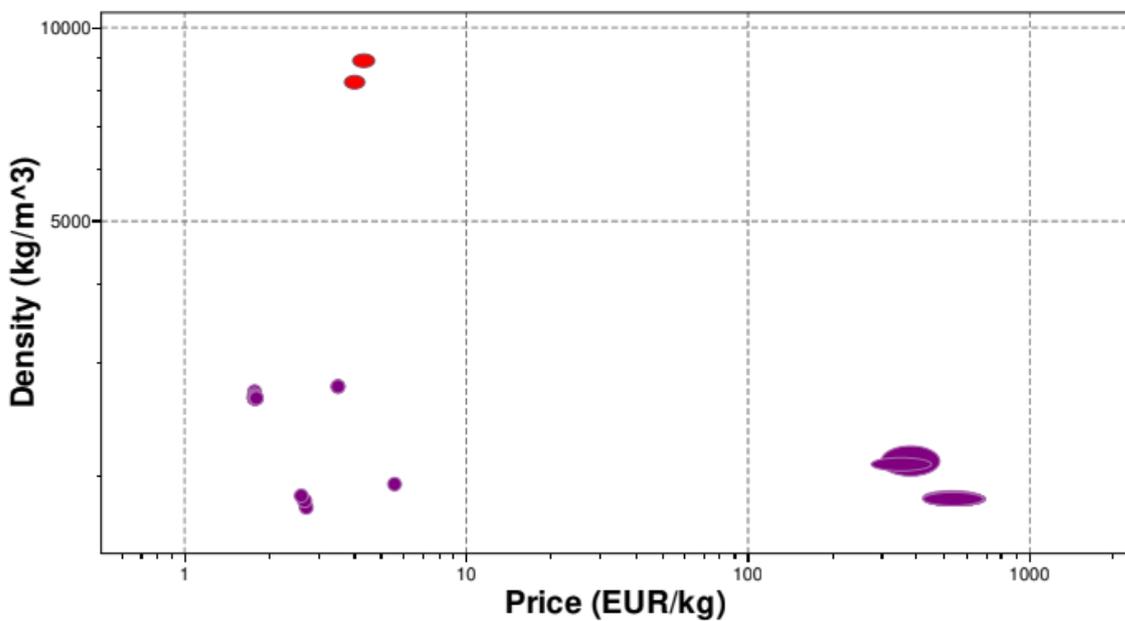


Ilustración 24; Material Mangueta 2³⁸

Nos quedamos con pocos materiales al aplicar el segundo requisito y además podemos reducirlo aún más eliminando del estudio los materiales coloreados en rojo que tienen una densidad demasiado elevada y los materiales que se muestran en la zona inferior derecha por su alto coste.

³⁸ CES EduPack

Quedando los materiales de la (Tabla 21) e (Ilustración 25).

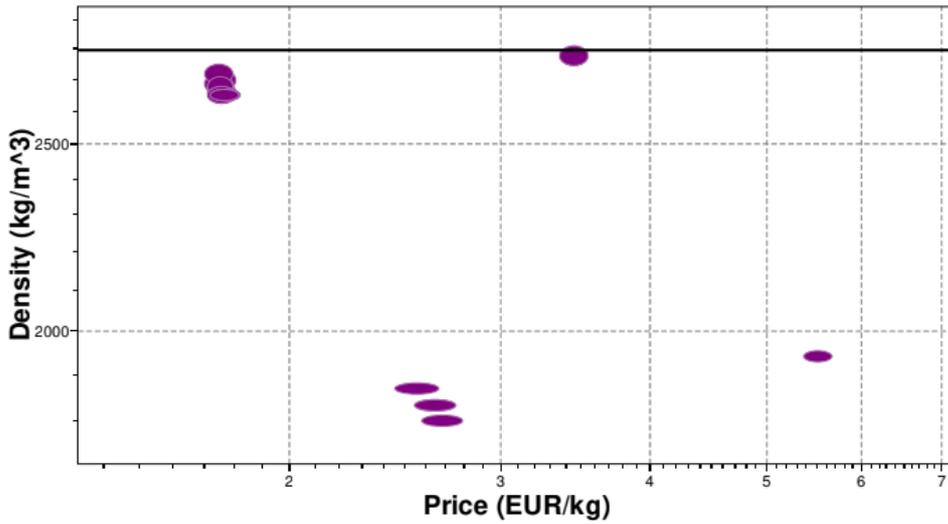


Ilustración 25; Material Mangueta 3³⁹



Name	Density (kg/m ³)
Magnesium, Elektron ZW3, F	1,79e3 - 1,81e3
Magnesium, ZK60A-F	1,83e3 - 1,84e3
Magnesium, ZK60A-T5	1,83e3 - 1,84e3
Magnesium, ZC71	1,87e3 - 1,88e3
Magnesium, EA55RS, T4	1,94e3 - 1,95e3
Aluminum, 5182, H34	2,63e3 - 2,68e3
Aluminum, 5182, H19	2,63e3 - 2,68e3
Aluminum, 5182, H18	2,63e3 - 2,69e3
Aluminum, 5182, H16	2,63e3 - 2,69e3
Aluminum, 5086, H36	2,64e3 - 2,67e3
Aluminum, 5083, H323	2,64e3 - 2,67e3
Aluminum, 5086, H38	2,64e3 - 2,67e3
Aluminum, 5083, H343	2,64e3 - 2,67e3
Aluminum, 5086, H34	2,64e3 - 2,67e3
Aluminum, 5754, H19	2,65e3 - 2,71e3
Aluminum, 5251, H18	2,66e3 - 2,72e3
Aluminum, 6063, T83	2,66e3 - 2,72e3
Aluminum, 6082, T6	2,67e3 - 2,73e3
Aluminum, 3004, H38	2,69e3 - 2,75e3
Aluminum, 7020, T5	2,75e3 - 2,81e3
Aluminum, 7020, T6	2,75e3 - 2,81e3

Tabla 21; Materiales Mangueta⁴⁰

³⁹CES EduPack

⁴⁰ CES EduPack

Se observa que es una lista demasiado extensa, para reducirla se toman ciertas decisiones. Debido a que existe un gran número de materiales que tienen una densidad y precio muy parecidas se decide realizar con todos los criterios anteriores un gráfico en el que se relacione el límite elástico y el precio (€/m³).

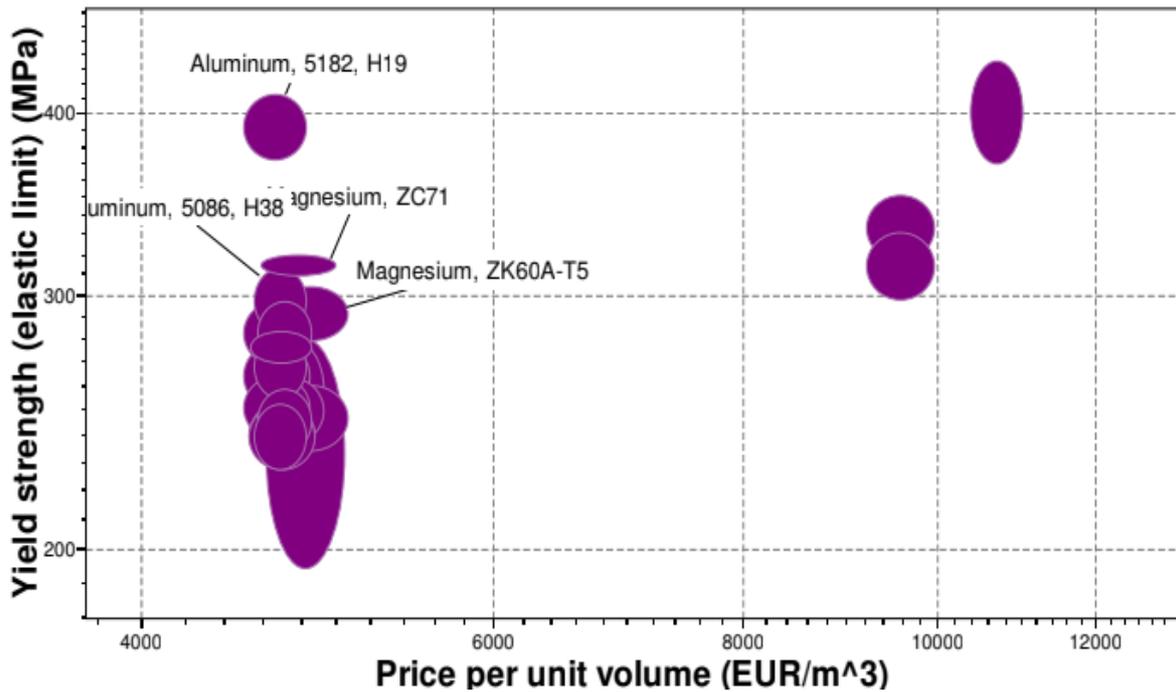


Ilustración 26; Materiales Mangueta 4⁴¹

De esta manera se seleccionan los cuatro materiales más cercanos a la esquina superior izquierda sobre los que se decidirá uno. En LA (Tabla 22) se muestran sus características más importantes.

⁴¹ CES EduPack

<i>Material</i>	<i>Límite Elástico (MPa)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Precio (€/kg)</i>	<i>Velocidad de corte (m/min)</i>
<i>Aluminum 5086, H38</i>	283-313	2.64e3 – 2.67e3	1.72 – 1.81	116
<i>Aluminum 5182, H19</i>	465 - 580	2,63e3 – 2.68e3	1.71 – 1.8	104
<i>Magnesium ZC71</i>	310 - 320	1.87e3 – 1.88e3	2.45 – 2.66	189
<i>Magnesium ZK60A</i>	280 - 304	1.83e3 – 1.84e3	2.54 – 2.75	183

Tabla 22; Materiales mangueta

4.3.3.2.1 Decisión

En la (Tabla 22) se observa una gran diferencia entre precio y densidad entre los cuatro materiales. En el primer grupo se ve a dos materiales con un precio menor y una densidad relativamente más alta mientras que por el otro lado hay dos materiales más caros y de menos densidad.

Las manguetas son piezas de dimensiones no muy grandes y con las densidades tan bajas que tienen los cuatros materiales en comparación a la de los aceros empleados en triángulos y chasis resulta poco valorable esta diferencia en el peso con respecto al precio. De esta manera se descartan las dos aleaciones de magnesio Magnesium ZC71 y Magnesium ZK60A,

Para acabar con la decisión nos fijaremos en la velocidad de corte y posteriormente en el límite elástico.

La velocidad de corte será clave ya que como se ha descrito anteriormente las manguetas se van a mecanizar. Cuanto mayor sea la velocidad de corte, menor será el tiempo empleado en mecanizarlas y más fácil será encontrar una máquina para ello.

El límite elástico del Aluminum 5086, H38, (283-313), se encuentra entre muy próximo se obtuvo tras aplicar el coeficiente de seguridad (300), por lo que sería mejor el otro material.

De esta manera y sin tener que recurrir a cálculos como se hizo con otras piezas se decide utilizar el **Aluminum 5182, H19**.

4.3.3.3 Maquinaria

Debido a la complejidad de geometría que tienen las manguetas, al usar como proceso de fabricación el mecanizado las únicas máquinas capaces de realizar dicha fabricación son las máquinas de mecanizado por control numérico, las llamadas comúnmente máquinas CNC.

El control numérico por computadora (CNC) es un sistema que permite controlar la posición de un elemento. En el caso de las máquinas los elementos que son controlados son las herramientas de corte.

Mediante la combinación de unas órdenes precisas y un programa que las ejecuta, se consigue controlar la posición exacta de la herramienta por un sistema de coordenadas. Pero no sólo maneja la posición, este sistema controla también la velocidad de corte y el tipo de mecanizado que se realiza.

Además de que permite realizar mediante mecanizado, lo que supone un ahorro en la fabricación de las piezas, también aumenta la velocidad de producción de estas ya que, al ser un proceso totalmente automatizado, al introducir las órdenes en el programa dicho operario puede empezar a ejecutar otras actividades hasta que termine el proceso seleccionado, aumentando así la eficiencia de trabajo.

Actualmente en las máquinas de mecanizado por control numérico se distinguen varios tipos de máquinas que se reflejan en la (Ilustración 27).

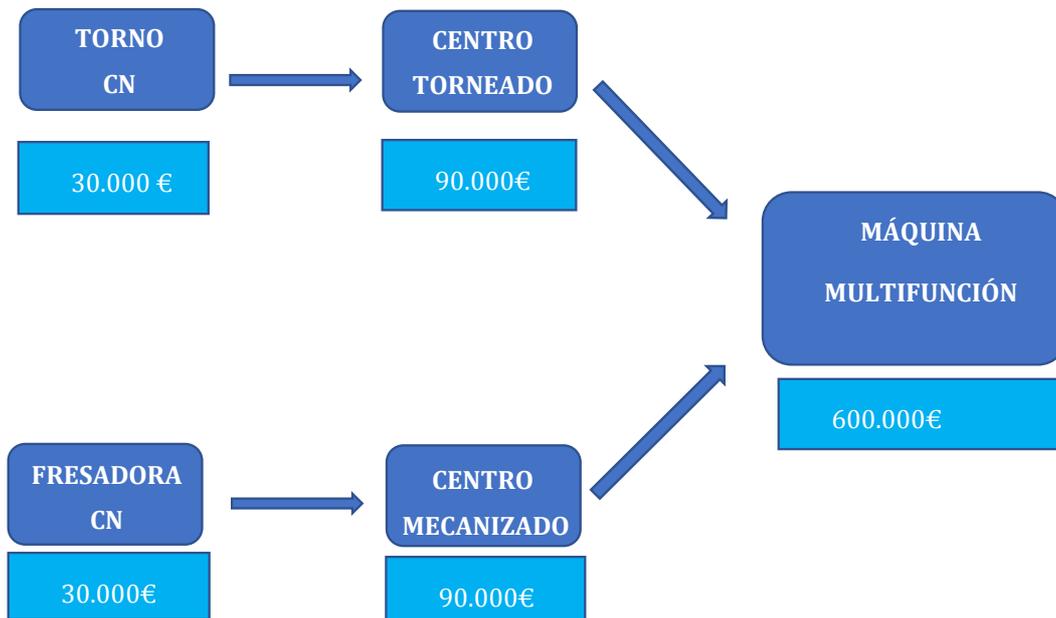


Ilustración 27; Máquinas CN

En el gráfico se observa las distintas máquinas de control numérico que realizan procesos de mecanizado.

- Torno CN: Realiza torneado de piezas con geometría compleja.
- Fresado CN: Fresado de piezas que no se pueden conseguir mediante el fresado manual
- Centro de Torneado: Combina operaciones de torneado con una alta velocidad y precisión además de ciertas operaciones de fresado.
- Centro de Mecanizado: Mejora las prestaciones del fresado de una fresadora de control numérico y además añade procesos de torneado
- Máquina Multifunción: Son las conocidas como multitasking, son las máquinas de mayor velocidad y precisión que hay en el mercado y además combinan procesos de fresado con torneado. Cualquier proceso que se mecaniza por complicado que sea puede hacerse con estas máquinas.

Como bien se aprecia en la (Ilustración 27), el precio de incluso la máquina más barato de control numérico supone un desembolso brutal para una empresa de nueva apertura como la que se trata en este proyecto. Este contratiempo hará que se estudie el caso de externalizar la fabricación de la mangueta durante los primeros 5 años.

4.3.4 Bujes

Los bujes son piezas que pertenecen al sistema de suspensión del automóvil. Su principal función es la de minimizar las vibraciones y el desgaste de las en las piezas más importantes de la dirección y la suspensión.

Dependiendo de a que ruedas se acople, directrices o motrices se conectan de forma diferente. En las ruedas motrices se acoplan en los extremos de los semiejes de la transmisión, mientras que en las ruedas directrices se conectan a la dirección y suspensión del vehículo a través de las manguetas.

4.3.4.1 Método de Fabricación

En el monoplaza se fabrican dos bujes, el buje delantero conectado a las ruedas directrices y el buje trasero que se acoplan en las motrices traseras.

Las dos piezas se fabrican mediante un proceso de mecanizado. Sin embargo, mientras el buje trasero precisa de la fabricación de un estriado que se encargará de transmitir la fuerza del par motor a las ruedas. Dicho estriado necesita de un mecanizado especial que ya se ha descrito con anterioridad, la electroerosión.

El proceso de mecanizado se divide en torneado, fresado y rectificado.

4.3.4.2 Materiales

En lo que respecta a los materiales, el buje delantero y el trasero utilizan distintos materiales debido a que el segundo necesita de un proceso de electroerosión y es imprescindible que sea buen conductor. Además de esta característica ambos materiales al fabricarse mediante un proceso de mecanizado se buscan que los materiales se mecanicen con facilidad y que su coste sea lo más bajo posible. El peso esta vez pasa a tener un papel secundario, aunque puede utilizarse para decidir entre dos materiales con propiedades similares.

En primer lugar, siguiendo las instrucciones del ICAI Speed Club, el material del que se fabrican los bujes debe de ser acero, se realiza un gráfico en CES EduPack que compare la velocidad de mecanizado con el precio del material.

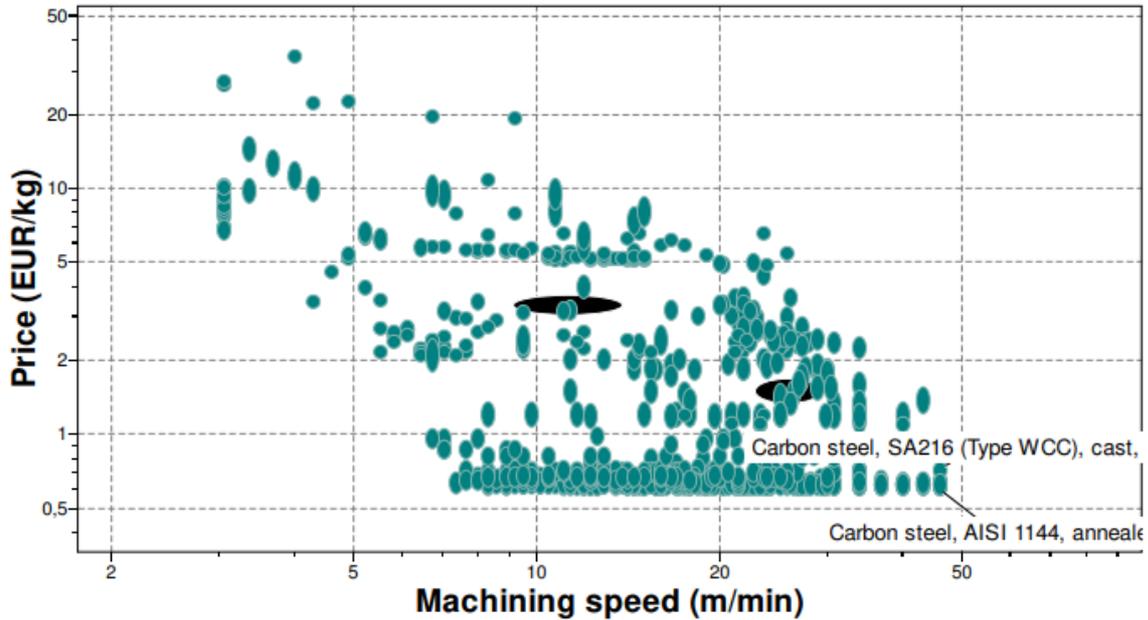


Ilustración 28; Materiales bujes 1⁴²

Los materiales que se encuentran en la esquina inferior derecha, SA216 y AISI 114, son los que mejor se adaptan a las necesidades del buje delantero que no precisa de una buena conductividad eléctrica.

Tipo de Acero	Límite Elástico (MPa)	Densidad (kg/m³)	Precio (€/kg)	Velocidad de corte (m/min)
AISI 1144	310 - 385	7.8e3 - 7.9e3	0.573 - 0.689	45.7
SA 216	228 - 241	7.81e3 - 7.84e3	0.671 - 0.779	45.7

Tabla 23; Materiales buje delantero

⁴² CES EduPack

El siguiente paso es encontrar de estos aceros, uno que sea buen conductor eléctrico. Para ello, se establece como límite que tenga una resistencia eléctrica que no supere los $20 \times 10^{-8} (\Omega m)$.

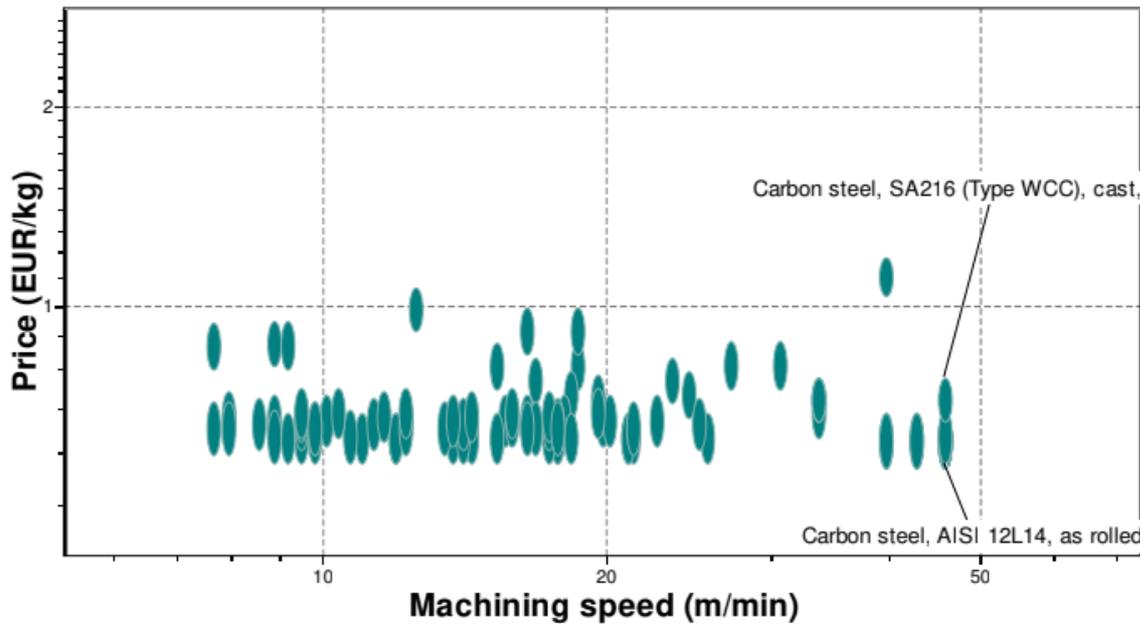


Ilustración 29; Materiales bujes 2⁴³

De todos los aceros que cumplen esta condición se cogen aquellos que tenga menor precio y mayor velocidad de mecanizado en este caso son: SA216 y el AISI 12L 14.

Tipo de Acero	Electrical Resistivity (Ωm)	Densidad (kg/m^3)	Precio ($\text{€}/kg$)	Velocidad de corte (m/min)
AISI 12L14	$12 - 17,4 \times 10^{-8}$	$7.8e3 - 7.9e3$	$0.582 - 0.698$	45.7
SA 216	$13 - 14,3 \times 10^{-8}$	$7.81e3 - 7.84e3$	$0.671 - 0.779$	45.7

Tabla 24; Materiales buje trasero

⁴³ CES EduPack

4.3.4.2.1 Cálculos

En primer lugar, se realiza el cálculo del precio de materia prima que se tendría que utilizar en caso de utilizar los distintos materiales.

Las fichas de los materiales extraídas del software CES EduPack indican el precio medio por kg de cada material. Al fabricarse mediante un proceso de mecanizado, es decir, por arranque de viruta la cantidad de materia prima que se debe de comprar tendrá que tener un volumen ligeramente superior a las dimensiones máximas de largo y ancho de la pieza en cuestión.

Gracias a los planos de la pieza diseñada por el ICAI Speed Club, se obtiene que el buje delantero tiene un largo de 157mm y un ancho y alto de 140mm. Por otro lado, el buje trasero tiene unas dimensiones de 127mm de largo y al igual que el delantero un ancho y alto de 140mm. Los bloques de materia prima a usar tendrán 5mm de material adicional por cada lado para realizar el mecanizado de la forma correcta.

Con estas dimensiones se calcula el volumen total de la materia prima, que, junto con la densidad y el precio unitario de cada material, calcula el precio total de materia prima necesaria por pieza.

Material	Volumen (mm ³)	Densidad (kg/m ³)	Precio (€/kg)	Precio Total
AISI 1144	3757500	7850	0,631	18,61 €
SA216	3757500	7820	0,725	21,30 €
AISI 12L14	3082500	7850	0,64	15,49 €
SA216	3082500	7820	0,725	17,48 €

Tabla 25; Precio materiales bujes.

4.3.4.2.2 Decisión

Como muestra la (Tabla 25), la velocidad de mecanizado de los 4 materiales analizados es la misma por lo que el tiempo de mecanizado de las piezas será el mismo sea cual sea el material.

En caso del buje delantero que no precisa de buena conductividad eléctrica se decide utilizar el material **AISI 1144**, porque de los dos es el que tiene el precio más bajo y el límite elástico cumple con los requisitos.

El material del buje trasero se fabrica con un acero que es buen conductor eléctrico. Ambos materiales estudiados tienen una resistividad similar y son válidos para el proceso de electroerosión al que se tienen que someter. En lo que respecta al precio el usar el material AISI 12L14 en comparación con el SA S216 nos hace ahorrar 2€ por cada pieza lo que a la larga cuando se fabriquen lotes de más de 200 coches supone una diferencia importante. Por este motivo se elige el acero **AISI 12L14**.

4.3.4.3 Maquinaria

Se necesitan las siguientes máquinas para completar el proceso de mecanizado (torneado, fresado, rectificado) que se necesita para fabricar los bujes.

- Torno
- Fresadora
- Rectificadora

En el caso de la fresadora se utiliza la misma que se necesita para el proceso de fabricación de los triángulos de la suspensión. El torno y la rectificadora que se necesitan se muestran en la (Tabla 26).

<i>Descripción</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Precio</i>
<i>Torno Convencional Pinacho ML-18-200-42</i>	PINACHO	13.354€
<i>Rectificadora Universal Knuth Multi-Grind</i>	KNUTH Machine Tools	17.500 €

Tabla 26; Torno y Rectificadora

Al ser una única pieza la que necesita de proceso de electroerosión no es sensato realizar una inversión en dicha maquinaria para ello por lo que una vez mecanizado el buje trasero se externalizará el proceso de electroerosión del estriado.

4.3.4.3.1 Cálculos

Una vez que se tienen las características de las máquinas y las propiedades de los materiales se procede a la elaboración del proceso de mecanizado. Para ello se indican las fases que se tienen que utilizar (máquinas que se usan en la fabricación), dentro de cada fase se indican las distintas subfases (agarres de la pieza que se fabrica) y por último las operaciones que se hacen en cada subfase.

Para hacer esto se utilizan las fórmulas aprendidas en la asignatura de Diseño y Fabricación Integrados.

TORNO

n= Velocidad giro (rpm)

$$\text{Velocidad de Corte (m/ min)} = \frac{\pi \times Dm \times n}{10^3}$$

Dm=Diámetro torneado(m)

Lm= Longitud mecanizado (m)

$$\text{Tiempo de Corte (min)} = \frac{Lm}{Fn \times n}$$

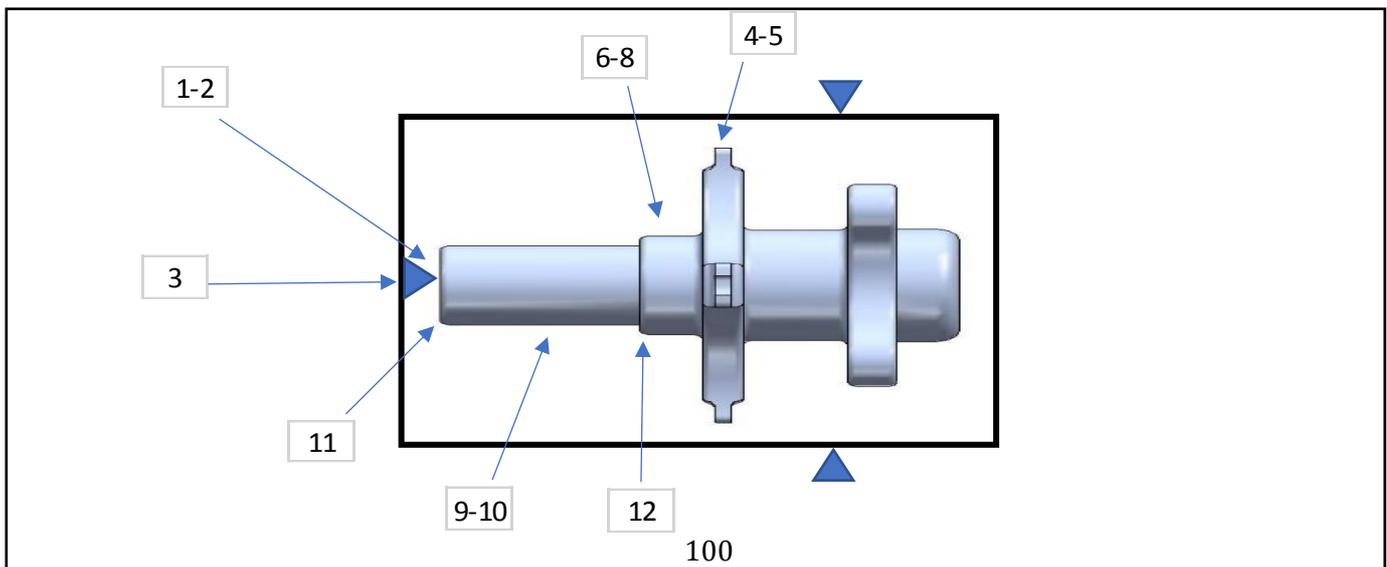
Fn= Avance por revolución (mm/rev)

La velocidad de corte la establece el material escogido porque no se puede superar la velocidad que se especifica en la ficha del material. Con dicha velocidad y el diámetro que se tornea se halla la velocidad de giro de la pieza.

Las especificaciones de la máquina nos proporcionan la velocidad de avance por revolución. Junto con la velocidad de giro y la longitud de mecanizado se obtiene finalmente el tiempo de corte por cada pasada. Este proceso se repite para cada operación.

En las páginas siguientes se muestran las hojas de operaciones realizadas, cada hoja de operaciones se refiere a una subfase distinta tanto para el buje delantero (2) como para el trasero (2).

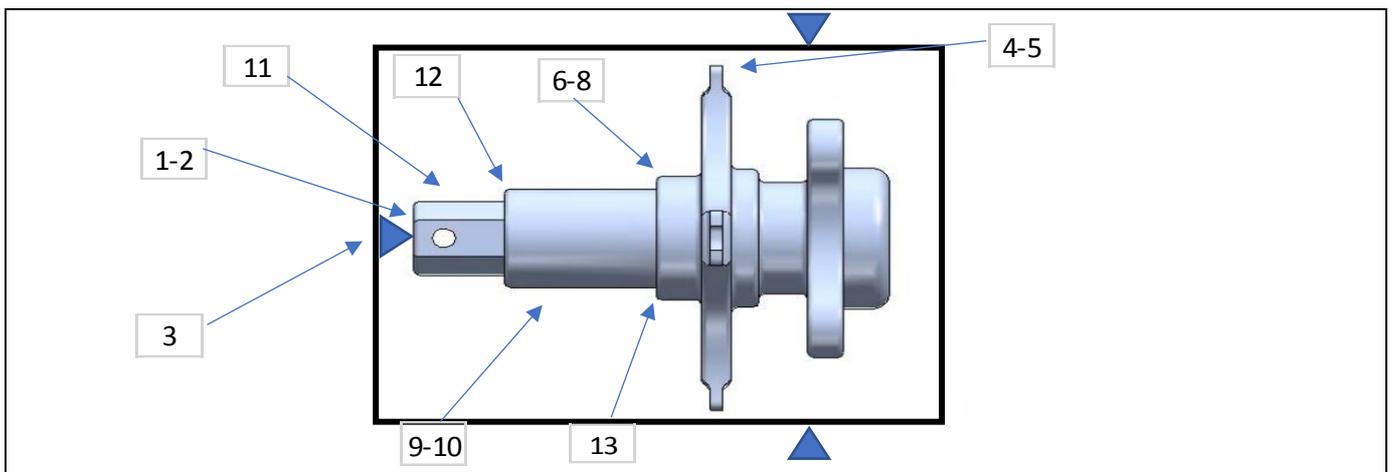
ETSI (ICAI) - DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADOS									
HOJA ANÁLITICA DE OPERACIONES							Máquina: Torno Pinacho		
Conjunto: -			Grupo: -						
Pieza: Buje Trasero			Cantidad/Grupo: -			Tiempo serie: -			
Material: AISI 12L14			Cantidad: -			Preparador: -			
Operación	Hoja Nº: 1		Datos técnicos				Tiempo	Utillajes Herram. Calibres	
	Fase Nº: 10		Nº de pasadas	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Avance	Velocidad rotación (rpm)		Tiempo (min)
	Subfase: 10								
10	Refrentado basto		1	4	40	0,662	104	0,58	Cilindrado
20	Refrentado acabado		1	1	40	0,3	104	1,28	Cilindrado
30	Punto de centrado		-	-	-	-	-	-	Punto
40	Cilindrado basto Ø140		1	4	75	0,662	104	1,09	Cilindrado
50	Cilindrado acabado Ø140		1	1	10	0,3	104	2,4	Cilindrado
60	Cilindrado basto Ø50		4	10	65	0,662	291	1,35	Cilindrado
70	Cilindrado basto Ø50		1	4	65	0,662	291	0,34	Cilindrado
80	Cilindrado acabado Ø50		1	1	15	0,3	291	0,17	Cilindrado
90	Cilindrado basto Ø40		1	4,5	46	0,662	364	0,19	Cilindrado
100	Cilindrado acabado Ø40		1	0,5	46	0,3	364	0,42	Cilindrado
110	Achaflanado (2x45)		1	2	2	0,3	291	0,02	Achaflanado
120	Achaflanado (2x45)		1	2	2	0,3	364	0,02	Achaflanado



ETSI (ICAI) - DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADOS									
HOJA ANÁLITICA DE OPERACIONES							Máquina: Torno Pinacho		
Conjunto: -			Grupo: -						
Pieza: Buje Trasero			Cantidad/Grupo: -			Tiempo serie: -			
Material: AISI 12L14			Cantidad: -			Preparador: -			
Operación	Hoja Nº: 1		Datos técnicos				Tiempo	Utillajes Herram. Calibres	
	Fase Nº: 10		Nº de pasadas	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Avance	Velocidad rotación (rpm)		Tiempo (min)
	Subfase: 20								
10	Refrentado basto		1	4	64	0,662	108	0,89	Cilindrado
20	Refrentado acabado		1	1	64	0,3	108	1,98	Cilindrado
30	Punto de centrado		-	-	-	-	-	-	Punto
40	Cilindrado basto Ø134		1	7	52	0,662	108	0,73	Cilindrado
50	Cilindrado acabado Ø134		1	1	12	0,3	108	0,38	Cilindrado
60	Cilindrado basto Ø64		3	10	15	0,662	227,3	0,03	Cilindrado
70	Cilindrado basto Ø64		1	5	15	0,662	227,3	0,01	Cilindrado
80	Cilindrado acabado Ø64		1	1	15	0,3	227,3	0,22	Cilindrado
90	Cilindrado basto Ø56		3	10	25	0,662	260	0,45	Cilindrado
100	Cilindrado basto Ø56		1	9	25	0,662	260	0,15	Cilindrado
110	Cilindrado acabado Ø56		1	1	25	0,3	260	0,32	Cilindrado
120	Redondeado		1	2	7	0,3	227,3	0,1	Redondeado

The image shows a technical drawing of a shaft with several callouts pointing to specific features: 1-2 points to a chamfered end, 3 points to a shoulder, 4-5 points to a cylindrical section, 6-8 points to a chamfered end, 9-11 points to a shoulder, and 12 points to a chamfered end.

ETSI (ICAI) - DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADOS									
HOJA ANÁLITICA DE OPERACIONES							Máquina: Torno Pinacho		
Conjunto: -			Grupo: -						
Pieza: Buje Delantero			Cantidad/Grupo: -			Tiempo serie: -			
Material: AISI 1144			Cantidad: -			Preparador: -			
Operación	Hoja Nº: 1		Datos técnicos				Tiempo	Utillajes Herram. Calibres	
	Fase Nº: 10		Nº de pasadas	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Avance	Velocidad rotación (rpm)		Tiempo (min)
	Subfase: 10								
10	Refrentado basto		1	4	30	0,662	104	0,44	Cilindrado
20	Refrentado acabado		1	1	30	0,3	104	0,96	Cilindrado
30	Punto de centrado		-	-	-	-	-	-	Punto
40	Cilindrado basto Ø140		1	4	155	0,662	104	2,25	Cilindrado
50	Cilindrado acabado Ø140		1	1	10	0,3	104	0,32	Cilindrado
60	Cilindrado basto Ø60		3	10	95	0,662	242	1,77	Cilindrado
70	Cilindrado basto Ø60		1	9	95	0,662	242	0,6	Cilindrado
80	Cilindrado acabado Ø60		1	1	15	0,3	242	0,2	Cilindrado
90	Cilindrado basto Ø40		1	9,5	80	0,662	364	0,33	Cilindrado
100	Cilindrado acabado Ø40		1	0,5	50	0,3	364	0,46	Cilindrado
110	Cilindrado basto Ø30		1	4	30	0,662	485	0,09	Cilindrado
120	Achaflanado (2x45)		1	2	2	0,3	242	0,03	Achaflanado
130	Achaflanado (2x45)		1	2	2	0,3	364	0,02	Achaflanado



ETSI (ICAI) - DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADOS									
HOJA ANÁLITICA DE OPERACIONES							Máquina: Torno Pinacho		
Conjunto: -			Grupo: -						
Pieza: Buje Delantero			Cantidad/Grupo: -			Tiempo serie: -			
Material: AISI 1144			Cantidad: -			Preparador: -			
Operación	Hoja Nº: 1		Datos técnicos				Tiempo	Utillajes Herram. Calibres	
	Fase Nº: 10		Nº de pasadas	Profundidad (mm)	Longitud (mm)	Avance	Velocidad rotación (rpm)		Tiempo (min)
	Subfase: 20								
10	Refrentado basto		1	4	64	0,662	108	0,9	Cilindrado
20	Refrentado acabado		1	1	64	0,3	108	1,98	Cilindrado
30	Punto de centrado		-	-	-	-	-	-	Punto
40	Cilindrado basto Ø134		1	7	52	0,662	108	0,73	Cilindrado
50	Cilindrado acabado Ø134		1	1	52	0,3	108	1,6	Cilindrado
60	Cilindrado basto Ø66		3	10	25	0,662	220	0,51	Cilindrado
70	Cilindrado basto Ø66		1	3	25	0,662	220	0,17	Cilindrado
80	Cilindrado acabado Ø66		1	1	9	0,3	220	0,14	Cilindrado
90	Cilindrado basto Ø45		1	10	16	0,662	323	0,07	Cilindrado
100	Cilindrado acabado Ø45		1	0,5	16	0,3	323	0,17	Cilindrado
110	Cilindrado basto Ø64		3	10	15	0,662	227	0,3	Cilindrado
120	Cilindrado basto Ø64		1	5	15	0,662	227	0,1	Cilindrado
130	Cilindrado acabado Ø64		1	1	15	0,3	227	0,22	Cilindrado
140	Redondeado		1	2	7	0,3	227	0,03	Redondeado

4.3.5 Otras piezas

En este proyecto se han analizado en detalle las piezas que más influyen en la fabricación del monoplaça tanto por la maquinaria que se necesita para su fabricación como por que el tiempo de fabricación de estas depende en gran medida el tiempo necesario para la fabricación de los monoplaças.

Además de estas piezas, existen piezas que no necesitan fabricarse especialmente para el coche y que se pueden encontrar y comprar directamente a fabricantes, y también hay otras piezas que se tienen que diseñar y fabricar.

En este apartado se citarán de forma breve estas piezas, de las cuáles se necesita conocer cierta información sobre el proceso de fabricación y el material a utilizar para la realización del modelo de decisión con un mayor detalle. Se precisarán los materiales sobre los que se van a fabricar otras piezas. Esta información ha sido proporcionada por algunos miembros del ICAI Speed Club encargados del estudio de las mismas.

- ✚ Columna dirección: Consiste en un tubo de aluminio que se fabrica mediante un proceso de mecanizado, al ser de forma cilíndrica y no necesitar ninguna tolerancia en especial, con un proceso simple de torneado se consigue sacar la pieza.
- ✚ Árbol dirección y Casquillo: Ambas piezas también pertenecientes al sistema de la dirección. El material de las dos piezas es acero que no requiere de ningún requisito en especial por lo que se buscara un acero de bajo coste. Las dos piezas se mecanizan, el árbol de la dirección mediante un proceso de torno similar al de los bujes.
- ✚ Bieletas: Mismo acero que en árbol de dirección y casquillo. Se mecaniza mediante una fresadora la misma que se utiliza para los triángulos de la suspensión.
- ✚ Piñón: El material escogido para la fabricación del piñón por el ICAI Speed Club es el Acero 1045. Se mecaniza por fresado.

- ✚ Unión celdas baterías: Son pequeñas piezas que se van a utilizar para unir las celdas de las baterías entre ellas. El material tiene que ser conductor y el elegido por el ICAI Speed Club es el Cobre. Para la fabricación sólo se requiere de una plegadora.
- ✚ Carrocería: Al ser un monoplaza el material a usar debe ser ligero para lo que se escoge el Aluminio. Además, este material permite la realización de la carrocería mediante prensas excéntricas y una posterior unión al cuerpo del coche por soldadura TIG al igual que la soldadura del chasis.

4.4 ESTRATEGIA DE MARKETING

Una vez definidos los principales aspectos que conciernen a la fabricación del producto, la segunda función que tiene que tener la empresa que se dedique a vender los monoplazas tiene que ser una buena estrategia de marketing.

Para ello una vez hecho basándonos en la primera tarea realizada a la hora de empezar un nuevo negocio, el análisis de mercado, se van a analizar detalladamente las siguientes preguntas:

- Qué tipo de clientes busco
- Donde puedo anunciar mi producto
- Cuanto voy a vender

Estos dos puntos son la base de la que trata este apartado de la memoria.

4.4.1 CLIENTES POTENCIALES

El primer paso para realizar una buena estrategia de marketing es conocer las personas que se pueden convertir en clientes potenciales del producto que ofrece el negocio que se pretende abrir.

Para ello se analizan los datos recogidos en el estudio de mercado y nos fijaremos en empresas competidoras, que hayan surgido de una manera similar a la nuestra o cuyo producto tenga similitudes a la hora de salir al mercado con el producto del nuevo negocio.

Con los datos del estudio de mercado realizado se observan distintas tendencias:

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

1. La producción de vehículos eléctricos aumenta año tras año a nivel mundial doblando casi cada año el número de coches que se matriculan.
2. Las previsiones para los próximos años es que el número de vehículos eléctricos siga aumentando siguiendo la tendencia exponencial de los últimos 5 años.
3. Los países donde mayor porcentaje de coches vendidos son eléctricos son EEUU, China y dentro de Europa los países nórdicos con Noruega a la cabeza

KARTING & FORMULA 4

1. El karting se mantiene como una de las competiciones de base donde más gente participa en todo el mundo.
2. En España existe mucha afición por el karting siendo de los países con mayor número de corredores dentro de las pruebas nacionales.
3. En cuanto a los negocios relacionados con el mundo del kart, existen más de 70 circuitos de karting en toda España, el número de circuito lejos de ir reduciéndose ha ido aumentando en los últimos años.
4. Destaca el circuito creado en Madrid hace escasos años, Carlos Sainz Center, que se ha convertido en poco tiempo en uno de los circuitos más demandados y no particularmente por sus bajos precios.
5. La Fórmula 4 nació hace pocos años debido a la demanda de pilotos por formarse en el camino a la competición profesional
6. En la Formula 4, los encargados de la competición ponen los coches a los pilotos reduciendo los gastos de estos, lo que pretende incentivar a los jóvenes a dar el salto del karting a un coche más profesional.
7. El número de países que empiezan a crear pruebas de Fórmula 4 está en aumento y el número de pilotos en ellas también.

FORMULA E

1. Es un banco de pruebas para investigar y probar avances en la tecnología de los coches eléctricos
2. Muchos fabricantes de alto renombre que incluso han participado en la Formula 1 o que lo hacen actualmente están en vías o ya tienen una escudería.
3. El cada vez impacto que tiene la Formula 1 hace que la Formula E gane adeptos y muchos empresarios empiecen a invertir seriamente en ella.
4. Si el mundo de los vehículos eléctricos se desarrolla a la velocidad que se prevé la Formula E se convertirá en unos años en el principal deporte de automovilismo en el mundo con toda la repercusión económica que esto conlleva.

4.4.1.1 Decisión

El mundo del automovilismo es un grupo muy cerrado en el que cada vez están existiendo más cambios y se están introduciendo nuevas modalidades. Sin embargo, se presenta muy complicado crear de la nada sin ningún tiempo de prueba una nueva modalidad en la que compitan nuestros coches.

Dicho esto, es evidente viendo los datos que el automóvil eléctrico se está comiendo cada vez más al de combustión y que los grandes fabricantes están pensando ya en invertir en este nuevo tipo de coches.

Por último, resultan muy atractivos los negocios de circuitos de karts en los que se necesitan muchos coches.

Por todo esto se decide que el monoplaza se utilice durante los primeros años en circuitos de karts amateur en los que existe una gran cantidad de clientes que pueden comprar gran cantidad de ellos. Durante esta etapa se estudiarán los elementos a mejorar en torno a las prestaciones del coche. Al mismo tiempo que se prueban los coches en este tipo de circuitos se buscarán inversores del mundo del automovilismo de competición para ir desarrollando poco a poco una nueva categoría automovilística que sirva como formación a pilotos que quieran en un futuro competir en la Formula E.

4.4.2 DÓNDE VENDER

En la actualidad el mundo de la publicidad está en todas partes. Cualquier producto cosmético que crean las grandes marcas entra en el mercado a los pocos días gracias a los anuncios de la televisión, carteles que hay por toda la ciudad y ya incluso en las páginas web. Otro método muy efectivo para pequeños negocios relacionados con la moda, por ejemplo, es el uso de las redes sociales. En vez de que anuncie el vestido de la marca una actriz famosa, llaman a chicas jóvenes que pueden ser potenciales clientes y les hacen unas fotos que ellas mismas publican a cambio de algún descuento o regalo. Este tipo de marketing sin embargo no se adapta a las características del producto del que se habla en el trabajo.

Hay otro tipo de lugares donde publicitar productos como el nuestro. El mayor exponente y escaparate de ventas que existe hoy en día dejando aparte la publicidad son las ferias. Una feria consiste en una zona habilitada en la que negocios en busca de clientes, ventas o inversión de capital exponen sus productos a aquellas personas que previo pago de una entrada acceden al recinto. Este tipo de marketing está presente en muchas áreas y una de ellas es el mundo de la automoción.

En las ferias relacionadas con la automoción los fabricantes exhiben sus nuevos productos o sus nuevas ideas buscando tanto inversión como clientes. Existen ferias de ámbito nacional, europeo y mundial

Otra área donde poder vender el monoplaza está en las competiciones que se realizan en toda España. En estas pruebas sobre todo de karting, llevan consigo a mucha afición, patrocinadores y fabricantes por lo que anunciar nuestro producto corriendo en pruebas de nivel amateur o antes de la disputa de las carreras puede ser una opción muy buena.

4.4.2.1 Decisión

Se decide mostrar el coche buscando clientes o inversores en tres ámbitos distintos.

- a) Ferias Automoción nacional e internacional
- b) Participando en carreras a nivel nacional
- c) Creando eventos privados para demostraciones y pruebas.

Una vez decidido esto, el siguiente paso consiste en realizar un estudio de los distintos tipos de eventos que hay y elegir aquellos que más convengan,

Tras un análisis exhaustivo se encuentran los siguientes eventos que se muestran divididos por el ámbito al que pertenecen.

4.4.2.1.1 Ferias Automoción

A nivel nacional las ferias más relevantes en la actualidad son:

- Salón del Automóvil de Competición (Gijón)
- Salón del Automóvil Vigo
- Automobile Barcelona
- Salón Internacional del Automóvil (Madrid)
- Autoracing (Madrid)
- Feria del Automóvil Valencia

Por otro lado, en el ámbito europeo los eventos más relevantes son:

- Automechanika (Frankfurt)
- Autopromotec (Bologna)
- Mundial del Automóvil (París)
- Expomecánica (Porto)
- Praga Car Festival (Praga)
- London Motor Show (London)

Es necesario el estudio de los gastos que conllevaría cada uno de los eventos citados anteriormente. Para ello se realiza en Excel un presupuesto estimado muy detallado en el que se recogen los gastos de:

- Inscripción
- Espacio
- Viaje
- Dietas
- Transporte personal y coches
- Wifi
- Alojamiento

En el caso del coste por alojamiento y dietas, se expresan sólo si fuesen necesarios.

Las tablas realizadas en Excel se encuentran en los Anexos de costes de esta memoria.

4.4.2.1.2 Carreras Amateur

Las competiciones amateurs más conocidas en España tienen lugar en los circuitos de:

- Carlos Sainz Center Competition
- Karting Altafilla
- Karting Sur
- Karting Euskadi
- Karting Series

Al igual que con las ferias nacionales e internacionales, se realiza un estudio detallado en Excel del coste que supondría participar en las carreras. Las tablas se encuentran de igual forma en los Anexos de costes.

4.4.2.1.3 Eventos Privados

Una vez que se tienen clientes interesados en el producto y sobre todo pensando en inversores que vengan del mundo de la alta competición, se diseñan dos tipos de eventos privados en los que los clientes podrán probar los coches y los inversores verán de primera mano el funcionamiento y el potencial del producto.

Los circuitos en España que se pueden alquilar para dicho fin son:

- Circuito Villaverde de Medina
- Circuito de Cheste
- Circuito de Guadix
- Circuito de Kotarr
- Circuito de Ascori
- Circuito de Jarama

Como en los demás se realiza en Excel un estudio del coste que supondrían estos eventos, aunque en este caso se evalúan:

- Alquiler del circuito
- Catering
- Viaje
- Alojamiento

Las tablas con los cálculos se encuentran en los Anexos de costes.

4.4.3 CANTIDAD

Las reglas de la competición (Formula Student Rules , 2017), establecen que se tiene que estudiar el modelo de negocio de una empresa que como mínimo sea capaz de vender 1000 unidades del coche que fabrica.

Conociendo este dato se tienen que determinar el número de coches que se podrían fabricar y vender cada año durante los primeros 5 años. Una vez decidido los clientes potenciales y donde se van a publicitar los coches se hará una estimación del número de coches a fabricar cada año.

Junto con el precio del producto es el otro factor que se pretende decidir de una manera más sencilla utilizando el modelo de decisión del sé que habla en esta memoria. A pesar de esto, una vez analizados el estudio de mercado, los métodos de fabricación y como se pretende realizar la venta del producto se estima un intervalo de venta para cada año.

AÑO	MÍNIMO	MÁXIMO
1º	5	25
2º	50	150
3º	150	300
4º	300	600
5º	500	1000
TOTAL	1005	2075

Tabla 27; Conclusión estudio mercado

Observando la tabla se ve que de la manera más pesimista la empresa fabricaría un total de 1005 coches. Siendo optimistas la fabricación aumentaría hasta un máximo de 2075 coches en 5 años.

4.5 CONCLUSIÓN

El capítulo cuarto ha recogido detalladamente el proceso de investigación y decisión que se ha llevado a cabo durante la realización de la primera parte que conforma el sistema de soporte a decisiones, la base de datos.

Se ha comenzado analizando el mercado y los competidores del producto que se pretende desarrollar, obteniendo de esta manera unas estimaciones fiables del número de productos que se van a poder vender cada año.

Una vez hecho esto se centra la atención en el proceso de fabricación que va a seguir el producto. En esta parte se analiza en detenimiento las piezas que conllevan una maquinaria especializada o bien su fabricación es clave a la hora del desarrollo del monoplaza. Sobre estas piezas se investiga y posteriormente decide el método de fabricación, los materiales de los que se van a fabricar, con ayuda del software CES Edupack, y por último, las máquinas más adecuadas tanto por precio como por sus características. También se menciona la fabricación de otras piezas que no tienen tanta relevancia en la fabricación pero que no se pueden comprar a proveedores por su carácter personalizado.

Por último, se estudian los ámbitos en los que el producto puede encontrar inversores y clientes a los que resulte atractivo el producto. Para esto se tiene muy en cuenta el análisis de mercado hecho previamente. Se decide una estrategia de marketing que incluye distintos eventos a nivel nacional y europeo.

5.CAPÍTULO 5: APLICACIONES DEL SISTEMA DE APOYO A DECISIONES.

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra la aplicación del sistema de apoyo realizado para obtener dos parámetros claves en una empresa que se encarga de fabricar un producto, en este caso monoplazas. Para ello, se a los datos que conforman el sistema de apoyo un sistema de programación lineal que nos devolverá al introducir el valor de los parámetros de entrada el resultado óptimo de las variables de salida.

Al ser un modelo de negocio que se plantea como idea ante un jurado y dicho modelo no se ha creado a partir de los datos reales de una empresa que funcione actualmente, las aplicaciones que se muestran son han sido realizadas a través de la estimación del autor de los recursos y las capacidades de maquinaria y personal que se tienen para cada. Dichas estimaciones se han hecho a partir de datos proporcionados por el ICAI Speed Club, el conocimiento y la investigación del autor como se ha expuesto en el cuarto capítulo de esta memoria.

Las aplicaciones se han realizado mediante los conocimientos de programación lineal que se han estudiado durante este último curso en la asignatura de Gestión de Operaciones. Se muestran como el sistema de apoyo con la implementación del sistema de programación lineal nos devuelve el valor óptimo de coches a fabricar por año y el precio de venta.

5.2 SISTEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL

A través de un modelo de programación lineal se va a obtener la máxima producción posible que se tiene que realizar cada año y el precio al que se deberían vender cada año. Esto se consigue a partir de dos parámetros de entrada que son:

- Presupuesto para los 5 años.
- Margen de beneficio que se quiere obtener por año.

En otras palabras, el modelo de programación lineal a partir de los datos del sistema de apoyo a decisiones y en función, del presupuesto máximo y el margen de beneficio que se tenga va a calcular cuántos monoplazas se tienen que fabricar cada año y el precio de venta de estos.

El sistema de programación lineal se compone de los siguientes elementos:

- Función Objetivo (maximizar o minimizar)
- Restricciones
- Parámetros de entrada

Los parámetros de entrada ya se han nombrado, por lo que ahora se pasa a describir en detalle cómo se han calculado y diseñado la función objetivo y las restricciones.

5.2.1 FUNCIÓN OBJETIVO

La función que se quiere maximizar es la función de producción de coches en los primeros cinco años que está definida como:

$$L(x) \max = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$$

Siendo:

X_1 = Producción coches primer año
X_2 = Producción coches segundo año
X_3 = Producción coches tercer año
X_4 = Producción coches cuarto año
X_5 = Producción coches quinto año

Tabla 28; Variables función objetivo

5.2.2 RESTRICCIONES

Las variables X_1 , X_2 , X_3 , X_4 y X_5 a su vez deben de cumplir una serie de restricciones. Dichas vienen dadas en este caso por distintos motivos.

a) Estudio de mercado y reglas de la competición.

El estudio de mercado te condiciona el número máximo de coches que se van a conseguir vender durante el primer y segundo año de producción. Si se superase, el número de coches que se excedieran no se llegarían a vender.

El otro factor que condiciona la producción en este sentido es el reglamento de la competición que establece que se tiene que diseñar un modelo de negocio que sea capaz de vender 1000 unidades en cinco años.

b) Capacidad de producción máquinas

El segundo factor por el que están restringidos el número de coches que se pueden producir en los primeros dos años es la capacidad de la maquinaria que se posee.

En el modelo de negocio que se trata en el proyecto se realizan dos inversiones de maquinarias. La primera en el primer año de venta y la segunda en el tercer año. De esta manera la cantidad de maquinaria permanece constante del año 1 al 2 al igual que del año 3 al 4 y 5 respectivamente. Ver (Tabla 31).

Por último, como ya se ha citado previamente el número de máquinas se establece por estimación del autor debido a que no existen datos reales de una empresa que nos determine la maquinaria que posee para la fabricación.

Las restricciones que salen de la capacidad máxima de cada máquina se establecen de esta manera:

Consumo unitario máquina × Número de Coches fabrican ≤ Capacidad Máxima de la máquina.

Siendo:

Consumo unitario= Tiempo de uso de la máquina en la producción de 1 coche, en horas.
Capacidad máxima= Número de máquinas del mismo tipo × Horas de uso máximas.
Horas máximas= Número de días laborables × Horas de producción diarias.

Tabla 29; Restricción capacidad maquinaria

c) Capacidad producción del personal

En este ámbito se tienen en cuenta únicamente el personal que pertenece al departamento de fabricación que es el único que influye en el número de coches que se pueden fabricar. Al igual que con las máquinas el autor estima un personal establecido, aunque con la diferencia de que en este caso el personal cambiará de un año a otro debido a que se espera que a medida que pasen los años se tenga que aumentar la productividad de la fabricación. Ver (Tabla 28).

Las restricciones que salen de la capacidad máxima de cada empleado se establecen de esta manera:

Consumo unitario × Número de Coches fabrican ≤ Capacidad Máxima Por Función
--

Siendo:

Consumo unitario= Tiempo de trabajo en una función para fabricar 1 coche.
Capacidad máxima= Número de trabajadores misma función × Horas máximas.
Horas máximas= Número de días laborables × Horas de producción diarias.

Tabla 30; Restricción capacidad personal

La última restricción es el presupuesto con el que cuenta la empresa para correr con los gastos de producción. El proyecto al ser presentado a concurso tiene que tener especial relevancia que se consiga minimizar los costes al máximo.

Se realizan distintas pruebas del sistema de programación lineal en el que cambiando el presupuesto máximo que se tenga, nos calcule el óptimo de coches a producir por año.

De esta manera se muestra el verdadero funcionamiento de un sistema de apoyo a decisiones que a partir de un dato exterior a la compañía como puede ser en este caso la inversión máxima para abrir el negocio los primeros 5 años, el sistema nos devuelve unos valores que posteriormente son estudiados antes de proceder a una decisión final.

	PERIODO 1 (AÑOS 1y2)	PERIODO 2 (AÑOS 3,4y5)
INFRAESTRUCTURAS	CONSTANTE	CONSTANTE
PERSONAL	VARIABLE	VARIABLE
MAQUINARIA	CONSTANTE	CONSTANTE
COSTE EVENTOS	VARIABLE	VARIABLE

Tabla 31; Costes por periodo

La (Tabla 31), muestra como durante los dos periodos de tiempo se mantienen constantes tanto las infraestructuras que se necesitan como la maquinaria, mientras que varía el personal que se necesita y el coste de los eventos en los que se participa. Esto quiere decir que durante los primeros años del periodo a las infraestructuras y las máquinas se le sacará un rendimiento inferior al que se le podrían dar.

5.2.2.1 Estudio de mercado y reglas competición

De los datos obtenidos durante la realización del sistema de apoyo se obtienen 4 restricciones de acuerdo al estudio de mercado y a las reglas de la competición.⁴⁴

A partir del estudio de mercado se obtienen las restricciones de producción anuales que se deciden en el punto 4.2 de esta memoria

- 1) $X_1 < 25$
- 2) $X_2 < 150$
- 3) $X_3 < 300$
- 4) $X_4 < 600$
- 5) $X_5 < 1000$

De las reglas de la competición⁴⁴, sale la restricción de que el modelo de negocio que se realice tiene que vender un mínimo de 1000 coches en los primeros cinco años.

$$6) X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 > 1000$$

5.2.2.2 Capacidad de producción de las máquinas

Se tienen dos tipos de restricciones, las que afectan a la producción de los dos primeros años en los que se dispone de un número de máquinas que se mantiene constante en los dos años. Y, por otro lado, las que afectan a la producción de los últimos tres años.

Por eso, el primer paso es definir las máquinas que hay en cada periodo, la cantidad y por último el consumo unitario de cada máquina (el tiempo de uso de cada máquina para la producción de un coche).

⁴⁴ (Formula Student Rules , 2017)

Primer periodo

DESCRIPCIÓN	TIPO	CANTIDAD	CONSUMO UNITARIO
TORNO PINACHO ML-18-200-42	TORNO	1	5 horas
FRESADORA VERTICAL FTV2	FRESADORA	1	6 horas
RECTIFICADORA UNIVERSAL KNUTH	RECTIFICADORA	1	1 hora
MANUAL FSBM 1020-20 S2	PLEGADORA	1	0,5 horas
HIDRÁULICA MOTORIZADA CON CILINDRO MÓVIL	PRENSA	1	4 horas

Tabla 32; Maquinaria periodo 1

En el primer periodo la jornada laboral será de dos turnos de 4 horas cada uno. Además, se estima que las máquinas trabajan el 75% (6 horas) del tiempo total porque el otro 25% del tiempo se gasta en cambiar las sujeciones, herramientas de corte y mantenimiento. Con estos datos y los que se reflejan en la (Tabla 32), salen las siguientes restricciones:

- 7) $5 \text{ horas} \times (X_1 + X_2) \leq 444 \text{ días} \times 6 \text{ horas/día}$
- 8) $6 \text{ horas} \times (X_1 + X_2) \leq 444 \text{ días} \times 6 \text{ horas/día}$**
- 9) $1 \text{ hora} \times (X_1 + X_2) \leq 444 \text{ días} \times 6 \text{ horas/día}$
- 10) $0,5 \text{ horas} \times (X_1 + X_2) \leq 444 \text{ días} \times 6 \text{ horas/día}$
- 11) $4 \text{ horas} \times (X_1 + X_2) \leq 444 \text{ días} \times 6 \text{ horas/día}$

De todas ellas se coge únicamente aquella que restrinja en mayor medida la producción del primer periodo, la restricción número 8 que está en función de la fresadora.

Segundo Periodo

DESCRIPCIÓN	TIPO	CANTIDAD	CONSUMO UNITARIO
TORNO PINACHO ML-18-200-42	TORNO	2	5 horas
FRESADORA VERTICAL FTV2	FRESADORA	2	6 horas
RECTIFICADORA UNIVERSAL KNUTH	RECTIFICADORA	1	1 hora
MANUAL FSBM 1020-20 S2	PLEGADORA	1	0,5 horas
HIDRÁULICA MOTORIZADA CON CILINDRO MÓVIL	PRENSA	2	4 horas
SHEET AND PIPE FIBER LASER CUTTING MACHINE PE-F3015B	MÁQUINA CORTE LÁSER	1	2 horas

Tabla 33; Maquinaria periodo 2

En el segundo periodo la jornada laboral pasa a ser de dos turnos de 6 horas cada uno. Además, se estima mantiene la estimación de que las máquinas trabajan el 75% (9 horas) del tiempo total porque el otro 25% del tiempo se gasta en cambiar las sujeciones, herramientas de corte y mantenimiento. Con estos datos y los que se reflejan en la (Tabla 33), salen las siguientes restricciones:

$$12) 5 \text{ horas} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 2 \times (666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día})$$

$$13) 6 \text{ horas} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 2 \times (666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día})$$

$$14) 1 \text{ hora} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día}$$

$$15) 0,5 \text{ horas} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día}$$

$$16) 4 \text{ horas} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 2 \times (666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día})$$

$$17) 2 \text{ horas} \times (X_3 + X_4 + X_5) \leq 666 \text{ días} \times 9 \text{ horas/día}$$

Como ocurrió en el primer periodo la más restrictiva es la que depende de la fresadora, esta vez es la restricción 13.

5.2.2.3 Capacidad producción del personal de fabricación

El personal encargado de la fabricación del coche (se excluyen ingenieros supervisores) que el autor estima para cada año, junto con su función y consumo unitario se muestra en Tabla 36, Tablas 37 y Tabla 38.

Año 1				
Empleado	Función	Tipo Jornada	Cantidad	Consumo Unitario
Mecánico Experto	Fab Piezas & Ensamblaje	COMPLETA	2	20,5 h
Mecánico Aprendiz 1	Fab Piezas & Ensamblaje	COMPLETA	1	8 h
Soldador	Soldadura Carrocería	MEDIA	1	4 h
Mecánico Aprendiz 2	Soldadura Carrocería	MEDIA	1	4 h
Año 2				
Empleado	Función	Tipo Jornada	Cantidad	Consumo Unitario
Mecánico Experto	Fabricación Piezas	COMPLETA	2	12,5 h
Mecánico Experto	Ensamblaje	COMPLETA	4	8 h
Mecánico Aprendiz 1	Fab Piezas	MEDIA	1	4 h
Mecánico Aprendiz 2	Ensamblaje	COMPLETA	1	8 h
Soldador	Soldadura Carrocería	COMPLETA	1	8 h
Mecánico Aprendiz 2	Soldadura Carrocería	COMPLETA	1	8 h

Tabla 34; Personal años 1 y 2

Año 3				
Empleado	Función	Tipo Jornada	Cantidad	Consumo Unitario
Mecánico Experto	Fabricación Piezas	COMPLETA	4	12,5 h
Mecánico Aprendiz 1	Fabricación Piezas	COMPLETA	1	5 h
Mecánico Experto	Ensamblaje	COMPLETA	6	6 h
Mecánico Aprendiz 2	Ensamblaje	COMPLETA	2	6 h
Mecánico Experto	Corte Láser	COMPLETA	1	2 h
Mecánico Aprendiz 3	Corte Láser	MEDIA	1	2 h
Soldador	Soldadura Carrocería	COMPLETA	1	8 h
Mecánico Aprendiz 4	Soldadura Carrocería	COMPLETA	1	8 h
Año 4				
Empleado	Función	Tipo Jornada	Cantidad	Consumo Unitario
Mecánico Experto	Fabricación Piezas	COMPLETA	4	12,5 h
Mecánico Aprendiz 1	Fabricación Piezas	COMPLETA	1	5 h
Mecánico Experto	Ensamblaje	COMPLETA	6	8 h
Mecánico Aprendiz 2	Ensamblaje	MEDIA	3	4 h
Mecánico Experto	Corte Láser	COMPLETA	1	2 h
Mecánico Aprendiz 3	Corte Láser	MEDIA	1	2 h
Soldador	Soldadura Carrocería	MEDIA	3	4 h
Mecánico Aprendiz 4	Soldadura Carrocería	COMPLETA	1	4 h

Tabla 35; Personal años 3 y 4

Año 5				
Empleado	Función	Tipo Jornada	Cantidad	Consumo Unitario
Mecánico Experto	Fabricación Piezas	COMPLETA	4	12,5 h
Mecánico Aprendiz 1	Fabricación Piezas	COMPLETA	2	4 h
Mecánico Experto	Ensamblaje	COMPLETA	8	8 h
Mecánico Aprendiz 2	Ensamblaje	COMPLETA	3	8 h
Mecánico Experto	Corte Láser	COMPLETA	1	2 h
Mecánico Aprendiz 3	Corte Láser	MEDIA	1	2 h
Soldador	Soldadura Carrocería	COMPLETA	3	8 h
Mecánico Aprendiz 4	Soldadura Carrocería	COMPLETA	3	8 h

Tabla 36; Personal año 5

En el caso de los empleados se estima que por cada siete horas trabajadas se pierde una. Durante el primer periodo la jornada laboral es de 8 horas diarias (2 turnos 4 horas), mientras que en el segundo periodo se incrementa a 12 horas diarias (2 turnos de 6 horas) por lo que la capacidad máxima de cada trabajador se calcula multiplicando el número de días laborables (222 días) por las 7 horas de trabajo diarias.

En función de los años se obtienen las restricciones siguientes, cogiendo la más restrictiva para cada año.

Año 1

$$18) 20,5 \times X_1 \leq 2 \times (222 \text{días} \times 7 \text{horas/día})$$

$$19) 8 \text{ horas} \times X_1 \leq 222 \text{días} \times 7 \text{horas/día}$$

$$20) 4 \text{ horas} \times X_1 \leq 222 \text{días} \times 3,5 \text{horas/día}$$

$$21) 4 \text{ horas} \times X_1 \leq 222 \text{días} \times 3,5 \text{horas/día}$$

Año 2

- 22) $12,5 \times X_2 \leq 2 \times (222 \text{días} \times 7 \text{horas/día})$
- 23) $8 \text{ horas} \times X_2 \leq 4 \times (222 \text{días} \times 7 \text{horas/día})$
- 24) $4 \text{ horas} \times X_2 \leq 222 \text{días} \times 3,5 \text{horas/día}$
- 25) $8 \text{ horas} \times X_2 \leq 222 \text{días} \times 7 \text{horas/día}$
- 26) $8 \text{ horas} \times X_2 \leq 222 \text{días} \times 7 \text{horas/día}$
- 27) $8 \text{ horas} \times X_2 \leq 222 \text{días} \times 7 \text{horas/día}$

Año 3

- 28) $12,5 \times X_3 \leq 4 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 29) $4 \text{ horas} \times X_3 \leq (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 30) $6 \text{ horas} \times X_3 \leq 6 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 31) $6 \text{ horas} \times X_3 \leq 2 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 32) $2 \text{ horas} \times X_3 \leq 222 \text{días} \times 4,5 \text{horas/día}$
- 33) $2 \text{ horas} \times X_3 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$
- 34) $8 \text{ horas} \times X_3 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$
- 35) $8 \text{ horas} \times X_3 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$

Año 4

- 36) $12,5 \times X_4 \leq 4 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 37) $4 \text{ horas} \times X_4 \leq (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 38) $8 \text{ horas} \times X_4 \leq 6 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 39) $4 \text{ horas} \times X_4 \leq 3 \times (222 \text{días} \times 4,5 \text{horas/día})$
- 40) $2 \text{ horas} \times X_4 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$
- 41) $2 \text{ horas} \times X_4 \leq 222 \text{días} \times 4,5 \text{horas/día}$
- 42) $4 \text{ horas} \times X_4 \leq 3 \times (222 \text{días} \times 4,5 \text{horas/día})$
- 43) $4 \text{ horas} \times X_4 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$

Año 5

- 44) $12,5 \times X_5 \leq 4 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 45) $4 \text{ horas} \times X_5 \leq 2 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 46) $8 \text{ horas} \times X_5 \leq 8 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 47) $8 \text{ horas} \times X_5 \leq 3 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 48) $2 \text{horas} \times X_5 \leq 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$
- 49) $2 \text{horas} \times X_5 \leq 2 \times 222 \text{días} \times 4,5 \text{horas/día}$
- 50) $8 \text{ horas} \times X_5 \leq 3 \times (222 \text{días} \times 9 \text{horas/día})$
- 51) $8 \text{ horas} \times X_5 \leq 3 \times 222 \text{días} \times 9 \text{horas/día}$

5.2.2.3.1 Cálculos

Para agilizar la elección de las ecuaciones más restrictivas para cada año se realiza una tabla comparativa anual. En las (Tablas 37,38,39,40y41) aparece la variable X correspondiente a cada año y la opción más restrictiva será aquella que de un valor de X menor.

Año 1

CONSUMO UNITARIO	CANTIDAD	DÍAS	HORAS	X1
20,5	2	222	7	151,6
8	1	222	7	194,3
4	1	222	3,5	194,3
4	1	222	3,5	194,3

Tabla 37; Restricción maquinaria 1

Año 2

CONSUMO UNITARIO	CANTIDAD	DÍAS	HORAS	X2
12,5	2	222	7	248,6
8	4	222	7	777,0
4	1	222	3,5	194,3
8	1	222	7	194,3
8	1	222	7	194,3
8	1	222	7	194,3

Tabla 38; Restricción maquinaria 2

Año 3

CONSUMO UNITARIO	CANTIDAD	DÍAS	HORAS	X3
12,5	4	222	9	639,4
4	1	222	9	499,6
6	6	222	9	1998,0
6	2	222	9	666,0
2	1	222	9	999,0
2	1	222	4,5	499,5
8	1	222	9	249,8
8	1	222	9	249,8

Tabla 39; Restricción maquinaria 3

Año 4

CONSUMO UNITARIO	CANTIDAD	DÍAS	HORAS	X4
12,5	4	222	9	639,4
4	1	222	9	499,6
8	6	222	9	1498,5
4	3	222	4,5	749,3
2	1	222	9	999,0
2	1	222	4,5	499,5
4	3	222	4,5	749,3
4	1	222	9	499,5

Tabla 40; Restricción maquinaria 4

Año 5

CONSUMO UNITARIO	CANTIDAD	DÍAS	HORAS	X5
12,5	4	222	9	639,4
4	2	222	9	999,0
8	8	222	9	1998,0
8	3	222	9	749,3
2	1	222	9	999,0
2	2	222	4,5	999,0
8	3	222	9	749,3
8	3	222	9	749,3

Tabla 41; Restricción maquinaria 5

5.2.2.4 Presupuesto máximo

La última restricción viene dada por el presupuesto. A partir de modificar el presupuesto total que se tiene para los primeros 5 años (inversión inicial), se establece una restricción en la producción de los coches. El presupuesto se divide en cálculos variables y fijos, son los variables los que condicionan la producción, aunque ambos aparecen en la inecuación de restricción.

$$[C_{vu1} \times (X_1 + X_2)] + [C_{vu2} \times (X_3 + X_4 + X_5)] + C_{f1} + C_{f2} + C_{f3} + C_{f4} + C_{f5} \leq \text{Presupuesto}$$

Siendo:

C_{vu1} =Coste Variable Unitario Años 1 y 2; (materia prima y piezas)
C_{vu2} =Coste Variable Unitario Años 3 ,4, y 5; (materia prima y piezas)
C_{f1} = Coste Fijo Año 1; (Infraestructuras, máquinas y personal)
C_{f2} = Coste Fijo Año 2; (Infraestructuras, máquinas y personal)
C_{f3} = Coste Fijo Año 3; (Infraestructuras, máquinas y personal)
C_{f4} = Coste Fijo Año 4; (Infraestructuras, máquinas y personal)
C_{f5} = Coste Fijo Año 5; (Infraestructuras, máquinas y personal)

Tabla 42; Restricción Costes

Una vez conocidos los parámetros de la restricción se procede a calcularlos con los datos del sistema de apoyo a decisiones.

5.2.2.4.1 Coste Variable Unitario Años 1 y 2

Este coste varía en función del número de coches que se fabrique. Engloba el coste de las materias primas que se utilizan para fabricar las piezas del coche, las piezas del coche que se compran a proveedores y también las piezas que se tienen que fabricar y que por sus características se deciden externalizar a otra empresa.

Durante los años primero y segundo se van a gestionar de la misma manera las materias primas, piezas externalizadas y compradas por lo que el coste variable unitario será el mismo en estos dos años cambiando únicamente la cantidad de coches que se fabrican. El valor que necesitamos para introducirlo en la restricción sale como la suma de los elementos que se reflejan en las Tablas 45 y 46.

Description	Quantity		SOURCE	OUTSOURCING	Unit price	Taxes	Delivery Cost	TOTAL PRICE
	Nº PIEZAS	KG MATERIAL						
MATERIAL PER CAR								
Chassis	1		ATES	SÍ	400,00 €	0%	- €	400,00 €
Amortiguadores x4 FSAE Tanner Shock	4		KAZ Technologies	COMPRADO	189,00 €	0%	158,62 €	914,62 €
Rótula (Bearing) GE 8C	32		Rodamientos Rodabau	COMPRADO	15,30 €	21%	- €	592,42 €
Buje Trasero	1	29	CES EduPack	NO	0,63 €	0%	- €	18,61 €
Buje Delantero	1	24	CES EduPack	NO	0,64 €	0%	- €	15,49 €
Proceso Electroerosión (Buje Trasero)	1		TITAN	SÍ	165,00 €	0%	- €	165,00 €
Triángulos Suspensión	1		ATES	SÍ	100,00 €	0%	- €	100,00 €
Manguetas	4		TITAN	SÍ	132,00 €	0%	- €	528,00 €
Suspension System								2.334,13 €
Aluminio (Columna dirección)	1	59	CES EduPack	NO	1,70 €	21%	1,70 €	122,03 €
Acero (Árbol de dirección)	1	3	CES EduPack	NO	0,60 €	21%	0,60 €	2,56 €
Acero (Casquillo)	1	1	CES EduPack	NO	0,60 €	21%	0,60 €	1,28 €
Steering Rack (Cremallera)	1		TITAN	SÍ	577,00 €	0%	45,00 €	622,00 €
Volante (Wheel)	1		MARCO MOTOSPORT	COMPRADO	119,79 €	0%	- €	119,79 €
Neumáticos	4		RECACOR	COMPRADO	150,00 €	0%	- €	600,00 €
Acero (Bieletas)	2	50,625	CES EduPack	NO	0,60 €	21%	- €	73,51 €
Steering System								1.541,17 €
Motor	1		EMRAX	COMPRADO	3.910,00 €	22%	75,00 €	4.845,20 €
Inversor (Inverter)	1		UniTek Industrie Elektronik GmbH	COMPRADO	2.666,40 €	19%	69,00 €	3.242,02 €
Motor System								8.087,22 €

Tabla 43; Coste Variable Unitario años 1 y 2

Description	Piezas	Cantidad	SOURCE	OUTSOURCING	Unit price	Taxes	Delivery Cost	TOTAL PRICE
Palieres (halfshafts)	1		RCV PERFORMANCE	COMPRADO	1.481,80 €	0%	200,00 €	1.681,80 €
Corona transmisión (drive transmission crown gear)	1		SUNSTAR	COMPRADO	28,10 €	0%	9,90 €	38,00 €
Acero (Piñon)	1	0	CES EduPack	NO	0,60 €	21%	- €	0,03 €
Diferencial (Differential)	1		DREXLER	COMPRADO	2.482,64 €	0%	- €	2.482,64 €
Transmission System								4.202,47 €
Material Cobre (Puentes)	1	35	CES EduPack	NO	4,7	21%	- €	199,05 €
BMS	1		Elithion	COMPRADO	2.785,70 €	0%	225,00 €	3.010,70 €
Celdas Baterías (Electric Batteries)	1		StorTronics	COMPRADO	3.092,60 €	0%	1.239,00 €	4.331,60 €
Batteries System								7.541,35 €
Pinza de freno delantera (Brake Calipers)	2		AP Racing	COMPRADO	397,27 €	21%	- €	961,39 €
Pinza de freno trasera (Brake Calipers)	2		AP Racing	COMPRADO	227,02 €	21%	- €	549,39 €
Pastilla de freno (Brake pad)	8		AP Racing	COMPRADO	19,70 €	21%	- €	190,70 €
Bomba de freno (Brake Pump)	1		AP Racing	COMPRADO	129,76 €	21%	- €	157,01 €
Brakes System				COMPRADO				1.858,49 €
Electric System				COMPRADO				626,88 €
Electronic System				COMPRADO				1.278,35 €
Bodywork (Material)		124,8	CES EduPack	NO	1,70 €	21%	- €	3.920,73 €
TOTAL MATERIAL								27.870,06 €

Tabla 44; Coste Variable Unitario años 1 y 2.(1)

En la (Tabla 44) se calcula que el coste variable unitario, el que suponen las materias primas para las piezas de fabricación interna, piezas compradas y piezas externalizadas, tiene un valor de **27.870,00€** en el primer periodo.

5.2.2.4.2 Coste Variable Unitario Años 3,4 y 5

Al igual que se calcula para el primer periodo, durante el segundo periodo se mantiene constante el coste variable unitario porque se realizan las mismas piezas internamente, se compran a los mismos proveedores las piezas compradas y se externalizan todos los años las mismas piezas.

En concreto, durante este periodo cambia respecto al anterior la realización del chasis y los triángulos de la suspensión. En el periodo dos el corte de los perfiles tubulares y la soldadura posterior se realiza de forma interna para acelerar la producción.

	CHASIS	TRIÁNGULOS
<i>EXTERNALIZANDO</i>	450€	50€
<i>FABRICACIÓN INTERNA</i>	184€	2,87€
DIFERENCIA	266€	47,13€

Tabla 45; Coste Variable Unitario años 3,4 y 5.

También al incrementar el número de pedidos se estima que se produce un ahorro del 10% en las piezas externalizadas y compradas por aumentar los pedidos y reducir costes de envío. La diferencia en este caso con el periodo anterior es de

	COSTE TOTAL	10%
<i>COMPRADAS</i>	19815,46€	1981€
<i>EXTERNALIZADAS</i>	1315€	131,5€

Tabla 46; Coste Variable Unitario años 3,4 y 5.

El ahorro entre el periodo uno y dos es de 2.425,63€. Por lo que la cifra del coste variable unitario durante el segundo periodo es de **25.444,37€**.

5.2.2.4.3 Coste Fijo

El coste fijo engloba aquellos costes que se sin importar el número de coches que se fabriquen van a mantenerse constantes en ese periodo. En este caso dichos costes son: costes maquinaria, coste personal, coste de infraestructuras y coste eventos.

5.2.2.4.3.1 Maquinaria.

La maquinaria se mantiene constante durante un mismo periodo. Por tanto, la amortización de las maquinas se mantiene constante del primer año al segundo al igual que se mantiene constante del tercero al quinto.

La amortización anual se obtiene al aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Amortización (€)} = \frac{\text{Precio Total (€)}}{\text{Vida Útil (años)}}$$

La vida útil media de la maquinaria industrial está en torno a los 15 años, al ser máquinas nuevas, que no poseen tecnología de control numérico y que los primeros años van a ser sometidas a un ritmo de trabajo inferior al de la media se decide establecer la vida útil de estas en 20 años.

DESCRIPCIÓN	TIPO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	AMORTIZACIÓN ANUAL
TORNO PINACHO ML-18-200-42	TORNO	1	21.175,00€	807,92€
FRESADORA VERTICAL FTV2	FRESADORA	1	23.884,19€	1.194,21€
RECTIFICADORA UNIVERSAL KNUTH	RECTIFICADORA	1	21.175,00€	1.058,75€
MANUAL FSBM 1020-20 S2	PLEGADORA	1	2.077,00€	103,85€
HIDRÁULICA MOTORIZADA CON CILINDRO MÓVIL	PRENSA	1	15.110,00€	755,5€
EQUIPO SOLDADURA TIG	SOLDADURA	2	1.971,70€	98,58€

Tabla 47; Coste máquinas periodo 1

El coste fijo de maquinaria en los años 1 y 2 alcanza la cifra de **4.018,18€**.

En el tercer año del proceso como ya se ha explicado en esta memoria se amplía la maquinaria de fabricación para aumentar la producción y se añaden las siguientes máquinas.

DESCRIPCIÓN	TIPO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	AMORTIZACIÓN ANUAL
TORNO PINACHO ML-18-200-42	TORNO	1	21.175,00€	807,92€
FRESADORA VERTICAL FTV2	FRESADORA	1	23.884,19€	1.194,21€
HIDRÁULICA MOTORIZADA CON CILINDRO MÓVIL	PRENSA	1	15.110,00€	755,5€
EQUIPO SOLDADURA TIG	SOLDADURA	4	1.971,70€	197,17€
SHEET AND PIPE FIBER LASER CUTTING MACHINE PE-F3015B	MÁQUINA CORTE LÁSER	1	51.800,00€	2.590€

Tabla 48; Aumento máquinas en periodo 2

De esta forma y como las máquinas se amortizan en un período de 20 años, el coste de las máquinas durante el segundo periodo será igual al coste durante el primer periodo más el coste de las máquinas que se incorporan al principio del segundo periodo.

El coste fijo en maquinaria asciende en el segundo periodo a **9.562,98€**.

5.2.2.4.3.2 Personal

La segunda parte del coste fijo por año es debido al personal. En este caso el personal es diferente año a año por lo que el coste cambiará anualmente y no por periodos como en el caso de la maquinaria.

Año 1				
Empleado	Cantidad	Tipo Jornada	(€/Hora)	Precio Total
Mecánico Experto	2	COMPLETA	14,06	49.941€
Mecánico Aprendiz	2	COMPLETA	13,4	47.596€
Soldador	1	MEDIA	15,8	14.030€
Ingeniero	2	COMPLETA	19,5	69.264€
Administración	1	MEDIA	16,5	16.652€
Director	1	COMPLETA	20,7	36.763€
Año 2				
Empleado	Cantidad	Tipo Jornada	(€/Hora)	Precio Total
Mecánico Experto	6	COMPLETA	14,06	149.823€
Mecánico Aprendiz 1	2	COMPLETA	13,4	47.596€
Mecánico Aprendiz 2	1	MEDIA	13,4	11.900€
Soldador	1	COMPLETA	15,8	28.060€
Ingeniero	2	COMPLETA	19,5	69.264€
Director Marketing	1	MEDIA	16,5	14.652€
Director	1	COMPLETA	20,7	36.763€
Administración	1	MEDIA	14,3	12.698€

Año 3				
Empleado	Cantidad	Tipo Jornada	(€/Hora)	Precio Total
Mecánico Experto	11	COMPLETA	14,06	412.014€
Mecánico Aprendiz 1	4	COMPLETA	13,4	142.791€
Mecánico Aprendiz 2	1	MEDIA	13,4	17.849€
Soldador	1	MEDIA	15,8	14.030€
Ingeniero	2	COMPLETA	19,5	69.264€
Director Marketing	1	COMPLETA	16,5	29.304€
Director Financiero	1	MEDIA	16,5	14.652€
Ventas	1	MEDIA	14	12.432€
Administración	1	COMPLETA	16,5	29.304€
Director	1	COMPLETA	20,7	36.763€
Año 4				
Empleado	Cantidad	Tipo Jornada	(€/Hora)	Precio Total
Mecánico Experto	11	COMPLETA	14,06	412.014€
Mecánico Aprendiz 1	2	COMPLETA	13,4	71.395€
Mecánico Aprendiz 2	4	MEDIA	13,4	71.395€
Soldador	3	MEDIA	15,8	63.137€
Ingeniero	2	COMPLETA	19,5	69.264€
Recursos Humanos	1	MEDIA	16,5	14.652€
Director Financiero	1	COMPLETA	16,5	29.304€
Director Marketing	1	COMPLETA	16,5	29.304€
Ventas	1	MEDIA	14	12.432€
Director	1	COMPLETA	20,7	36.763€
Administración	1	COMPLETA	16,5	29.304€

Año 5				
Empleado	Cantidad	Tipo Jornada	(€/Hora)	Precio Total
Mecánico Experto	13	COMPLETA	14,06	486.926€
Mecánico Aprendiz 1	6	COMPLETA	13,4	214.185€
Mecánico Aprendiz 2	1	MEDIA	13,4	17.848€
Soldador	2	COMPLETO	15,8	84.182€
Ingeniero	3	COMPLETA	19,5	103.896€
Director	1	COMPLETA	20,7	36.763€
Administración	2	COMPLETA	16,5	58.608€
Director Marketing	1	MEDIA	16,5	14.652€
Ventas	2	COMPLETO	14	49.728€
Director Financiero	1	COMPLETO	16,5	29.304€
Recursos Humanos	1	MEDIA	16,5	14.652€

Tabla 49; Personal año a año.

5.2.2.4.3.3 Infraestructuras

Una empresa de nueva apertura en la actualidad no suele correr el riesgo de comprar una nave, oficinas para su negocio a no ser que tenga ya una clientela afianzada. Este no es ese caso por lo que la producción de los monoplaza y las oficinas tienen que ser alquiladas durante el inicio al menos.

Para ello la mejor opción será la que tenga las oficinas todo lo cerca de la fábrica posible a fin de que sea mucho mejor la comunicación entre los departamentos e incluso para poder enseñar de primera mano a los clientes como es la fabricación del producto.

Reuniendo todas estas características se encuentra en Tarragona una empresa llamada IDETSA que proporciona a los negocios de emprendimiento facilidades económicas, de ocupación y desarrollo las empresas. Por esto se ve la opción idónea para alquilar las infraestructuras que se necesiten.

Para apoyar la inversión los primeros años de alquiler el precio está reducido. A medida que aumenten los años de alquiler este precio de alquiler al mes va subiendo año a año. Las tarifas son:

Oficinas (35 m2)		Naves			
rental period (years)	€/month	rental period (years)	€/month		
			75m2	140m2	150m2
1	146,25 €	1	150,00 €	252,00 €	270,00 €
2	162,50 €	2	180,00 €	252,00 €	330,00 €
3	211,25 €	3	210,00 €	392,00 €	420,00 €
4	260,00 €	4	270,00 €	448,00 €	480,00 €
5	325,00 €	5	300,00 €	560,00 €	600,00 €

Tabla 50 Tarifas Alquiler Infraestructuras a partir de la empresa IDETSA.

A partir de la maquinaria que tiene la empresa y el sistema de fabricación la infraestructura necesaria para cada año es:

AÑO	Oficinas	Naves		
	35m2	75m2	140m2	150m2
1	1	-	-	1
2	1	-	-	1
3	1	-	-	2
4	1	-	-	2
5	1	-	-	2

Tabla 51; Infraestructuras por año

AÑO 1=4.995€/año

AÑO 2=5.910€/año

AÑO 3=12.615€/año

AÑO 4=14.640€/año

AÑO 5=18.300€/año

5.2.2.4.3.4 Eventos Marketing

Los eventos de marketing en busca de clientes e inversores potenciales para nuestro producto son el último gasto fijo. Este gasto varía de año a año dependiendo de los eventos a los que se acude o en los que se participe cada año.

Las tablas que muestran detalladamente el coste estimado de los eventos se encuentran en los Anexos de costes.

Año 1

Eventos España	CIUDAD	PRECIO
Salón del Automóvil Gijón	Gijón	2.121€
Automobile Barcelona	Barcelona	6.307€
Autoracing	Madrid	2.058€
TOTAL		10.486€

Tabla 52; Coste Eventos Año 1

Año 2

Eventos España	CIUDAD	PRECIO
Salón Internacional del Automóvil	Madrid	5.579€
Salón del Automóvil Vigo	Vigo	3.950€
Eventos Europa	CIUDAD	PRECIO
Expomecánica	Oporto	4.356€
Autopromotec	Bolonia	6.754€
TOTAL		20.639€

Tabla 53; Coste Eventos Año 2

Año 3

Eventos Europa	CIUDAD	PRECIO
Automechanika	Frankfurt	4.356€
Praga Car Festival	Praga	6.754€
Carreras España	CIUDAD	PRECIO
Carlos Sainz Center	Madrid	3.040€
Karting Altafilla	Tarragona	2.280€
Karting Sur	Sevilla	1.716€
TOTAL		18.146€

Tabla 54; Coste Eventos Año 3

Año 4

Eventos Europa	CIUDAD	PRECIO
London Motor Show	Londres	4.356€
Autopromotec	Bolonia	6.754€
Carreras España	CIUDAD	PRECIO
Carlos Sainz Center	Madrid	3.040€
Karting Altafilla	Tarragona	2.280€
Karting Euskadi	Logroño	2.953€
Eventos Exhibición	CIUDAD	PRECIO
Ascori	Ronda	5.194€
Jarama	Madrid	4.230€
TOTAL		28.807€

Tabla 55; Coste Eventos Año 4

Año 5

Eventos España	CIUDAD	PRECIO
Autoracing	Madrid	2.057€
Automobile	Barcelona	6.307€
Carreras España	CIUDAD	PRECIO
Carlos Sainz Center	Madrid	3.040€
Karting Altafilla	Tarragona	2.280€
Karting Euskadi	Logroño	2.953€
Karting Series	Barcelona	5.010€
Eventos Exhibición	CIUDAD	PRECIO
Ceste	Valencia	3.167€
Kottar	Burgos	3.806€
TOTAL		28.620€

Tabla 56; Coste Eventos Año 5

5.2.3 RESULTADOS

Una vez diseñado todos los elementos que componen el sistema de programación lineal, se procede a la aplicación de este para obtener los resultados buscados.

La aplicación del sistema de programación se implementa en el sistema de apoyo por lo que se realiza también el Microsoft Excel y para ello se utiliza la función SOLVER, de este programa que a partir de las ecuaciones ya diseñadas realiza los cálculos necesarios de forma mucha más rápida y fiable que manualmente.

El precio al que se vendan los coches depende del número de coches que se produzcan en cada caso por lo que primero se obtiene producción óptima y después el precio óptimo de venta.

5.2.3.1 Producción Óptima

Para ejecutar el sistema de programación lineal que se ha diseñado y obtener la producción óptima, primero se tiene que introducir una variable de entrada.

En la aplicación que se ha realizado en este proyecto dicha variable de entrada es el presupuesto máximo del que se dispone en el periodo de tiempo estudiado, 5 años.

Para validar el sistema de soporte diseñado y obtener una visión amplia de las conclusiones a las que se puede llegar con él, se decide ejecutar el sistema a tres casos:

APLICACIÓN	PRESUPUESTO
CASO A	30.000.000€
CASO B	40.000.000€
CASO C	50.000.000€

Tabla 57. Aplicaciones del sistema de soporte

a) Presupuesto Máximo = 30.000.000€

La herramienta SOLVER donde se ejecuta el sistema nos devuelve los siguientes resultados:

Tabla 58; Producción óptima para 30 millones €.

Variables	Función Objetivo	Costes
X1= 0	L(X) MÁX = 1045	Cu1= 27.870,06 €
X2= 0		Cu2= 25.444,37 €
X3= 249		Cf1= 253.745,00 €
X4= 499		Cf2= 401.323,00 €
X5= 297		Cf3= 690.214,00 €
	Presupuesto	Cf4= 891.973,00 €
	30.000.000,00 €	Cf5= 1.167.226,00 €

Restricciones			
Estudio de mercado			
1	0	≤	25
2	0	≤	150
3	249	≤	300
4	499	≤	600
5	297	≤	1000
Reglas Competición			
6	1045	≥	1000
Capacidad Máquinas			
7	0	≤	444
8	1045	≤	1998
Capacidad Personal			
9	0	≤	151
10	0	≤	194
11	249	≤	249
12	499	≤	499
13	297	≤	639
Presupuesto (Inversión Inicial)			
14	26.595.519€	≤	26.595.519,00 €

b) Presupuesto Máximo = 40.000.000€

La herramienta SOLVER donde se ejecuta el sistema nos devuelve los siguientes resultados:

Tabla 59; Producción óptima para 40 millones €

Variables	Función Objetivo	Costes
X1= 0	L(X) MÁX = 1434	Cu1= 27.870,06 €
X2= 47		Cu2= 25.444,37 €
X3= 249		Cf1= 253.745,00 €
X4= 499		Cf2= 401.323,00 €
X5= 639		Cf3= 690.214,00 €
	Presupuesto	Cf4= 891.973,00 €
	40.000.000,00 €	Cf5= 1.167.226,00 €

Restricciones			
Estudio de mercado			
1	0	≤	25
2	47	≤	150
3	249	≤	300
4	499	≤	600
5	639	≤	1000
Reglas Competición			
6	1434	≥	1000
Capacidad Máquinas			
7	47	≤	444
8	1387	≤	1998
Capacidad Personal			
9	0	≤	151
10	47	≤	194
11	249	≤	249
12	499	≤	499
13	639	≤	639
Presupuesto (Inversión Inicial)			
14	36595519	≤	36.595.519,00 €

c) Presupuesto Máximo = 50.000.000€

La herramienta SOLVER donde se ejecuta el sistema nos devuelve los siguientes resultados:

Tabla 60; Producción óptima para 50 millones €

Variables	Función Objetivo	Costes
X1= 25	L(X) MÁX = 1562	Cu1= 27.870,06 €
X2= 150		Cu2= 25.444,37 €
X3= 249		Cf1= 253.745,00 €
X4= 499		Cf2= 401.323,00 €
X5= 639		Cf3= 690.214,00 €
	Presupuesto	Cf4= 891.973,00 €
	50.000.000,00 €	Cf5= 1.167.226,00 €

Restricciones			
Estudio de mercado			
1	25	≤	25
2	150	≤	150
3	249	≤	300
4	499	≤	600
5	639	≤	1000
Reglas Competición			
6	1562	≥	1000
Capacidad Máquinas			
7	175	≤	444
8	1387	≤	1998
Capacidad Personal			
9	25	≤	151
10	150	≤	194
11	249	≤	249
12	499	≤	499
13	639	≤	639
Presupuesto (Inversión Inicial)			
14	40168602	≤	46.595.519,00 €

5.2.3.2 Precio de Venta Óptimo

Una vez que se tiene la producción óptima para cada año se puede calcular el mejor precio de venta en función del margen de beneficio que se quiere sacar para cada coche.

No se pretende vender grandes cantidades del producto al ser demasiado especializado, por lo que el margen de beneficio deberá ser elevado, sin embargo, al ser los primeros años, el margen de beneficio no será tan elevado al principio y aumentará año a año.

El cálculo del precio óptimo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Precio} = \frac{(\text{Coste Variable Unitario} + \frac{\text{Coste Fijo}}{\text{Cantidad coches}})}{(1 - \% \text{Margen Beneficio})}$$

Para los distintos casos analizados en la producción óptima se calcula el mejor precio de venta a partir del margen de beneficio.

a) Presupuesto 30.000.000€

Año	Coches	Margen Beneficio (%)	Precio Óptimo
1	0	%	0€
1	0	0%	0€
2	0	5%	0€
2	0	10%	0€
3	249	10%	28.524,31€
3	249	15%	28.705,48€
4	499	10%	30.257,66€
4	499	15%	32.037,52€
5	297	15%	34.558,15€
5	297	20%	36.718,03€

Tabla 61; Precio Óptimo según margen beneficio caso 1.

b) Presupuesto 40.000.000€

Año	Coches	Margen Beneficio (%)	Precio Óptimo
1	0	0%	0€
1	0	5%	0€
2	47	5%	35.019,88€
2	47	10%	36.965,43€
3	249	10%	28.524,31€
3	249	15%	28.705,48€
4	499	10%	30.257,66€
4	499	15%	32.037,52€
5	639	15%	32.083,55€
5	639	20%	34.088,77€

Tabla 62; Precio Óptimo según margen beneficio caso 2.

c) Presupuesto 50.000.000€

Año	Coches	Margen Beneficio (%)	Precio Óptimo
1	25	5%	40.020,91€
1	25	10%	42.244,29€
2	150	5%	31.117,57€
2	150	10%	32.846,33€
3	249	10%	28.524,31€
3	249	15%	28.705,48€
4	499	10%	30.257,66€
4	499	15%	32.037,52€
5	639	15%	32.083,55€
5	639	20%	34.088,77€

Tabla 63; Precio Óptimo según margen beneficio caso 3.

5.3 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la aplicación del sistema realizado en este proyecto se pueden diferenciar diferentes posturas.

La principal conclusión es la facilidad con la que se pueden sacar resultados fiables que ayudan en gran medida a la hora de tomar decisiones a la hora de llevar un negocio, en este caso en la producción de monoplazas gracias al apoyo que es capaz de aportar un sistema de soporte a decisiones como el que se ha realizado en este proyecto. El tener toda la información formando una buena base de datos de forma clara hace que la persona encargada de tomar las decisiones no necesite de mucho tiempo para entender los datos y que pueda emplear todos sus esfuerzos en llevar a cabo la mejor decisión posible en cada caso.

Una vez dicho esto se van a especificar las conclusiones más particulares que se obtienen a partir de los resultados de la aplicación del modelo.

1. Producción Óptima

- a. Se puede sacar el capital que necesitaría la empresa para iniciar el negocio de venta de monoplazas.
- b. Una vez se tienen los resultados óptimos, las celdas en color rojizo determinan que restricciones son las que limitan estos resultados. De esta manera se puede analizar en profundidad si la capacidad de las máquinas o el personal están siendo utilizados de una manera razonable, no se le está dando el rendimiento adecuado o por el contrario se precisa un aumento de estos para los años futuros.

2. Precio de Venta

- a. Conociendo el precio de venta de los productos competidores, se puede ajustar el margen de beneficios para hacer el producto más competitivo o en caso de tener un precio menor a la competencia subirlo para maximizar beneficios.

6.CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El Proyecto Fin de Grado del que trata esta memoria, consiste en el desarrollo y posterior aplicación de un sistema de soporte a decisiones cuyo fin es el de optimizar la producción de monoplasas FSAE eléctricos en serie. Para crear dicho sistema se han realizado dos tareas:

- Crear una base de datos a partir de la investigación y posterior toma de decisiones por parte del autor.
- Diseñar un sistema de programación lineal a partir de la base de datos creada, con el que optimizar la producción, en concreto el número de coches a fabricar y su precio de venta cada año.

6.1. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

En esta memoria se han detallado los pasos que se han seguido durante el desarrollo de dicho proyecto.

En primer lugar, un proceso de investigación empieza con análisis del mercado. Al tratarse de un nuevo producto se estudian tres ámbitos distintos: mercado de automóviles eléctricos, el karting, la Fórmula 4 y en última instancia la Fórmula E.

Del estudio se sacan las siguientes conclusiones:

- Se observa un crecimiento exponencial del mercado de automóviles eléctricos y como se estima que entre 2025-2030 la venta de coches eléctricos se equipará a la de los coches de combustión.
- El karting y la Fórmula 4 son las categorías de formación de pilotos profesionales. En la Fórmula 4 el monoplasa corre a cargo de la competición lo que abarata los costes y anima a los pilotos a participar en ella. Además, los circuitos de kart son un negocio en crecimiento con más de 70 circuitos en España.
- La Formula E que actualmente promueve el desarrollo y la investigación de los coches eléctricos se presenta como el relevo de la F1. Muchos fabricantes ya tienen escuderías en la categoría y otros están en vías de conseguirlo.

A continuación, se realiza el estudio en profundidad de la fabricación de los monoplazas. Para ello primero se analizan las piezas más importantes desde el punto de vista tanto de su función en el coche como de los recursos que precisa para su fabricación. Una vez hecho esto, se pasa a analizar en profundidad cada pieza.

En primer lugar, se analiza el chasis. El chasis siguiendo las reglas de la competición ⁴⁵ debe estar formado por perfiles tubulares de acero con un espesor mínimo de 2mm. Para escoger el tipo de acero se utiliza la herramienta CES EduPack. El acero debe de tener un límite elástico mayor a 200MPa y tener buen comportamiento ante un proceso de soldadura. Una vez se tienen los aceros que cumplen dichos requisitos se elige aquel que presenta una mejor relación densidad-precio. Para ello se estima el precio total que supone cada acero tras el cálculo de los m³ que se necesitan y la densidad de cada uno (Tabla 9), eligiéndose finalmente el Acero **AISI 403 Hard Temper**.

El proceso de fabricación se divide en dos fases:

- Corte de los perfiles mediante corte láser por su velocidad y precisión.
- Soldadura TIG de los perfiles por el buen acabado y la precisión.

Debido al elevado precio de las máquinas de corte láser se decide externalizar la fabricación del chasis los primeros dos años.

Los triángulos de la suspensión son la segunda pieza que se analiza. Están formados por perfiles tubulares similares a los del chasis y se acoplan a él a través de rótulas. Dichas rótulas hacen que los triángulos tengan que someterse a un proceso de taladrado o fresado. Para la elección del material se procede de igual manera a la del chasis excepto que el límite elástico en este caso debe superar los 350MPa. Tras realizar los cálculos similares a los del chasis (Tabla 18) se llega a la conclusión de que la diferencia en el peso es mínima por lo que el factor decisivo es el precio del acero eligiéndose el **Acero AISI 1060**.

Debido al uso de la fresadora en otras piezas de menor relevancia se decide utilizar un proceso de fresado en vez del taladrado para la fabricación de los triángulos.

⁴⁵ (Formula Student Rules , 2017)

La mangueta es la tercera pieza sometida a estudio. Es un elemento clave en los sistemas de suspensión y dirección del monoplaza. Debido a su difícil geometría se puede fabricar mediante fundición o mecanizado. El proceso de fundición se utiliza para grandes lotes en los que se amortiza el molde, por lo que en una producción de escala media-baja como la fabricación de monoplazas su precio es demasiado elevado, es por esto por lo que se decide fabricar mediante un proceso de **mecanizado**.

La compleja geometría implica que su mecanizado se tiene que realizar mediante una máquina de control numérico. Estas máquinas son demasiado caras para el nivel de producción que se estudia por lo que se decide **externalizar** el proceso.

Por último, el material del que se fabriquen, siguiendo los ensayos realizados por el ICAI Speed Club, debe superar los 150MPa. Al ser una pieza de tanta responsabilidad se le aplica un coeficiente de seguridad de 2,5 y se busca un material que se mecanice con facilidad y cumpla con este requisito. De entre todos los que cumplan estas condiciones (Tablas 21 y 22) nos quedamos con el que tenga mejor relación precio-velocidad de mecanizado, en concreto se escoge el **Aluminum 5182, H19**.

Las últimas piezas que se estudian son los bujes, delantero y trasero. Ambas piezas necesitan de un proceso de torneado, fresado y rectificado, siendo el torneado el proceso fundamental de ambos. Para su fabricación se realiza un proceso de torneado en las que se especifica las subfases y operaciones que se tienen que llevar a cabo.

En cuanto a los materiales, el buje trasero precisa de la fabricación de un estriado que se realiza mediante electroerosión, el cual se externaliza, por lo que el material a usar debe de ser conductor. Cumpliendo estos requisitos y buscando el menor precio se escogen los siguientes materiales: Acero **AISI 1144** (Buje delantero) y Acero **AISI 12L14** (Buje Trasero).

Los salarios se han obtenido a través de los datos del Convenio Colectivo de Automoción de Málaga ⁴⁶ y los datos de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos⁴⁷. La empresa IDETSA, en Tarragona, cumple todos los requisitos que se necesitan para el alquiler de infraestructuras para iniciar el negocio, tanto oficinas como naves para el proceso de fabricación.

Por último, se hace un estudio de los distintos eventos de automoción en los que promocionar y exhibir el producto en busca de nuevos clientes o inversores. Se establece, tras analizar los costes de cada evento, un plan de eventos que combina eventos de automoción nacionales y europeos junto con carreras amateur de karting donde probar el producto y promocionarlo en el mundo de la competición.

6.2. SISTEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL

La segunda parte del proyecto consiste en el diseño de un sistema de programación lineal en el cuál una vez definida una función objetivo, que se quiere maximizar, una serie de restricciones que tienen que cumplir las variables que se estudian y los datos obtenidos de la base de datos ya creada, se obtienen los resultados óptimos.

En este proyecto se pretende optimizar la producción de los monoplaza y para ello se quiere maximizar la producción a partir de un presupuesto establecido, que es el parámetro de entrada del sistema, y que en función de su valor se obtienen distintas soluciones óptimas.

Las variables de estudio son en este caso el número de coches que se tienen que fabricar cada año, respectivamente: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 y X_5 . (Tabla 28),

Estas variables están condicionadas por una serie de restricciones cuyos cálculos se detallan en el capítulo de resultados de esta memoria.

Muchas de las restricciones son linealmente dependientes como se observa en el capítulo 5, por lo que únicamente se utilizan aquellas que son más restrictivas:

⁴⁶ (Andalucía, 2015-2018)

⁴⁷ (Labor, 2018)

Análisis de mercado

- 1) Coches fabricados primer año ≤ 25
- 2) Coches fabricados segundo año ≤ 150
- 3) Coches fabricados tercer año ≤ 300
- 4) Coches fabricados cuarto año ≤ 600
- 5) Coches fabricados quinto año ≤ 1000

Reglas Formula Student

- 6) Coches fabricados durante los 5 años > 1000

Capacidad máxima de las máquinas

- 7) Coches fabricados años 1 y 2 ≤ 444
- 8) Coches fabricados años 3,4 y 5 ≤ 1998

Capacidad máxima del personal

- 9) Coches fabricados año 1 ≤ 151
- 10) Coches fabricados año 2 ≤ 194
- 11) Coches fabricados año 3 ≤ 249
- 12) Coches fabricados año 4 ≤ 499
- 13) Coches fabricados año 5 ≤ 639

Presupuesto

$$14) C_{vu1}^{48} \times (\text{Coches años 1 y 2}) + C_{vu2}^{49} \times (\text{Coches años 3,4,5}) \leq \text{Presupuesto} - C_f^{50}$$

⁴⁸ Coste Variable Unitario años 1 y 2

⁴⁹ Coste Variable Unitario años 3,4 y 5

⁵⁰ Costes Fijos

La segunda acción del sistema establece el precio óptimo de venta a partir del número de coches que se fabrican y el margen de beneficio, que es la segunda variable de entrada. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$Precio = \frac{(Coste Variable Unitario + \frac{Coste Fijo}{Cantidad\ coches})}{(1 - \%Margen\ Beneficio)}$$

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DEL MODELO

a) Presupuesto 30.000.000€

AÑO 1= 0 COCHES

AÑO 2= 0 COCHES

AÑO 3= 249 COCHES

AÑO 4= 499 COCHES

AÑO 5= 297 COCHES

Observando la solución que proporciona el sistema para el caso de un presupuesto de 30 millones de euros (Tabla 57), las restricciones que limitan estos resultados son:

- Capacidad del personal año 3
- Capacidad del personal año 4
- Presupuesto

A la vista de los resultados se sacan distintas conclusiones que se tendrán en cuenta a la hora de la toma de decisiones tanto en el presente como para los años futuros.

En primer lugar, durante los años 1 y 2 el sistema devuelve un resultado de 0 coches a vender. Esto se debe al alto coste unitario que conlleva la producción de dichos coches durante este primer periodo. La primera conclusión que se obtiene por tanto es que con un presupuesto de 30 millones de euros tenemos que reducir el coste variable, es decir, el coste de las piezas y materias primas de las que se componen durante el primer periodo.

El segundo dato que analizar es la capacidad de la maquinaria en el segundo periodo, que está muy lejos de su rendimiento máximo lo que puede conducir a dos alternativas. Prescindir de cierta maquinaria, aunque esto suponga también una reducción de la producción. O en su defecto, abaratar el coste variable del segundo periodo para así aumentar la producción y mejorar el rendimiento de las máquinas.

En último lugar, la capacidad del personal limita la producción en el tercer y cuarto año. En este caso al estar limitado el precio un aumento del personal en estos años no ayudaría a aumentar la producción. Sin embargo, sí que se debería de reducir la plantilla en el último año donde el rendimiento está muy por debajo de su capacidad máxima.

En lo que respecta al precio (Tabla 60), cabe reseñar que, aunque aumenta considerablemente la producción de coches entre el tercer y el cuarto año, los costes fijos del cuarto año son tan elevados que el precio aumenta, aunque se mantenga el margen de beneficio.

b) Presupuesto 40.000.000€

AÑO 1= 0 COCHES

AÑO 2= 47 COCHES

AÑO 3= 249 COCHES

AÑO 4= 499 COCHES

AÑO 5= 639COCHES

Estos resultados que se muestran en la (Tabla 58) están limitados por:

- Capacidad del personal año 3
- Capacidad del personal año 4
- Capacidad del personal año 5
- Presupuesto

En este caso el sistema sugiere que el primer año se siga sin producir ningún coche mientras que en el segundo año devuelve el valor de 47 coches. En ambos casos la limitación se debe a la restricción del presupuesto por lo que si se quisiera ampliar la producción en estos años habría que abaratar costes de piezas y materias primas de igual forma que en primer caso. En cuanto a la capacidad de la maquinaria se observa que en el primer periodo el rendimiento es muy bajo por lo que habría que plantearse en caso de no bajar el coste variable unitario externalizar los procesos y reducir el gasto en maquinaria durante los dos primeros años. En este caso el rendimiento de la maquinaria en el segundo periodo aumenta y se considera que llega a un nivel aceptable de producción.

En lo que respecta a la capacidad del personal se puede observar que en los dos primeros años el personal no se acerca ni de lejos a su rendimiento máximo debido a la escasa producción, por lo que habría que reducir los turnos e incluso reducir la plantilla. Por otro lado, en los años tercero, cuarto y quinto el personal limita la producción. En este supuesto se fabricarían 1434 coches superando ampliamente los mil coches que se tiene como mínimo, por lo que la decisión se tomará en función de la demanda del mercado durante esos años.

La (Tabla 61) muestra que el precio óptimo de venta del segundo año es muy elevado en comparación con los años posteriores. Esto se debe a la escasez de producción en ese año que tiene que hacer frente a un elevado coste fijo, aunque hay que valorar por otra parte que en los primeros años de un negocio el coste se acentúa.

c) Presupuesto Máximo = 50.000.000€

AÑO 1= 25 COCHES

AÑO 2= 150 COCHES

AÑO 3= 249 COCHES

AÑO 4= 499 COCHES

AÑO 5= 639 COCHES

Las restricciones que afectan a estos resultados se obtienen a partir de la (Tabla 59), y son:

- Estimación de venta años 1 y 2
- Capacidad personal años 3,4 y 5

En esta situación durante los años uno y dos solamente quedaría analizar el personal de fabricación del primer año que está muy lejos del rendimiento máximo, ya que, en el caso de la maquinaria es normal que durante el primer año no se le saque un buen rendimiento. En el segundo año las mismas máquinas se acercan bastante a su capacidad máxima.

En el segundo periodo, años 3,4 y 5, la restricción de fabricación está impuesta por la capacidad del personal. Se observa que existe una holgura de en torno a 6 millones de euros con el presupuesto con los que se podría ampliar el personal en esos años y así aumentar la producción. Sin embargo, puede ser que no interese aumentar la producción y sea más conveniente reservar ese capital para futuras inversiones.

Destaca al igual que ocurrió en el caso anterior el elevado precio de los coches durante el primer año, como ya se ha mencionado, esto se debe a que la escasa producción de ese año tiene que soportar los gastos fijos de dicho año. Una solución a este problema puede ser la de reducir el margen de beneficio en este año para hacer los precios más competitivos al mercado y así evitar el rechazo de clientes potenciales por su alto coste. Los datos del precio óptimo de este caso se recogen en la (Tabla 62)

6.3 APLICACIONES FUTURAS

El sistema de apoyo a decisiones que se ha realizado como Proyecto Fin de Grado se ha aplicado por petición y necesidad del ICAI Speed Club (ISC), a obtener el número óptimo de coches a fabricar cada año y el mejor precio de venta de estos en el mercado. Sin embargo, esto no significa que su uso se limite a ello.

Este sistema de decisión podría modificarse para, por ejemplo, teniendo un presupuesto definido y dependiendo del número de coches que se quieran fabricar (variable de entrada) se minimice el coste.

Para ello las variables de estudio serán los recursos, personal y maquinaria. Las restricciones en este caso se enfocarían a la capacidad mínima que tienen que cubrir dichos recursos, al contrario que en el modelo que se ha planteado.

Además, un sistema de apoyo a decisiones es una herramienta que se va actualizando a medida que pasan los años. Con la base ya creada, un sistema de apoyo como el que se ha realizado puede aplicarse en una empresa real en la que cada año cuando haya que plantearse una serie de decisiones, actualizando la información de la base de datos se ejecute el sistema de programación lineal para analizar los resultados de este. La gran ventaja de esta herramienta es que se pueden simular distintos supuestos para finalmente analizar todos en conjunto y llevar a cabo una decisión más clara y objetiva que teniendo una serie de datos cuyo manejo requiere de muchas horas de análisis y comprensión. Es por esto que cada vez más empresas utilizan este sistema de análisis de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agency, I. E. (2016). *Global EV Outlook*. IEA Publications.
- Agency, I. E. (2017). *Global EV Outlook*. IEA Publications.
- Andalucía, J. d. (2015-2018). *CONVENIO DE AUTOMOCIÓN*. Málaga.
- Castro, R. (2013). Los más de 70 circuitos de karts que hay en España. *Blog Qualitas Auto*.
- Ciferri, L. (2016). Formula One's last chance. *Automotive News*.
- Electric Vehicle Outlook. (2017). *Bloomberg New Energy Finance*.
- Finally, P. (1994). *Introducing decision support systems*. Oxford, UK Cambridge, Mass., NCC Blackwell; Blackwell Publishers.
- (2017). *Formula Student Rules*.
- Galbarro, H. R. (s.f.). *Ingemecanica*.
- Gibbs, N. (2015). Jaguar to race in Formula E to enhance electric powertrain expertise. *Automotive News*.
- Gibbs, N. (2017). Aston Martin may join Audi, Jaguar in Formula E. *Automotive News*.
- Haoxiang, C. Z. (2011). A brief review on Decision Support Systems and it's applications.
- Holsapple, F. B. (2008). *Handbook on Decision Support System 1*. Springer Science & Business.
- Labor, D. o. (30 de Marzo de 2018). *Motor Vehicle Manufacturing*. Obtenido de [https://www.bls.gov/oes/current/naics4_336100.htm#\(8\)](https://www.bls.gov/oes/current/naics4_336100.htm#(8))
- Little, J. D. (2004). *Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus*.
- Martínez, G. G. (2017). Estudio sobre la implantación del coche eléctrico en España. *Movilidad Eléctrica*.
- P.G.W., K. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Mass., Addison-Wesley Pub.
- Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Greenwood Publishing Group.
- S.R.Schmid, S. &. (s.f.). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. PEARSON.

Soulopoulos, N. (2017). When will electric vehicles be cheaper than conventional vehicles?
Bloomberg New Energy Finance.

Sprague, R. H. (1982). *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, N.J.,
Prentice-Hall.

Turban, E. (1993). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*. Prentice
Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA.

ANEXOS

COSTES

A) EVENTOS

EVENTO	Ciudad	Días	Espacio (m2)	€/m2	Entrada	Wifi	Seguro	Electricidad	Transporte	Viaje	Estancia	Diestas	TOTAL COST
Motor Events in Spain													
Salón del Automóvil de Competición	Gijón	2	20,00 €	45,00 €	100,00 €	55,00 €	50,00 €	40,00 €	316,84 €	180,00 €	170,00 €	240,00 €	2.121,84 €
Salón del Automóvil Vigo	Vigo	4	20,00 €	50,00 €	100,00 €	55,00 €	- €	- €	409,41 €	216,00 €	350,00 €	480,00 €	3.950,00 €
Automobile	Barcelona	7	20,00 €	70,00 €	450,00 €	84,00 €	63,00 €	- €	105,56 €	75,00 €	525,00 €	590,00 €	6.307,56 €
Salón Internacional del Automóvil	Madrid	5	20,00 €	121,00 €	- €	55,00 €	105,00 €	46,10 €	232,94 €	120,00 €	350,00 €	450,00 €	5.579,04 €
Autoracing	Madrid	2	20,00 €	50,00 €	100,00 €	55,00 €	70,00 €	- €	232,94 €	120,00 €	350,00 €	240,00 €	2.057,94 €
Feria del Automóvil Valencia	Valencia	4	20,00 €	37,00 €	360,00 €	55,00 €	55,00 €	55,00 €	125,88 €	105,00 €	200,00 €	380,00 €	3.015,88 €

Evento	Ciudad	Días	Espacio (m2)	€/m2	Entrada	Wifi	Seguro	Electricidad	Transporte	Viaje	Estancia	Dietas	TOTAL COST
Motor Events in Europe													
Automechanika	Frankfurt	3	20,00 €	138,00 €	585,00 €	55,00 €	- €	55,00 €	3.170,00 €	432,00 €	200,00 €	432,00 €	8.353,00 €
Autopromotec	Bolonia	4	20,00 €	81,00 €	- €	55,00 €	- €	- €	2.694,00 €	240,00 €	225,00 €	480,00 €	6.754,00 €
Mundial del Automóvil	París	10	20,00 €	175,00 €	900,00 €	110,00 €	- €	- €	2.302,00 €	285,00 €	750,00 €	1.020,00 €	17.297,00 €
Expomecánica	Oporto	2	20,00 €	60,00 €	120,00 €	55,00 €	- €	60,00 €	2.186,00 €	255,00 €	40,00 €	240,00 €	4.356,00 €
Praga Car Festival	Praga	2	20,00 €	40,00 €	- €	55,00 €	- €	- €	3.940,00 €	330,00 €	90,00 €	240,00 €	5.695,00 €
London Motor Show	London	3	20,00 €	200,00 €	- €	55,00 €	- €	- €	3.244,00 €	270,00 €	250,00 €	432,00 €	9.115,00 €

Evento	Ciudad	Días	Entrada	Transporte	Viaje	Estancia	Dietas	TOTAL COST
Racing Events in Spain								
Carlos Sainz Center Competition	Madrid	8	60,00 €	160,27 €	480,00 €	- €	240,00 €	3040,27
Karting Altafilla	Tarragona	5	55,00 €	238,75 €	392,00 €	- €	275,00 €	2280,75
Karting Sur	Sevilla	1	50,00 €	481,25 €	910,00 €	- €	275,00 €	1716,25
Karting Euskadi	Logroño	8	45,00 €	193,75 €	480,00 €	100,00 €	240,00 €	2953,75
Karting Series	Barcelona	15	55,00 €	165,63 €	420,00 €	- €	240,00 €	5010,63

Evento	Ciudad	Días	Entrada	Transporte	Viaje	Estancia	Dietas	Piloto	Num.Pilotos	Alquiler Circuito	TOTAL COST
Created Racing Events											
Circuito Villaverde de Medina	Valladolid	1	- €	2.138,82 €	160,00 €	90,00 €	847,50 €	60,00 €	5,00 €	225,00 €	3.761,32€
Circuito de Cheste	Valencia	1	- €	1.120,00 €	200,00 €	- €	847,50 €	100,00 €	5,00 €	500,00 €	3.167,5€
Circuito de Guadix	Granada	1	- €	2.829,48 €	210,00 €	100,00 €	847,50 €	60,00 €	5,00 €	275,00 €	4.561,98€
Circuito de Kottar	Burgos	1	- €	1.882,10 €	126,00 €	140,00 €	508,50 €	- €	0	1.150,00 €	3.806,6€
Circuito de Ascori	Ronda	1	- €	3.035,30 €	210,00 €	240,00 €	508,50 €	- €	0	1.200,00 €	5.193,8€
Circuito del Jarama	Madrid	1	- €	1.981,18 €	126,00 €	115,00 €	508,50 €	- €	0	1.500,00 €	4.230,68€

B) PERSONAL

Descripción	Salario Anual Málaga (€)	Salario Anual Tarragona(€)	(€/HOUR)
Directo General	32.884,93 €	36.884,93 €	20,77 €
Ingenieros	30.693,09 €	34.693,09 €	19,53 €
Others Engineers	28.500,00 €	32.500,00 €	18,30 €
Jefe Administración	25.211,61 €	29.211,61 €	16,45 €
Trabajador administración 1ª clase	21.379,55 €	25.379,55 €	14,29 €
Recepcionista	18.658,60 €	22.658,60 €	12,76 €
Jefe de Ventas	25.211,61 €	29.211,61 €	16,45 €
Encargado de Ventas	20.774,53 €	24.774,53 €	13,95 €
Asistente	23.019,14 €	27.019,14 €	15,21 €
Almacenero	19.398,52 €	23.398,52 €	13,17 €
Jefe de equipo	23.046,82 €	27.046,82 €	15,23 €
Mecánico 1ª clase	20.968,73 €	24.968,73 €	14,06 €
Mecánico 2ª clase	20.108,00 €	24.108,00 €	13,57 €
Trabajador	19.397,05 €	23.397,05 €	13,17 €

Datos extrapolados a partir del Convenio Colectivo de Automoción de Málaga.

Occupation Title	Annual Mean Wage (\$)	Annual Mean Wage (€)	SPAIN ANNUAL WAGE (ESTIMATION)
Chief Executives	\$225.790,00	181.401,14 €	165.601,94 €
Marketing & Sales Manager	\$157.320,00	126.391,90 €	110.592,70 €
Financial Manager	\$119.580,00	96.071,34 €	80.272,14 €
Human Resources Manager	\$108.710,00	87.338,31 €	71.539,11 €
Transportation/Storage/Distribution Manager	\$99.100,00	79.617,58 €	63.818,38 €
Engineers	\$97.000,00	77.930,43 €	62.131,23 €
Media & Communication Workers	\$83.310,00	66.931,79 €	51.132,59 €
Industrial Machinery/Repair Workers	\$66.920,00	53.763,96 €	37.964,76 €
Industrial Machinery Mechanics	\$64.650,00	51.940,23 €	36.141,03 €
Machine Tool Cutting Setters, Operators, and Tenders	\$57.940,00	46.549,37 €	30.750,17 €
Welding, Soldering, and Brazing Workers	\$54.570,00	43.841,89 €	28.042,69 €
Team Assemblers	\$46.590,00	37.430,71 €	21.631,51 €
Buildings Cleaning Workers	\$37.200,00	29.886,72 €	14.087,52 €
Cleaning Vehicles Workers	\$27.330,00	21.957,10 €	6.157,90 €

Datos extrapolados del Departamento de Estadística Laboral de EEUU.

ANEXOS

MATERIALES

A) MATERIALES CHASIS

		Stainless steel, ferritic, AISI 446, annealed		Page 1 of 7
General information				
Designation				
AISI 446,				
Condition	Annealed or annealed and cold or hot			
UNS number	S44600			
US name	ASME 446, -ASTM WP446, -ASTM S44600, -ASTM MT446-2, -ASTM MT446-1			
EN name	X18CrN28			
EN number	1.4749			
ISO name	-X15CrN26			
JIS (Japanese) name	-SUH446			
Typical uses				
Piping and heat exchanger tubings; Processing of potentially corrosive liquids, e.g. chemicals, oil, beverages, sewage; Structural uses in corrosive environments, e.g. nuclear plants, ships, offshore oil installations, underwater cables and pipes;				
Composition overview				
Compositional summary				
Fe69-77 / Cr23-27 (impurities: Mn<1.5, Si<1, Ni<0.75, N<0.25, C<0.2, P<0.04, S<0.03)				
Material family	Metal			
Base material	Fe			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
C (carbon)	0	-	0,2	%
Cr (chromium)	23	-	27	%
Fe (iron)	* 69,2	-	77	%
Mn (manganese)	0	-	1,5	%
N (nitrogen)	0	-	0,25	%
Ni (nickel)	0	-	0,75	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	1	%
Price				
Price	* 1,43	-	1,83	EUR/kg
Price per unit volume	* 1,06e4	-	1,39e4	EUR/m ³
Physical properties				
Density	7,4e3	-	7,6e3	kg/m ³
Mechanical properties				
Young's modulus	195	-	205	GPa
Yield strength (elastic limit)	275	-	350	MPa
Tensile strength	480	-	615	MPa

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

51

General information

Designation

AISI 403,	
Condition	Hard temper, cold or hot
UNS number	S40300
US name	ASTM S40300, ASTM
EN name	X6Cr13
EN number	1.4
GB (Chinese) name	1Cr12
JIS (Japanese) name	SUS403

Typical uses

Chemical plant parts, finned tube; turbine blades; nuts and

Composition overview

Compositional summary

Fe85-88 / Cr12-13 (impurities: Mn<1, Ni<0.6, Si<0.5, C<0.15, P<0.04, S<0.03)

Material family	Metal
Base material	Fe

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0	-	0,15	%
Cr (chromium)	11,5	-	13	%
Fe (iron)	* 84,7	-	88,5	%
Mn (manganese)	0	-	1	%
Ni (nickel)	0	-	0,6	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	0,5	%

Price

Price	* 1,07	-	1,33	EUR/kg
Price per unit volume	* 8,11e3	-	1,05e4	EUR/m ³

Physical properties

Density	7,61e3	-	7,82e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	* 195	-	205	GPa
Yield strength (elastic limit)	620	-	700	MPa
Tensile strength	825	-	950	MPa
Elongation	12	-	20	% strain
Compressive strength	* 620	-	700	MPa
Flexural modulus	* 195	-	205	GPa

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

General information

Designation

AISI 410,	
Condition	Hard temper, cold or hot
UNS number	S41000
US name	ASTM WP410, ASTM S41050, ASTM S41008, ASTM S41000, ASTM MT410, ASTM F6a Class 4, ASTM F6a Class 3, ASTM F6a Class 2, ASTM F6a Class 1, ASTM 1045, -ASTM S41623, -ASTM S41603
EN name	-X12Cr13
EN number	-1.4006
ISO name	-X12Cr13
GB (Chinese) name	1Cr13, 1Cr12, 0Cr13
JIS (Japanese) name	SUSF410D, SUSF410C, SUSF410B, SUSF410A, SUS410L, SUS410F2, SUS410

Typical uses

Bolts, nuts and screws; bushings; coalmining equipment; petroleum fractionating towers; pump parts and shafts; steam and gas turbine parts; valves.

Composition overview

Compositional summary

Fe84-88 / Cr12-14 (impurities: Mn<1, Si<1, C<0.15, P<0.04, S<0.03)	
Material family	Metal
Base material	Fe

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0	-	0,15	%
Cr (chromium)	11,5	-	13,5	%
Fe (iron)	* 84,3	-	88,5	%
Mn (manganese)	0	-	1	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	1	%

Price

Price	* 1,07	-	1,34	EUR/kg
Price per unit volume	* 8,22e3	-	1,06e4	EUR/m ³

Physical properties

Density	7,85e3	-	7,85e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	190	-	210	GPa
Yield strength (elastic limit)	1e3	-	1,1e3	MPa

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

 Stainless steel, martensitic, AISI 410, intermediate temper		Page 1 of 7	
General information			
Designation			
AISI 410,			
Condition	Intermediate temper; cold or hot		
UNS number	S41000		
US name	ASTM WP410, ASTM S41050, ASTM S41008, ASTM S41000, ASTM MT410, ASTM F6a Class 4, ASTM F6a Class 3, ASTM F6a Class 2, ASTM F6a Class 1, ASTM 1045, -ASTM S41623, -ASTM S41603		
EN name	-X12Cr13		
EN number	-1.4008		
ISO name	-X12Cr13		
GB (Chinese) name	1Cr13, 1Cr12, 0Cr13		
JIS (Japanese) name	SUSF410D, SUSF410C, SUSF410B, SUSF410A, SUS410L, SUS410F2, SUS410		
Typical uses			
Bolts, nuts and screws; bushings; coalmining equipment; petroleum fractionating towers; pump parts and shafts; steam and gas turbine parts; valves.			
Composition overview			
Compositional summary			
Fe84-88 / Cr12-14 (impurities: Mn<1, Si<1, C<0.15, P<0.04, S<0.03)			
Material family	Metal		
Base material	Fe		
Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
C (carbon)	0	- 0,15	%
Cr (chromium)	11,5	- 13,5	%
Fe (iron)	* 84,3	- 88,5	%
Mn (manganese)	0	- 1	%
P (phosphorus)	0	- 0,04	%
S (sulfur)	0	- 0,03	%
Si (silicon)	0	- 1	%
Price			
Price	* 1,07	- 1,34	EUR/kg
Price per unit volume	* 8,22e3	- 1,06e4	EUR/m ³
Physical properties			
Density	7,65e3	- 7,85e3	kg/m ³
Mechanical properties			
Young's modulus	190	- 210	GPa
Yield strength (elastic limit)	634	- 917	MPa

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

B) MATERIAL TRIÁNGULOS

 Low alloy steel, AISI 5046, oil quenched & tempered at 540°C		Page 1 of 6	
General information			
Designation			
AISI	---		
Condition	Tempered at 540°C & oil		
UNS number	G50460		
US name	SAE 5046H, SAE 5046, ASTM G50460, ASTM 5046H, -ASTM 5046		
Typical uses			
General construction; general mechanical engineering; automotive; tools; axles; gears;			
Composition overview			
Compositional summary			
Fe98 / Mn0.75-1 / C0.43-0.5 / Cr0.2-0.35 / Si0.15-0.35 (impurities: S<0.04, P<0.035)			
Material family	Metal		
Base material	Fe		
Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
C (carbon)	0.43	- 0,5	%
Cr (chromium)	0.2	- 0,35	%
Fe (iron)	* 97,7	- 98,5	%
Mn (manganese)	0,75	- 1	%
P (phosphorus)	0	- 0,035	%
S (sulfur)	0	- 0,04	%
Si (silicon)	0,15	- 0,35	%
Price			
Price	* 0,582	- 0,689	EUR/kg
Price per unit volume	* 4,54e3	- 5,44e3	EUR/m ³
Physical properties			
Density	7,8e3	- 7,9e3	kg/m ³
Mechanical properties			
Young's modulus	201	- 212	GPa
Yield strength (elastic limit)	690	- 840	MPa
Tensile strength	840	- 1,04e3	MPa
Elongation	14	- 22	% strain
Compressive strength	* 690	- 840	MPa
Flexural modulus	* 201	- 212	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	690	- 840	MPa
Shear modulus	77	- 83	GPa
Bulk modulus	155	- 173	GPa
Poisson's ratio	0,285	- 0,295	

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data.

 Carbon steel, AISI 1060, oil quenched & tempered at 650°C		Page 1 of 6
General information		
Designation		
AISI -----		
Condition	Tempered at 650°C & oil	
UNS number	G10600	
US name	ASTM Class B, ASTM 1060, ASME G10600, -ASME G10590, -ASME 1059	
EN name	-HS60	
Typical uses		
General construction; general mechanical engineering; automotive; tools; axles; gears;		
Composition overview		
Compositional summary		
Fe98.99 / Mn0.6-0.9 / C0.55-0.65 (impurities: S<0.05, P<0.04)		
Material family	Metal	
Base material	Fe	
Composition detail (metals, ceramics and glasses)		
C (carbon)	0.55 - 0.65	%
Fe (iron)	* 98.4 - 98.8	%
Mn (manganese)	0.6 - 0.9	%
P (phosphorus)	0 - 0.04	%
S (sulfur)	0 - 0.05	%
Price		
Price	* 0.573 - 0.689	EUR/kg
Price per unit volume	* 4.47e3 - 5.44e3	EUR/m ³
Physical properties		
Density	7.8e3 - 7.9e3	kg/m ³
Mechanical properties		
Young's modulus	208 - 216	GPa
Yield strength (elastic limit)	465 - 580	MPa
Tensile strength	720 - 880	MPa
Elongation	18 - 28	% strain
Compressive strength	* 465 - 580	MPa
Flexural modulus	* 208 - 216	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	465 - 580	MPa
Shear modulus	80 - 85	GPa
Bulk modulus	161 - 176	GPa
Poisson's ratio	0.285 - 0.295	
Shape factor	47	

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data.

C) MANGUETA

CES 2017 EDUPACK		Aluminum, 5086, H38		Page 1 of 6
General information				
Designation				
5086, wrought				
Condition	H38 (Strain-hardened and stabilized)			
UNS number	A95086			
EN name	EN AW-5086 (EN AW-Al Mg4)			
EN number	3.3545			
Typical uses				
Marine, automotive, and aircraft parts, cryogenics, TV towers, drilling rigs, transportation equipment, missile components, armor plate. Applications requiring weldable moderate-strength alloy having comparatively good corrosion resistance				
Composition overview				
Compositional summary				
Al93.96 / Mg3.5-4.5 / Mn0.2-0.7 / Cr0.05-0.25 (impurities: Fe<0.5, Si<0.4, Zn<0.25, Ti<0.15, Cu<0.1,				
Material family	Metal			
Base material	Al (Aluminum)			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al (aluminum)	* 93	- 96.2	%	
Cr (chromium)	0.05	- 0.25	%	
Cu (copper)	0	- 0.1	%	
Fe (iron)	0	- 0.5	%	
Mg (magnesium)	3.5	- 4.5	%	
Mn (manganese)	0.2	- 0.7	%	
Si (silicon)	0	- 0.4	%	
Ti (titanium)	0	- 0.15	%	
Zn (zinc)	0	- 0.25	%	
Other	0	- 0.15	%	
Price				
Price	* 1.72	- 1.81	EUR/kg	
Price per unit volume	* 4.55e3	- 4.83e3	EUR/m³	
Physical properties				
Density	2.64e3	- 2.67e3	kg/m³	
Mechanical properties				
Young's modulus	70	- 73.6	GPa	
Yield strength (elastic limit)	283	- 313	MPa	
Tensile strength	345	- 381	MPa	
Elongation	3	- 3.49	% strain	
Compressive strength	* 262	- 290	MPa	
Flexural modulus				
<small>Values marked * are estimates. No warranty is given for the accuracy of this data</small>				
Processing properties				
Metal casting	Unsuitable			
Metal cold forming	Excellent			
Metal hot forming	Acceptable			
Metal press forming	Excellent			
Metal deep drawing	Acceptable			
Machining speed	118	m/min		
Weldability	Excellent			
Notes	Preheating and post weld heat treatments are not required			

General information

Designation

5182, wrought	
Condition	H19 (Strain-hardened only)
UNS number	A95182
EN name	EN AW-5182
ISO name	Al Mg4.5Mn0.4

Typical uses

Automotive body sheet, reinforcement members, brackets and parts. Uses in metal sheet, packaging, can stock and container ends.

Composition overview

Compositional summary

A93-96 / Mg4-5 / Mn0.2-0.5 (impurities: Fe<0.35, Zn<0.25, Si<0.2, Cu<0.15, Cr<0.1, Ti<0.1,	
Material family	Metal
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	93,2	-	95,8	%
Cr (chromium)	0	-	0,1	%
Cu (copper)	0	-	0,15	%
Fe (iron)	0	-	0,35	%
Mg (magnesium)	4	-	5	%
Mn (manganese)	0,2	-	0,5	%
Si (silicon)	0	-	0,2	%
Ti (titanium)	0	-	0,1	%
Zn (zinc)	0	-	0,25	%
Other	0	-	0,15	%

Price

Price	* 1,71	-	1,8	EUR/kg
Price per unit volume	* 4,49e3	-	4,83e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	2,63e3	-	2,68e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	68,5	-	72,1	GPa
Yield strength (elastic limit)	373	-	413	MPa
Tensile strength	400	-	442	MPa
Elongation	3,7	-	4,3	% strain
Compressive strength	* 373	-	413	MPa
Flexural modulus	* 68,5	-	72,1	GPa

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Excellent
Metal hot forming	Acceptable
Metal press forming	Excellent
Metal deep drawing	Limited use
Machining speed	104 m/min
Weldability	Excellent
Notes	Preheating and post weld heat treatments are not required

D) BUJES

 Carbon steel, SA216 (Type WCC), cast, annealed		Page 1 of 6	
General information			
Designation			
SA216 (Type WCC)			
Condition	Annealed		
UNS number	J02503		
US name	-ASME WCB, -ASME J03002, -ASME		
EN name	-GP280GH		
EN number	-1.0625		
JIS (Japanese) name	-Class SCPH 2		
Typical uses			
ASTM grade A216 WCC or ASME grade SA-216 WCC is used in valves and cast parts for high-pressure piping systems. It is especially useful for its excellent weldability.			
Composition overview			
Compositional summary			
Fe96-100 (impurities: Mn<1.2, Si<0.6, Cr<0.5, Ni<0.5, Cu<0.3, C<0.25, Mo<0.2, S<0.045, P<0.04, V<0.03)			
Material family	Metal		
Base material	Fe		
Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
C (carbon)	0	- 0,25	%
Cr (chromium)	0	- 0,5	%
Cu (copper)	0	- 0,3	%
Fe (iron)	* 96,3	- 100	%
Mn (manganese)	0	- 1,2	%
Mo (molybdenum)	0	- 0,2	%
Ni (nickel)	0	- 0,5	%
P (phosphorus)	0	- 0,04	%
S (sulfur)	0	- 0,045	%
Si (silicon)	0	- 0,6	%
V (vanadium)	0	- 0,03	%
Price			
Price	* 0,671	- 0,779	EUR/kg
Price per unit volume	* 5,25e3	- 6,11e3	EUR/m³
Physical properties			
Density	7,81e3	- 7,84e3	kg/m³
Mechanical properties			
Young's modulus	198	- 209	GPa
Yield strength (elastic limit)	228	- 241	MPa
Tensile strength	434	- 482	MPa
<small>*Values marked * are estimates. No warranty is given for the accuracy of this data</small>			
Processing properties			
Metal casting	Acceptable		
Metal cold forming	Unsuitable		
Metal hot forming	Unsuitable		
Metal press forming	Unsuitable		
Metal deep drawing	Unsuitable		
Machining speed	45,7		m/min
Weldability	Good		
Notes	Preheating and post weld heat treatments may be required		
Carbon equivalency	0	- 0,649	

CES 2017 EDUPACK		Carbon steel, AISI 12L14, as rolled		Page 1 of 5
General information				
Designation				
AISI				
Condition	As rolled			
UNS number	G12144			
US name	AISI 12L14, 12L13, 12L15 to ASTM A29, ASTM A510, ASTM A519, ASTM A576, SAE			
EN name	11SMnPb37, 11SMnPb30, 9SMnPb28 to BS EN 10087, BS EN 10277; S300Pb to NF A35 561			
EN number	1.0737, 1.0718, 1.9718			
JIS (Japanese) name	SUM24L to JIS			
Tradenames				
LEDOY 1214, Usaed, AMER-LED				
Typical uses				
Free-machining / free-cutting steel for automatic screw machine and tool products, shafts, bolts, fasteners, cams, lightly stressed fasteners, for the automotive and general engineering industries.				
Composition overview				
Compositional summary				
Fe98.99 / Mn0.85-1.1 / S0.26-0.35 / Pb0.15-0.35 / P0.04-0.09 (impurities: C<0.15, Si<0.1)				
Material family	Metal			
Base material	Fe			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
C (carbon)	0	-	0,15	%
Fe (iron)	97,8	-	98,7	%
Mn (manganese)	0,85	-	1,15	%
P (phosphorus)	0,04	-	0,09	%
Pb (lead)	0,15	-	0,35	%
S (sulfur)	0,26	-	0,35	%
Si (silicon)	0	-	0,1	%
Price				
Price	* 0,582	-	0,698	EUR/kg
Price per unit volume	* 4,58e3	-	5,52e3	EUR/m ³
Physical properties				
Density	7,83e3	-	7,91e3	kg/m ³
Mechanical properties				
Young's modulus	198	-	204	GPa
Yield strength (elastic limit)	342	-	517	MPa
Tensile strength	380	-	570	MPa
<small>Values marked * are estimates. No warranty is given for the accuracy of this data</small>				
Processing properties				
Metal casting	Unsuitable			
Metal cold forming	Acceptable			
Metal hot forming	Excellent			
Metal press forming	Acceptable			
Metal deep drawing	Unsuitable			
Machining speed	45,7			m/min
Weldability	Poor			
Notes	Preheating and post weld heat treatments may be required, and contains hazardous elements			
Weldability - TIG	Not recommended			
Carbon equivalency	0,028	-	0,192	

General information

Designation

AISI 1025	
Condition	Annealed
UNS number	G10250
US name	ASME 1025, ASTM M1025, ASTM 1025, ASME G10250, SAE 850, AMS 5045, -SAE 853 Class 1 Type 5, -SAE 853 Class 1 Type 4, -SAE 853 Class 1 Type 3, -SAE 853 Class 1 Type 2, -SAE 853 Class 1 Type 1, -SAE 040S, -SAE 040C, -SAE 040B, -SAE 040A, -ASTM FPA
EN name	S270GP
EN number	1.0023
GB (Chinese) name	-ML25Mn
JIS (Japanese) name	SWH 400L, SWH 400, STW 400, STW 370, STPY 400, STKR 400, STKN400W, STK400, SSC 400, SKY 400, SKK 400, SDP2G, SDP2, SDP1TG, SDP1T, -STPL 380, -STPG 370, -STKM13C, -STKM13B, -STKM13A, -STC 590 A, -STC 510 A, -STC 440, -STC 370, -SPHT 3, -SM400A

Typical uses

General engineering; structural and mechanical engineering.

Composition overview

Compositional summary

Fe99.99.5 / Mn0.3-0.6 / C0.22-0.28 (impurities: S<0.05, P<0.04)

Material family	Metal
Base material	Fe

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,22	-	0,28	%
Fe (iron)	* 99	-	99,5	%
Mn (manganese)	0,3	-	0,6	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,05	%

Price

Price	* 0,573	-	0,689	EUR/kg
Price per unit volume	* 4,49e3	-	5,44e3	EUR/m³

Physical properties

Density	7,82e3	-	7,9e3	kg/m³
---------	--------	---	-------	-------

Mechanical properties

Young's modulus	200	-	210	GPa
-----------------	-----	---	-----	-----

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Acceptable
Metal hot forming	Excellent
Metal press forming	Excellent
Metal deep drawing	Limited use
Machining speed	39,6 m/min
Weldability	Good
Notes	Preheating and post weld heat treatments may be required
Carbon equivalency	0,27 - 0,38

General information

Designation

AISI	1144
Condition	Annealed
UNS number	G11440
US name	ASTM G11440, ASTM 1144 Class B, ASTM 1144 Class A, ASTM 1144
GB (Chinese) name	-Y40Mn
JIS (Japanese) name	SUM43

Typical uses

General construction; general mechanical engineering; automotive; tools; axles; gears;

Composition overview

Compositional summary

Fe98 / Mn1.4-1.6 / C0.4-0.48 / S0.24-0.33 (impurities: P<0.04)

Material family	Metal
Base material	Fe

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,4	-	0,48	%
Fe (iron)	* 97,5	-	98	%
Mn (manganese)	1,35	-	1,65	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0,24	-	0,33	%

Price

Price	* 0,573	-	0,689	EUR/kg
Price per unit volume	* 4,47e3	-	5,44e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	7,8e3	-	7,9e3	kg/m ³
---------	-------	---	-------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	200	-	215	GPa
Yield strength (elastic limit)	310	-	385	MPa
Tensile strength	525	-	645	MPa
Elongation	20	-	30	% strain
Compressive strength	* 310	-	385	MPa
Flexural modulus	* 200	-	215	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	310	-	385	MPa
Shear modulus	77	-	84	GPa
Bulk modulus	155	-	175	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Acceptable
Metal hot forming	Acceptable
Metal press forming	Acceptable
Metal deep drawing	Limited use
Machining speed	45,7 m/min
Weldability	Poor
Notes	Preheating and post weld heat treatments may be required
Carbon equivalency	0,625 - 0,755

ANEXOS

MAQUINARIA

1) TORNO⁶³



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tipo de cabezal	Variador eléctrico de velocidad
Distancia entre centros	1000 mm
Altura de centro	200 mm
Máx. Ø sobre bancada	402 mm
Máx. Ø sobre escote	560 mm.
Longitud del escote desde plato liso	120 mm

Máx. Ø sobre carro longitudinal	335 mm
Máx. Ø sobre carro transversal	245 mm
Recomido carro transversal	210 mm
Recorrido charriot	105 mm
Ancho de bancada	250 mm
Agujero del eje principal del cabezal	42 mm
Nariz del eje principal	A2-5"
Cono morse eje principal	MT4
Rango de velocidad I	40 - 345 rpm
Rango de velocidad II	345 - 1015 rpm
Rango de velocidad III	1015 - 2800 rpm
Nº de pasos y avances de la caja Norton	44
Avances longitudinales	0,044 - 0,662 mm
Avances transversales	0,020 - 0,296 mm

Pasos métricos	0,5 - 7,5 mm
Pasos Whitworth	60 - 4 T.P.I.
Pasos modulares	0,25 - 3,75 mm
Pasos diametrales, husillo patrón Ø35	120 - 8 D.P.
Paso del husillo patrón Ø35	6 mm
Contrapunto Ø caña	58 mm
Recorrido de la caña contrapunto	180 mm
Cono morse caña	MT4
Dimensiones de la herramienta	20 x 20 mm

PRECIOS

DESCRIPCIÓN	CTDAD.	PRECIO
TORNO PINACHO ML-18-200-42 DE 750 MM.	1	11.934,00 €
Plato Universal 3 garras MK Ø 160mm Acoplado	1	940,00 €
Torreta de cambio rápido 2 caras 4 portes	1	315,00 €
Punto giratorio CM-4	1	165,00 €

CONDICIONES COMERCIALES

- ✓ IVA: 21% no incluido.
- ✓ PORTES: Pagados, excepto la descarga.
- ✓ PLAZO DE ENTREGA: 90/100 días, aprox.
- ✓ CONDICIONES DE PAGO: **30% a la carga de la máquina en fábrica**
70% a la carga de la máquina en fábrica

En espera de sus noticias sobre este asunto, les saludamos atentamente.

DISMAVEGA S.L.U

2) FRESADORA ⁶⁴

FRESADORA DE TORRETA

LAGUN



MODELO FTV 2

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Mesa

Superficie de trabajo	mm	1.406 x 254
Ranuras en "T"	mm	3 x 16 x 63
Peso máximo sobre la mesa	ka	200

Cursos

Longitudinal manual	mm	965
Longitudinal con caja electrónica de avances (opcional)	mm	900
Longitudinal con caja mecánica de 8 avances (opcional)	mm	870
Transversal manual	mm	406
Transversal con caja electrónica de avances (opcional)	mm	365
Transversal con caja mecánica de 8 avances (opcional)	mm	355
Transversal con fuelles (opcional)	mm	320
Vertical manual	mm	406
Vertical con caja mecánica (opcional)	mm	400
Curso del carnero	mm	570

Cabezal Variador

Cono del eje portafresas		ISO 40 DIN 2080
Diámetro de la caña	mm	Ø 85,70
Gama de velocidades (50Hz)	rpm	50 ÷ 4.000
Gama de velocidades (60Hz)	rpm	60 ÷ 4.200
Número de velocidades		variación continua
Curso de la caña	mm	127
Se gira de derecha a izquierda		±90°
Se inclina de delante hacia atrás		±45°
Avances de la caña por revolución	mm	0,04 – 0,08 – 0,13

Motores

Potencia del eje cabezal variador	kW	3,7
Bomba refrigeración	kW	0,1

Información General

Superficie en planta (ancho x fondo)	mm	2.813 x 1.972
Altura máxima	mm	2.230
Peso neto	kg	1.100
Potencia total instalada (sin opciones)	kW	4

**LAGUN MACHINERY, S.L.U**

Pol. Ind. Lladie Pab. 7
Ctra. Bergara nº 4
01170 LEGUTIANO - ALAVA
Tno: 945 264600

RAFA GARCIA

Madrid

Atn: Rafa Garcia

CONCEPTO: OFERTA
FECHA: 19 de Junio de 2018

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNIT	IMPORTE TOTAL
93101200101	Fresadora vertical de torreta modelo FTV 2 con cono ISO 40 marca LAGUN , completa con su equipamiento estándar y suministrada de acuerdo a la normativa Europea de seguridad.....	1	11.540,00 €	11.540,00 €
93221201001	Caja mecánica de 8 avances para el longitudinal.....	1	1.195,00 €	1.195,00 €
93221201002	Caja mecánica de 8 avances para el transversal.....	1	1.780,00 €	1.780,00 €
93221201003	Caja mecánica vertical de 1 velocidad.....	1	1.024,00 €	1.024,00 €
93229900003	Amarrador electro-neumático de herramientas.....	1	1.990,00 €	1.990,00 €
93222710002	Visualizador FAGOR 30iM montado en 3 ejes.....	1	2.210,00 €	2.210,00 €

3) MÁQUINA CORTE LÁSER⁶⁵



Technical parameters

Laser power	1200W
Laser source	Nlight
Laser generator working mode	Continuous/Modulation
Beam mode	Multimode
Tube processing	Φ=20-200mm, L=6m
Tube category	Round, square, rectangular, oval, waist round, triangle tube etc.
Rotate speed	80 turn/minute
CNC control	Germany PA
Nesting software	Spain Lantek
Power supply	AC380V±5% 50Hz/60Hz (3 phase)
Total electric power	18KW
Position accuracy	0.3mm

Power supply	AC380V±5% 50Hz/60Hz (3 phase)
Total electric power	18KW
Position accuracy	0.3mm
Repeat position accuracy	0.1mm
Maximum position speed	70m/min
Acceleration	0.8g
Format supported	Solidworks, Pro/e, UG, etc.
Flooring	9.6m x 2.5m
Machine weight	10T



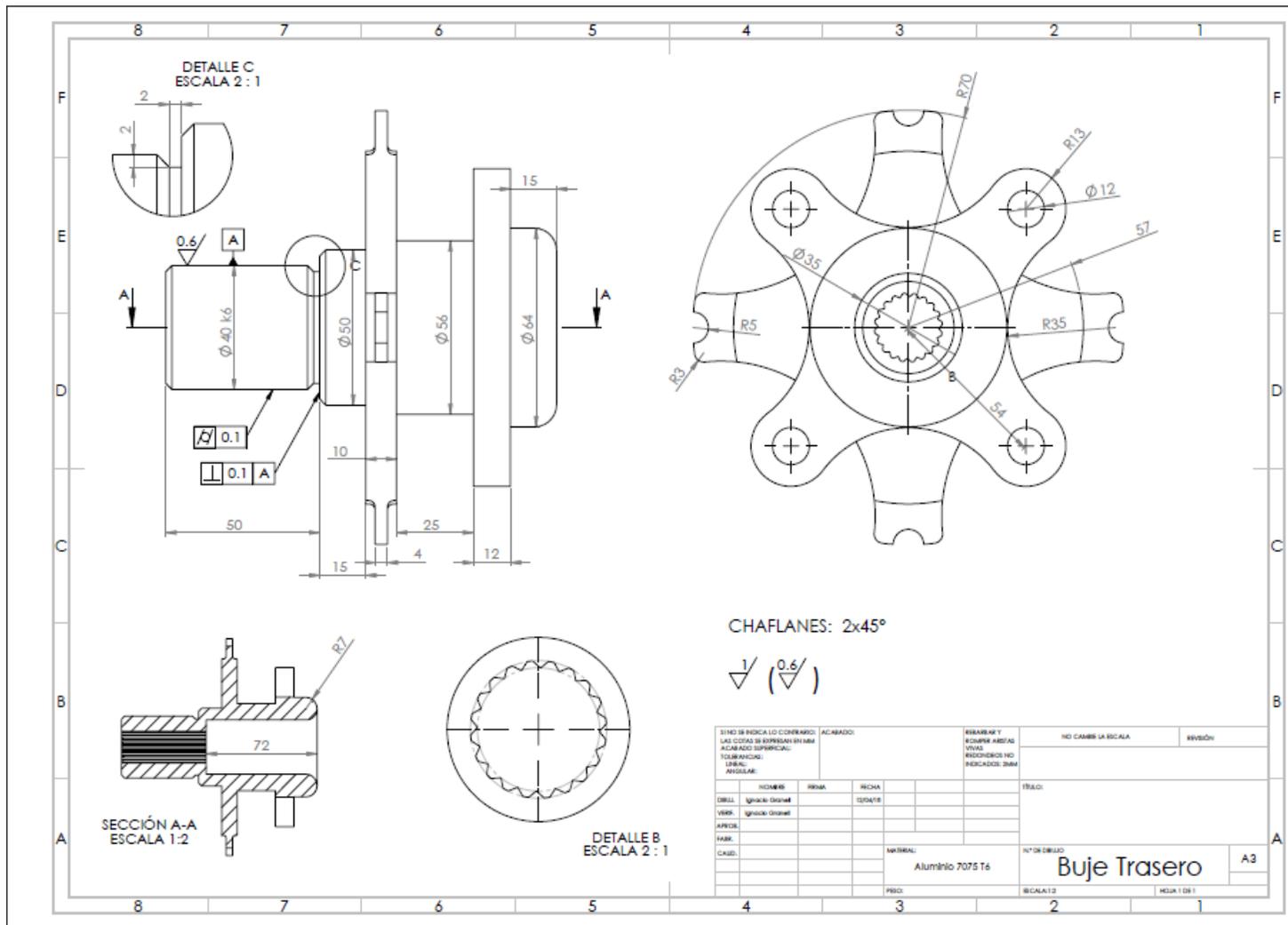
Quotation

NO.	PRODUCT DESCRIPTION	QTY.	SPECIAL PRICE (US\$)
1	TUBE FIBER LASER CUTTING MACHINE_P2060 Laser power – 1200 W Laser source – Nlight from USA Suitable tube length – 6000mm Suitable tube diameter: 20-200mm Moving system – Servo equipped Motorized system Motor type – Yaskawa (Japan) Controller- Germany PA Nesting software- Spain Lantek Cutting head: Raytools A suits of free spare parts	1	USD130,000
2	TUBE FIBER LASER CUTTING MACHINE_P3080 Laser power – 1200 W Laser source – Nlight from USA Suitable tube length – 8000mm Suitable tube diameter: 20-300mm Moving system – Servo equipped Motorized system Motor type – Yaskawa (Japan) Controller- Germany PA Nesting software- Spain Lantek Cutting head: Raytools A suits of free spare parts	1	USD150,000

ANEXOS

PLANOS CEDIDOS

POR EL ISC



*Los planos han sido realizados y proporcionados por los miembros del ICAI Speed Club.