

Proyecto Fin de Máster

Ingeniería Aeronáutica

Análisis de datos de mercado real y comparación con los datos de DFMA en mecanizado

Autor: José Joaquín Ramírez del Toro

Supervisor: Luis Valentín Bohórquez Jiménez

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Análisis de datos de mercado real y comparación con los datos de DFMA en mecanizado

Autor:

José Joaquín Ramírez del Toro

Tutor:

Luis Valentín Bohórquez Jiménez

Profesor Contratado Doctor

Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

A mi familia

Agradecimientos

Gracias a mi familia y amigos, fieles acompañantes durante ésta fantástica etapa.

Agradecido enormemente a Luis, mi tutor, por haberme guiado de manera brillante, y por haberme atendido de una manera tan cercana en unos tiempos tan difíciles, además de compartir conmigo algunos pensamientos y opiniones en los que, a mi parecer, no le falta la razón.

José Joaquín Ramírez del Toro

Sevilla, octubre 2020

El diseño para la fabricación y el ensamblaje (DFMA) consiste en una combinación del diseño para la fabricación (DFM) y el diseño para el montaje (DFA), como dice Ioan Marinescu en su libro “Product Design for Manufacture and Assembly”, en el cual está basado el presente proyecto.

Hay unas directrices para la fabricación de piezas que claramente ahorran tiempo y dinero si se aplican correctamente. Son muchas las decisiones a tener en cuenta, siendo una de las más importantes la elección correcta del material a utilizar, cuyo precio significa entre un 50-75% del coste total de la pieza. De ahí la importancia de disponer de unos costes de materiales precisos, con el fin de optimizar la fabricación de las piezas y consecuentemente reducir los costes.

En este proyecto se analizarán y actualizarán los precios de materiales del mercado real, para su posterior comparación con los empleados por Boothroyd-Dewhurst en la estimación del coste de piezas según el método DFMA. Para ello, se extraerán de manera masiva y automática los costes de materiales desde la Web de un distinguido proveedor.

La extracción de estos costes de material tendrá como resultado una base de datos elaborada por medio de principios de Web Scraping y VBA, a partir de la que se representarán, compararán y analizarán dichos costes. La herramienta desarrollada podrá ejecutarse en cualquier momento futuro, lo que permitirá actualizar los costes de material según la situación del mercado en el momento de la ejecución.

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) consists of a combination of design for manufacturing (DFM) and design for assembly (DFA), as Ioan Marinescu says in his book "Product Design for Manufacture and Assembly", in which this project is based.

There are guidelines for the design of parts that clearly save time and money if they are applied correctly. Many decisions have to be taken into account, one of the most important is the right choice of material to be used, whose price means between 50-75% of the total cost of the piece. Therefore, it is important to get accurate material costs, in order to optimize the manufacturing of the pieces and consequently reduce costs.

In this project the material costs of the real market will be analyzed and updated for comparison with those used by Boothroyd-Dewhurst in the cost estimation according to DFMA method. For this purpose, the material costs will be extracted in a massive and automatic way from the site of a well-known supplier.

The extraction of material costs will lead to a database developed by means of Web Scraping and VBA principles, from which these costs will be represented, compared and analysed. The developed tool can be run in the future allowing material cost update according to the market situation at the time of the execution.

Contenido

1	Introducción	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Estructura del contenido	1
2	Contexto	5
2.1	Concepto de Design For Manufacturing & Assembly (DFMA)	5
2.2	Antecedentes del DFMA	6
2.3	Objetivos del DFMA	8
2.4	Metodologías DFMA desarrolladas	8
2.5	Ventajas del DFMA	9
2.6	Causas por las que no se implementa DFMA	10
3	As - Is/To - Be	11
4	Influencia del precio del material en el coste final de la pieza	15
4.1	Datos generales para el cálculo	16
4.2	Coste del material	16
4.3	Cálculo de M: Coste horario de máquinas y operarios	16
4.4	Cálculo del coste por tiempo improductivo	17
4.4.1	Tiempo de carga y descarga en la máquina, $t_{l\&u}$	17
4.4.2	Tiempo de transporte dentro de la fábrica	17
4.4.3	Tiempo de enganche y ajuste de máquina, t_e y t_s	17
4.4.4	Tiempo de aproximación de la herramienta de trabajo, t_a	17
4.4.5	Tiempo de acabado y sparking-out, t_{fin} y t_{spo}	18
4.5	Tiempo de mecanizado convencional y con abrasivos, tm_1 y tm_2	19
4.5.1	Mecanizado en condiciones de coste mínimo	19
4.5.2	Mecanizado en condiciones de máxima potencia	20
5	Elaboración de una base de datos de materiales mediante Web Scraping	23
5.1	¿Qué es el Web Scraping?	23
5.2	¿Cómo funciona el Web Scraping?	24
5.3	Extensión Google Chrome: Web Scraper	24
5.3.1	Funciones que ofrece la extensión Web Scraper	24
5.3.2	Nociones básicas de uso de la extensión Web Scraper	25
5.3.3	Utilidades y aplicaciones de la técnica Web Scraping en la actualidad	25
5.4	Busqueda de proveedores mediante la revisión del mercado de materiales para la aplicación del Web Scraping	26
5.5	Conceptos y definiciones clave para la programación de un procedimiento en Web Scraper	27
5.5.1	SiteMap	27
5.5.2	Selectors	28
5.5.3	Gráfico de selectores	32
5.6	Programación y ejecución del procedimiento de Web Scraping dentro del site Metals4U	32
5.7	Volcado de datos obtenidos por Web Scraping dentro de Microsoft Excel	38
5.8	Ahorro de tiempo usando Web Scraping respecto a la extracción manual de los datos	41
6	Gestión de datos y obtención de costes de materiales usando VBA	43
6.1	Macro 1: Extracción de libras y conversión de valores a formato número	43
6.2	Macro 2: Conversión de libras a euros	44
6.3	Macro 3: Determinación del factor m/kg de cada material	44
6.4	Macro 4: Extraer un número de dígitos en función de la dimensión de la preforma	45
6.5	Macro 5: Extraer los dígitos tipo número de la cadena "dimensión" de cada material	45
6.6	Macro 6: Convertir a metros las dimensiones de cada material	46
6.7	Macro 7: Cálculo del coste de material en €/kg	46
6.8	Macro 8: Clasificación del tipo de material	47

6.9	Macro 9: Clasificación del tipo de preforma	48
6.10	Macro 10: Clasificación de los tipos de barra	50
6.11	Cálculo de costes para los distintos grupos de materiales y preformas usando VBA.....	52
6.11.1	Macro 11: Cálculo del coste en función del material y la tipología de la preforma	52
6.11.2	Macro 12: Cálculo del coste en función del material y el tipo de barra	53
6.11.3	Macro 13: Cálculo del coste en función del material para los grupos “Barras” y “Chapas”	53
6.11.4	Macro 14: Cálculo del coste en función del tipo de material (Grupo “Tocho”).....	55
7	Resultados y discusión	57
7.1	Coste medio por kilogramo en función del material y de la tipología de la preforma	57
7.2	Coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra	58
7.3	Coste medio por kilogramo en función del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”	59
7.4	Coste medio por kilogramo en función del material e independientemente de la tipología de la preforma (“Tocho”)	59
7.5	Representación de los costes de material para los grupos definidos.....	60
8	Conclusiones y líneas futuras.....	73
8.1	Conclusiones.....	73
8.2	Líneas Futuras	74
9	Referencias	75
Anexos		77
A1. Casos de estudio, avances y mejoras del método de Boothroyd-Dewhurst.....		79
A1.1. Aplicaciones de la Metodología de Boothroyd-Dewhurst		79
A1.1.1	DFA aplicado a equipos de calibración.....	79
A1.1.2	DFA aplicado en el rediseño de una bomba axial acuícola.....	80
A1.2. Mejora de los métodos existentes		81
A1.2.1	Desarrollo de un sistema artificial para optimizar DFMA.....	81
A1.2.2	Diseño para ensamblaje de piezas grandes y pesadas	82
A1.2.3	Diseño de una herramienta de DFMA basada en factores de puntuacion.....	82
A1.2.4	Diseño del ensamblaje y desensamblaje para remanufaración.....	83
A1.2.5	Otras contribuciones.....	84
A2. Selección de materiales y procesos para la aplicación del método DFMA		85
A2.1. Variables del proceso y requerimientos generales.....		85
A2.2. Selección del proceso y de los materiales para la fabricación		86
A2.2.1	Compatibilidad material-proceso de fabricación (DFM).....	86
A2.2.2	Compatibilidad geometría-proceso de fabricación	86
A2.2.3	Compatibilidad material – proceso de ensamblaje (DFA)	87
A2.2.4	Compatibilidad Tolerancias-Proceso	88
A2.3. Metodología sistemática para la selección de procesos y materiales		88
A2.3.1	Selección primaria de procesos-materiales	90
A2.3.2	Selector de secuencia de procesos experto.....	91
A2.3.3	Clasificación económica de procesos	92
A3. Procesos de mecanizado.....		95
A3.1. Mecanizado con filos definidos		95
A3.1.1	Mecanizado con herramientas de filo único.....	95
A3.1.2	Mecanizado con herramientas de varios puntos	97

A3.2. Mecanizado con abrasivos	99
A4. Macros para la tabulación de costes de material en función del grupo	101
A4.1. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma	101
A4.2. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra	102
A4.3. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y de los grupos “Barras” y “Chapas”	103
A4.4. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material e independientemente de la tipología de la preforma (“Tocho”)	104

Acrónimos y abreviaciones

DFMA	Design for Manufacture and Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DFA	Design for Assembly
DFD	Design for Dissassembly
TFM	Trabajo Fin de Master
VBA	Visual Basic for Applications
NSF	National Sanitation Foundation
IBM	International Sanitation Foundation
AEM	Assemblability Evaluation Method
PSE	Production Systems Engineering
CNC	Computer Numerical Control
HTML	Hyper Text Markup Language
API	Application Programming Interface
TV	Television
URL	Uniform Resource Locator
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML
CSV	Comma Separated Values
PC	Personal Computer
ID	Identification
RSJ	Roller Steel Joist
EEUU	Estados Unidos
INPE	Instituto Nacional para la Investigación Espacial
CAD	Computer-Aided Design
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

Contenido

Figura 1. Características de diseño con impacto en el ensamblaje	6
Figura 2. Guía de producibilidad engañosa para el diseño de piezas de chapa	7
Figura 3. Influencia del DFMA en el proceso de diseño [4]	7
Figura 4. Esquema iterativo de diseño DFMA según Boothroyd-Dewhurst [6]	8
Figura 5. Impacto del empleo del diseño en el ensamblaje de un producto	10
Figura 6. Croquis de la pieza para el cálculo de coste por DFMA. Dimensiones genéricas en milímetros (mm) y las rugosidades en micrómetros (μm).	15
Figura 7. Estructura de un procedimiento de Web Scraping	24
Figura 8. Catálogo de preformas del proveedor Metals4U [13]	26
Figura 9. Catálogo de materiales del proveedor Metals4U	26
Figura 10. Ejemplo Web de noticias. Escrapeo de todos los artículos de la página 1 de la Web	28
Figura 11. Estructura, niveles y selectores del ejemplo de escrapeo de información de la Web de artículos	28
Figura 12. Extracción de un registro por página con múltiples selectores de texto	29
Figura 13. Extraer varios campos con varios selectores de texto por página	29
Figura 14. Configuración del selector tipo tabla	30
Figura 15. Ejemplo de uso para configuración de selectores tipo link	31
Figura 16. Ejemplo para resolución del problema de la paginación (sin usar rangos de página)	31
Figura 17. Árbol de selectores que simula la secuencia de ejecución del método de Web Scraping	32
Figura 18. Árbol de selectores para una Web con paginación y sin usar rangos para la paginación	32
Figura 19. Instalación y apartura del Web Scraper	33
Figura 20. Creación de un SiteMap	33
Figura 21. Campos requeridos para la creación de un SiteMap y uso de rango para configurar la paginación	33
Figura 22. Creación a de un selector en un nivel inmediatamente inferior al SiteMap	34
Figura 23. Selección de los elementos/ítems sobre los que se deben extraer datos en cada URL (96 materiales/pag)	34
Figura 24. Árbol de selectores del procedimiento programado para la extracción de datos (Hasta su 2º nivel)	35
Figura 25. Acceso a las características de un material tras la ejecución del selector del 2º nivel	35
Figura 26. Creación de un selector para la extracción del nombre del material	36
Figura 27. Creación de un selector para la extracción del ratio kg/m	37
Figura 28. Creación de un selector tipo tabla para la extracción de la dimensión y el precio del material	37
Figura 29. Campos reconocidos tras la configuración del selector tipo tabla	38
Figura 30. Árbol representativo del Web Scraping para la extracción de datos en la página Metals4U.	38
Figura 31. Secuencia para la ejecución del proceso de Web Scraping programado	38

Figura 32. Exportación de los datos obtenidos por Web Scraping a Microsoft Excel mediante un archivo CSV	39
Figura 33. Base de datos proporcionada por le Web Scraper. Estructura de datos delimitada por comas.	39
Figura 34. Método para separar texto delimitado por comas en diferentes columnas (paso 1)	40
Figura 35. Método para separar texto delimitado por comas en diferentes columnas (paso 2)	40
Figura 36. Datos separados en distintas columnas preparados para su procesamiento	41
Figura 37. Macro 1. Extracción de libras en formato número con dos decimales	44
Figura 38. Macro 2: Conversión de libra a euros en formato número decimal	44
Figura 39. Macro 3: Extracción y cálculo del ratio m/kg de cada material	44
Figura 40. Macro 4: Extracción de un número variable de dígitos para la dimensión del material	45
Figura 41. Macro 5: Extraer los dígitos tipo número referidos a la dimensión de la preforma	46
Figura 42. Macro 6: Conversión a metros de la dimensión de cada material	47
Figura 43. Macro 7: Cálculo del coste en €/kg	47
Figura 44. Macro 8: Clasificación del material de cada preforma	48
Figura 45. Macro 9: Clasificación del tipo de preforma	49
Figura 46. Grupos y Subgrupos de preformas creados para la consulta de costes	51
Figura 47. Macro 10: Clasificación del tipo de barras	52
Figura 48. Macro 11: Cálculo del coste medio por kilogramo en función del material y el tipo de preforma	53
Figura 49. Macro 12: Cálculo del coste por kilogramo en función del material y el tipo de barra	54
Figura 50. Macro 13: Cálculo del coste por kilogramo de los grupos “Barras” y “Chapas”	54
Figura 51. Macro 14: Cálculo del coste por kilogramo de una preforma genérica en función del material	55
Figura 52. Aplicación para el cálculo del coste en función de los distintos grupos de materiales.	56
Figura 53. Precio medio de materiales en función de la tipología de la preforma	61
Figura 54. Precio medio de las preformas en función del material	62
Figura 55. Distribución de precios de material en función del tipo de barra	64
Figura 56. Distribución de precios del tipo de barra en función del material	65
Figura 57. Distribución de precios de material para barras y chapas	67
Figura 58. Distribución de precios de barras y chapas en función del material	68
Figura 59. Distribución de precios medios de material independientemente de la preforma	70

Anexos

Figura A. 1. Diseño preliminar con 6 piezas y 4 tornillos	79
Figura A. 2. Diseño final con sólo 3 piezas	80
Figura A. 3. Compatibilidad entre procesos y materiales [22]	87
Figura A. 4. Compatibilidad de los materiales con el proceso de ensamblaje [22]	88
Figura A. 5. Compatibilidad procesos-tolerancias	89
Figura A. 6. Diagrama de bloques para la selección sistemática de procesos y materiales	90
Figura A. 7. Procedimiento para la selección de la secuencia adecuada de materiales y procesos	92
Figura A. 8. Categorías básicas de componentes de las máquinas	93

Figura A. 9. Pieza utilizada como ejemplo para la estimación del coste total	93
Figura A. 10. Operación de torneado; descripción del proceso [23]	96
Figura A. 11. Clasificación de operaciones de torneado: a) cilindrado; b) tronzado; c) mandrinado; d) roscado; e) referentado [2]	96
Figura A. 12. Operación de fresado; en discordancia (izquierda) y en concordancia (derecha)	97
Figura A. 13. Fresado cilíndrico normal (izquierda) y fresado frontal (derecha)	97
Figura A. 14. Operación de taladrado	98
Figura A. 15. Operación de brochado y representación de máquina brochadora	99
Figura A. 16. Clasificación de las principales operaciones abrasivas [25]	99
Figura A. 17. Macro para la tabulación de costes de materiales en función de la tipología de la preforma	101
Figura A. 18. Macro para la tabulación de lo coste de material en función del tipo de barra	102
Figura A. 19. Macro para la tabulación del coste de material en función de los grupos “Barras” y “Chapas”	103
Figura A. 20. Macro para la tabulación del coste de material independientemente del tipo de la preforma (“Tocho”)	104

Contenido

Tabla 1. Costes estimados (\$) para los dos ejemplos representados en la Figura 2 para 100.000 unidades.	7
Tabla 2. Costes de Materiales empleados por Boothroyd-Dewhurst para la aplicación del método DFMA (Datos en \$/lb - Para convertir en \$/kg multiplicar por 2.2)	12
Tabla 3. Precios de materiales mejorados respecto a los propuestos por Boothroyd-Dewhurst (datos en €/kg)	13
Tabla 4. Densidad y precio del material	16
Tabla 5. Cálculo de M	16
Tabla 6. Ahorro de tiempo en la extracción de los datos usando Web Scraping frente al proceso manual	41
Tabla 7. Tipos de preformas	50
Tabla 8. Coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma	58
Tabla 9. Coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra	59
Tabla 10. Coste medio por kilogramo en función del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”	60
Tabla 11. Coste medio por kilogramo de materiales independientemente del tipo de preforma	60
Tabla 12. Comparación entre los precios (€/kg) proporcionados por Boothroyd y los extraídos tras el proceso de Web Scraping	71

Anexos

Tabla A. 1. Parámetros de manipulación/ inserción propuestos por el autor de la referencia [17]	81
---	----

1 INTRODUCCIÓN

“La política es el arte de impedir que la gente se meta en lo que sí le importa”

-Marco Aurelio Almazán-

En este capítulo se ilustran los principales objetivos del proyecto. Adicionalmente, se representará el contenido del trabajo realizado de manera resumida, con el objetivo de hacerlo más intuitivo y a su vez facilitar su lectura.

1.1 Objetivos

Este Trabajo Fin de Master pretende analizar y actualizar los precios de materiales del mercado real, para su comparación con los empleados por Boothroyd en su libro “Product Design for Manufacture and Assembly” para el cálculo de coste de piezas por mecanizado siguiendo el método DFMA.

Según éste método, el precio del material, o la preforma, representa entre un 50%-75% del coste total de la pieza, hecho que justifica la importancia de disponer de unos precios de material lo más actualizados y precisos posible, con el fin de no introducir un elevado error en el cálculo del coste total de la misma.

Se elaborará una base de datos que rocoga de manera extensa, precisa y actualizada los precios de distintos tipos de materiales y preformas, con el fin de proporcionar al usuario valores precisos del coste de material y determinar de ésta forma el coste total de una pieza por mecanizado, o para cualquier otro fin para el que se requiera dicho precio.

Se estudiará la importancia de la forma concreta de la preforma en el precio del material comparándola con los valores que proporciona Boothroyd en sus tablas.

Para dicha elaboración, se emplearán principios de Web Scraping y programación VBA, desarrollándose una aplicación que permita la extracción masiva de datos desde la Web de manera automática, así como su posterior procesamiento para su representación, análisis y gestión de manera eficiente.

Esta aplicación podrá ser ejecutada cuando se requiera en el futuro, pudiéndose actualizar los precios en cualquier momento y, a su vez, pudiéndose ampliar el número de combinaciones posibles de material-preforma tras pequeñas modificaciones en el código.

Previamente a la programación del método, se realizará un análisis profundo del mercado de materiales para la fabricación, ya que resulta de gran importancia contar con una fuente fiable, completa y actualizada de la cual extraer los datos.

1.2 Estructura del contenido

En éste apartado se recoge la estructura de capítulos en la que ha sido dividida el TFM, así como una breve descripción de los conceptos o puntos básicos que se tratarán en cada uno de ellos, todo ello con el objetivo de organizar y facilitar la comprensión del mismo.

El TFM ha sido dividido en 8 Capítulos y 4 Anexos. En el primero se recogen los objetivos del trabajo, así como el presente apartado de descripción del contenido del mismo. Posteriormente en el segundo capítulo, se procede a la exposición del contexto en el que se va a desarrollar. Concretamente, éste capítulo se introduce el concepto, antecedentes, objetivos, metodología desarrolladas y ventajas del método DFMA, desarrollo que resulta importante para entender el contexto en el que se focaliza el trabajo, y cuánto de importante son los datos que se van a analizar.

El trabajo continúa con un tercer capítulo en el que se presenta la situación actual, es decir, antes de la realización del TFM (As Is), así como la situación a la que se pretende llegar tras su desarrollo (To Be). Básicamente, en éste capítulo se presentan los precios de las combinaciones de materiales y preformas disponibles hasta el momento, que se corresponde con la tabla de precios de materiales proporcionada por Boothroyd en el séptimo capítulo de su libro "*Design for Manufacturing and Assembly*". Posteriormente, se comenta de manera general que es lo que se pretende hacer para mejorar ésta situación, ya que se dispone de información incompleta y desactualizada, lo cual consiste en la elaboración de una base de datos de materiales y preformas extraídas de manera masiva de la Web para su posterior consulta, gestión, análisis y comparación con los datos proporcionados con Boothroyd-Dewhurst.

En el Capítulo 4, usando como base el método de Boothroyd para el cálculo del precio de una pieza por mecanizado según DFMA, se expondrá un ejercicio práctico de cálculo de coste de una pieza, y se usará esto como base para justificar y demostrar la importancia que tiene el precio del material en el coste total de la pieza, lo cual dará una clara visión sobre la necesidad de disponer de unos datos precisos de costes de material.

En el quinto capítulo se expone detalladamente el método seguido para programar un procedimiento de Web Scraping para la extracción masiva y automática de datos desde la Web. Debido al carácter novedoso de ésta técnica, en éste capítulo se describe de manera concpetual en qué consiste el Web Scraping y cual es su aplicabilidad. Adicionalmente a ello, se indica la extensión empleada para el proceso, así como el navegador compatible para su aplicación, las nociones básicas de uso y las funciones que ofrece la misma.

Como se comentó anteriormente, y dentro del Capítulo 5, se incluye una revisión del mercado real de proveedores de materiales, con el objetivo de seleccionar un proveedor que cuente con una amplia gama de estos y que, contrastando los precios, los valores sean precisos y fiables. Por tanto, es en éste punto del Capítulo 5 donde se indica el proveedor seleccionado, y por consiguiente la Web de la que provendrán los datos.

El Capítulo 5 continúa con la exposición de conceptos clave para la programación de un proceso de Web Scraping, donde se entra en detalle sobre las diferentes funcionalidades y opciones que ofrece cada uno de los ajustes (Selectors, Sitemap, Selector Graph, etc.). La asimiliación de éstos conceptos resulta de gran importancia para la comprensión de los subapartados posteriores al mismo, en el que se expone de manera practica la programación del proceso de Web Scraping aplicado al caso concreto en el que se basa éste TFM.

Para finalizar el Capítulo 5, se expone la secuencia a seguir para volcar los datos extraídos dentro de Microsoft Excel, los cuales serán los *inputs* para la elaboración de las macros recogidas en el Capítulo 6. Además, con el objetivo de ilustrar al lector el despilfarro de tiempo que supondría realizar este mismo proceso de extracción de manera manual, se ha calculado el ahorro de tiempo que introduce la utilización de principios de Web Scraping frente a dicho proceso manual.

Por su parte, en el Capítulo 6, se presentan una serie de macros en VBA con las que se pretenden procesar los datos provenientes del Web Scraping, ya que tras el proceso de extracción los datos cuentan con un formato y una distribución lejana a la que se requiere para realizar cálculos con ellos, así como para representarlos y analizarlos. En éste capítulo también se recogen los diferentes grupos y subgrupos de materiales y preformas definidos, para los que posteriormente se determinará el precio medio por kilogramo, unidad que es la requerida para su uso posterior en las expresiones del método de Boothroyd.

Las agrupaciones de materiales y preformas definidas que se acaban de comentar, están pensadas para proporcionale al lector una idea del precio medio por kilogramo de materiales en distintas escalas, es decir, desde cuál es el precio de una preforma de una sección y material específicos, hasta cuanto cuesta en términos medios una barra o una chapa de un material determinado. Finalmente se recoge un grupo, el cual resulta ser el más general de todos, en el que se proporciona directamente el coste medio del material, independientemente del tipo de preforma.

A continuación, en el Capítulo 7 se representarán los principales resultados del TFM, los cuales consisten en una serie de tablas y gráficas detalladas que recogen el precio medio del material para las diferentes agrupaciones comentadas en el Capítulo 6. A partir de dichas gráficas y tablas se discutirán los resultados en éste mismo

capítulo, y se presentarán las principales conclusiones del trabajo en el Capítulo 8, además de indicarse posibles líneas futuras de trabajo.

Se completará el cuerpo del trabajo con una sección donde se recogen todas las referencias bibliográficas consultadas para la elaboración y redacción del TFM.

Por último, se incluirán una serie de Anexos como material complementario a los capítulos principales del trabajo, los cuales pueden resultar una fuente de información interesante a la hora de aclarar conceptos relacionados con el tema en el que se contextualiza el trabajo.

Concretamente se proporciona un primer anexo en el que se incluyen algunos casos de estudio, avances y mejoras del método de Boothroy-Dewhurst, un segundo anexo en el que se expone una metodología para la selección adecuada de materiales y procesos para la aplicación del DFMA. En el tercero se incluye una revisión de los diferentes tipos de procesos de mecanizado, para terminar con un cuarto anexo en el que proporcionan una serie de macros avanzadas para la representación de las tablas y figuras incluidas en el Capítulo 6.

2 CONTEXTO

“Si siempre haces lo que siempre has hecho, siempre obtendrás lo que siempre has tenido”

-Steven Hayes-

En este capítulo se describe el contexto en el que éste Trabajo Fin de Master se ha desarrollado, el DFMA. En ésta línea, se explicará el concepto de DFMA, así como los objetivos que éste método persigue, las metodologías para aplicarlo y las ventajas que acarrea su aplicación.

2.1 Concepto de Design For Manufacturing & Assembly (DFMA)

El Diseño para la Fabricación y el Montaje (DFMA) por sus siglas en inglés, consiste en un conjunto de técnicas y metodologías para la mejora del diseño (o rediseño) de un producto que, respetando sus funciones esenciales, tiene por objetivo mejorar los aspectos de fabricación, montaje y costes [1].

Se supone que “fabricar” se refiere a la fabricación de los componentes individuales de un producto, mientras que “ensamblar” se refiere a la adición o unión de piezas para obtener un producto final, por lo que el ensamblaje no es un proceso de fabricación en el mismo sentido que el mecanizado, moldeo, etc. De esta forma, se puede definir "DFA" como el proceso para mejorar el diseño del producto con la finalidad de que sea fácil de ensamblar, aumentando la calidad y reduciendo los costes de ensamblaje. A su vez, esta herramienta permite a los diseñadores e ingenieros, evaluar sistemáticamente los componentes del producto de manera que resulten fáciles de ensamblar y fabricar [2].

Paralelamente, el término “diseño para la fabricación” o “DFM” significa el diseño para la facilidad de fabricación del conjunto de piezas que formarán el producto después del montaje. De esta manera, el término DFMA resulta de la combinación de DFA y DFM.

En este sentido, DFMA consiste en una metodología ampliamente usada para analizar de forma sistemática la facilidad de fabricación y ensamblaje de cualquier producto. A partir de este análisis, se proponen modificaciones al diseño existente con el objetivo de reducir el número de piezas, disminuir tiempo y herramientas, con lo cual se reduce el tiempo de desarrollo de un producto enfocándose en la funcionalidad. Se obtiene así como resultado una mejora en la calidad del mismo y una minimización de coste, que es el objetivo final de cualquier compañía u organización [1].

Diversos autores coinciden en que el coste de ensamble de un producto se ubica entre un 20-50% y que las operaciones de ensamble ocupan un poco más del 50% del tiempo empleado en el desarrollo de un producto. Según estudios realizados en Estados Unidos, el ensamble abarca entre 40% y el 60% del tiempo total de producción. Es por ello, que una reducción del tiempo de ensamblaje generará un incremento de productividad. La habilidad de estimar los costes de ensamblaje y fabricación de partes en las etapas más tempranas del desarrollo del producto es la esencia del DFMA [3].

A modo orientativo y con objeto de que le sirva al lector como información adicional y complementaria, en el Anexo A1 se proporcionan una serie de apartados extraídos de una amplia revisión bibliográfica, en los que se recogen algunas aplicaciones reales del método DFMA, así como los últimos avances y mejoras referidos al método.

2.2 Antecedentes del DFMA

El desarrollo del método DFA original se derivó de trabajos anteriores a la década de 1960 sobre el manejo automático. Se desarrolló un sistema de clasificación de tecnología de grupo para catalogar soluciones de manipulación automática para piezas pequeñas. Se hizo evidente que el sistema de clasificación también podría ayudar a los diseñadores a diseñar partes que serían fáciles de manejar automáticamente.

A mediados de los años setenta, la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF) otorgó una subvención sustancial para extender este enfoque a las áreas generales de DFM y DFA. En esencia, esto significaba clasificar las características de diseño del producto que afectan significativamente los tiempos de ensamblaje y los costos de fabricación y cuantificar estos efectos. Al mismo tiempo, la Universidad de Salford en Inglaterra recibió una subvención del gobierno para estudiar el diseño del producto para el montaje automático. Como parte del estudio, se compararon varios diseños de medidores de flujo de gas domésticos. Estos medidores trabajaron todos en el mismo principio y tenían los mismos componentes básicos. Sin embargo, se encontró que su conformabilidad varió ampliamente y que el diseño menos manufacturable tenía seis veces el contenido de trabajo del mejor diseño [2].

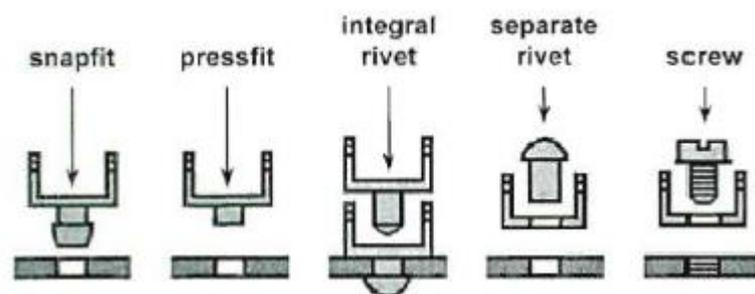


Figura 1. Características de diseño con impacto en el ensamblaje

La Figura 1 muestra cinco soluciones diferentes para el mismo problema de apego tomado de los medidores de flujo de gas estudiados. Puede observarse que, a la izquierda, el método más sencillo para fijar la carcasa consistió en un simple encaje a presión. En los ejemplos de la derecha, no sólo aumenta el tiempo de montaje, sino también el número y el costo de las piezas. Esto ilustra los dos principios básicos del diseño para facilitar el montaje de un producto, los cuales son; reducir el número de operaciones de montaje reduciendo el número de piezas y hacer las operaciones de montaje más fáciles de realizar.

Los estándares de tiempo de DFA para los pequeños productos mecánicos resultantes de la investigación apoyada por la NSF se publicaron por primera vez en forma de manual a finales de 1970 y los primeros éxitos resultantes de la aplicación de DFA en la industria se informaron en el artículo "Assembly Engineering". En el artículo, Sidney Liebson, director corporativo de fabricación de Xerox y partidario de la investigación durante mucho tiempo, sugirió que "DFA ahorraría a su compañía cientos de millones de dólares en los siguientes diez años" generándose un intenso interés en la industria de Estados Unidos.

En ese momento, los microcomputadores estaban llegando al mercado. La versión de DFA, que se ejecuta en una computadora Apple II Plus, resultó atractiva para aquellos que deseaban obtener los beneficios reportados de las aplicaciones de DFA. Parece que, a diferencia de sus homólogos europeos o japoneses, los diseños estadounidenses prefirieron utilizar las nuevas computadoras en lugar de realizar cálculos manuales para analizar sus diseños y para facilitar su montaje. Como resultado, los ingenieros de IBM Digital completaron el desarrollo de las versiones del software DFA para ejecutar sus propios productos.

En la década de 1960 se habló mucho sobre el diseño de productos para la facilidad de la fabricación. Se desarrollaron recomendaciones comúnmente conocidas como directrices de producibilidad. La Figura 2 muestra una guía de diseño típica publicada en 1971 que enfatiza la simplificación de las partes individuales. Los autores de esta guía asumieron erróneamente que varias piezas de forma sencilla son intrínsecamente menos costosas de fabricar que una sola pieza compleja, y que cualquier coste de montaje es más que compensado por el ahorro en costes de pieza. Se equivocaron en ambos aspectos, tal y como puede comprobarse en los resultados de la Tabla 1.

Incluso ignorando los costes de montaje, las dos partes del diseño "correcto" son significativamente más caras que la pieza única en el diseño "incorrecto", incluso los costes de piezas (descuidando los costos de las herramientas) son más caros. Teniendo en cuenta los costes de montaje e ignorando los costes de

almacenamiento, manipulación, calidad y papeleo, el diseño "correcto" es 50% más costoso que el diseño "incorrecto".

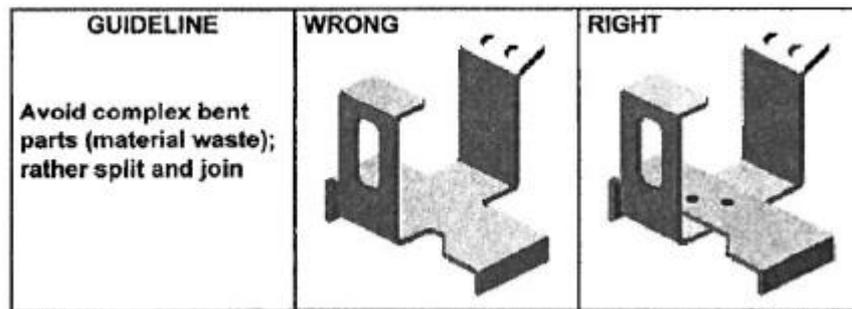


Figura 2. Guía de producibilidad engañosa para el diseño de piezas de chapa

Tabla 1. Costes estimados (\$) para los dos ejemplos representados en la Figura 2 para 100.000 unidades.

	Wrong	Right
Setup	0,015	0,023
Process	0,535	0,683
Material	0,036	0,025
Piece Part	0,586	0,731
Tooling	0,092	0,119
Total Manufacture	0,678	0,850
Assembly	0,000	0,200
Total	0,678	1,050

Una vez que los métodos para analizar las dificultades de montaje se desarrollaron en la década de 1970, se reconoció que había un conflicto entre la producibilidad y el montaje. Se encontró que la simplificación de los productos mediante la reducción del número de partes separadas a través de DFA, del orden del 50% en promedio, podría fácilmente lograr reducciones sustanciales de los costes de manera segura. Mucho más importante, sin embargo, fue el hecho de que se podría lograr un mayor ahorro en el costo de las piezas.

En la Figura 3, se ilustra que el tiempo extra empleado en el diseño está bien compensado por el ahorro de tiempo en el momento en que se realiza el prototipo. De esta manera, además de reducir los costos del producto, la aplicación del diseño para la fabricación y el montaje (DFMA) acorta el tiempo para poner el producto en el mercado. Como ejemplo, Ingersoll-Rand Company informó que el uso del software DFMA de Boothroyd-Dewhurst, redujo el tiempo de desarrollo del producto de dos años a uno.

Otra razón por la que una consideración en el ciclo de diseño de la fabricación y el ensamblaje debe considerarse lo antes posible es debido a que está ampliamente aceptado que más del 70% de los costes finales del producto se determinan durante el diseño.

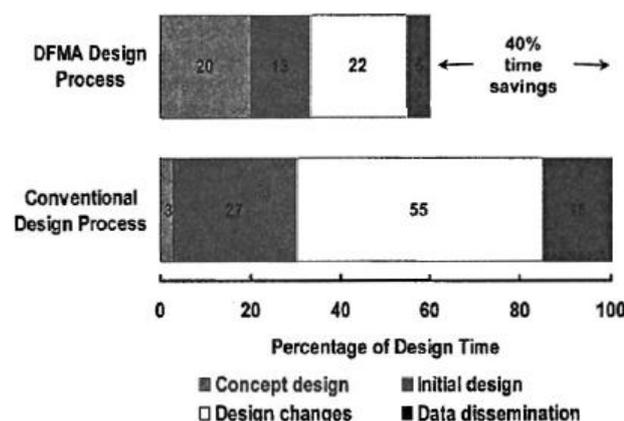


Figura 3. Influencia del DFMA en el proceso de diseño [4]

Tradicionalmente, la actitud de los diseñadores ha sido "diseñar, construir". El diseñador lanza los diseños a los ingenieros de fabricación, que luego tienen que lidiar con los fabricantes para resolver los distintos problemas derivados que no se tuvieron en cuenta en la fase de diseño. Un medio para superar este problema es consultar a los ingenieros de fabricación en la fase de diseño. La resultante del trabajo en equipo evita muchos problemas. Sin embargo, estos equipos, ahora llamados ingeniería simultánea o equipos de ingeniería concurrentes, requieren herramientas de análisis para ayudarles a estudiar los diseños propuestos y evaluarlos desde el punto de vista de la dificultad de fabricación y los costes.

2.3 Objetivos del DFMA

Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad las empresas que aplican metodologías DFMA tienen por objetivo reducir los costes del producto manteniendo su función, la fiabilidad y time-to-market. Para ello dichas empresas emplean éste método para [5]:

- Analizar la cadena de costes de gestión.
- Simplificar los productos y mejorar la calidad.
- Mejorar la comunicación entre departamentos de diseño, fabricación, compras y gestión.
- Recortar coste de fabricación y montaje.

Estas metodologías y herramientas fueron introducidas en la industria por el Dr. Boothroyd y el Dr. Dewhurst en 1983. De hecho, ellos son los propietarios de la marca registrada DFMA. Desde entonces, empresas de mundos tan dispares como el de la automoción, maquinaria agrícola, ordenadores, instrumentación, mobiliario, etc., han recortado millones de euros de sus costes de fabricación y montaje de productos aplicando estas técnicas. Además, estos productos acostumbran tener una estructura modular que facilitan el mantenimiento y la reparación [5].

Dicho esto, además de los ya mencionados, algunos de los objetivos más significativos son [5]:

- Disminuir las inversiones y los costes de utillajes.
- Optimizar el uso de las herramientas y equipos de fabricación y montaje.
- Disminuir los costes de gestión.
- Aumentar la flexibilidad de la fabricación.
- Aumentar la configurabilidad de los productos.
- Disminuir el tiempo de introducción en el mercado.

2.4 Metodologías DFMA desarrolladas

En general las metodologías de diseño DFMA siguen un esquema de simplificación de un diseño aplicando directrices o recomendaciones para la fabricación y el montaje y realizando evaluaciones que permitan valorar la mejora en el diseño (Ver Figura 4) [6]:

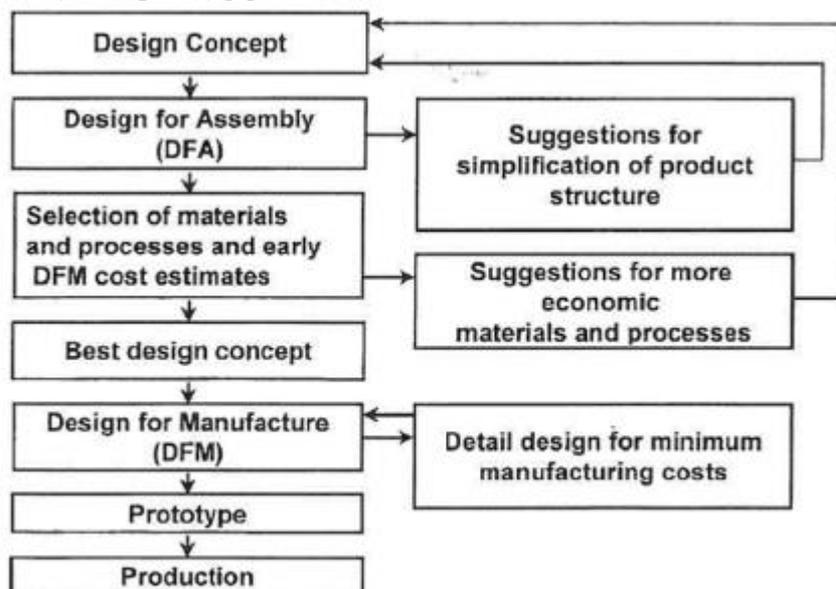


Figura 4. Esquema iterativo de diseño DFMA según Boothroyd-Dewhurst [6]

Tal y como se aprecia en la Figura 4, para llevar a cabo una aplicación satisfactoria del método DFMA, resulta de vital importancia una correcta selección sistemática de materiales para la fabricación de piezas, de lo contrario una serie de ventanas de oportunidades para la fabricación pueden darse por perdidas, fruto de una errónea selección de material en las primeras etapas de diseño del producto.

En esta línea, a modo de información adicional y documental para el lector, en el Anexo A2 y Anexo A3 respectivamente, se recoge información que resulta de gran utilidad para la selección de los materiales y los procesos de mecanizado más compatibles con la pieza que se pretende obtener. Ambas elecciones deben realizarse de manera correcta si se pretende obtener unos resultados satisfactorios en términos de coste y calidad de pieza.

Abordar un producto desde la etapa de diseño se puede hacer según tres enfoques [7]:

- “Seguir un conjunto general de normas o directrices no cuantitativas y que requieren ser interpretadas en cada caso.
- Aplicar una metodología DFMA desarrollada.
- Automatizar el proceso utilizando los programas informáticos adecuados, de manera que el análisis cuantitativo se puede aplicar al diseño.”

Como se comentó anteriormente, una metodología DFA relevante de evaluación y mejora del producto es la de Boothroyd-Dewhurst, pero hay otras metodologías alternativas, como la de Hitachi (the AEM - "método de montaje evaluación"), Lucas (el "método Lucas DFA") y Fujitsu (PSE - "sistema de evaluación de la productividad"):

- Metodología de Boothroyd-Dewhurst: Consiste en emplear una evaluación cuantitativa del tiempo de montaje, asignando a cada pieza un valor estimado del tiempo de su montaje. Se suman estos tiempos y el valor resultante se utiliza como una guía para la calidad del diseño global. El producto se rediseña utilizando estos valores lo que permite concentrarse a mejorar el diseño de los elementos que contribuyen en mayor medida al tiempo de montaje total. Sin embargo, ello requiere perspicacia y conocimiento por parte del diseñador [7].
- Método de Evaluación del ensamblaje Hitachi: El principal objetivo es facilitar mejoras mediante la identificación de las debilidades de diseño en la etapa más temprana posible del proceso de diseño. Esto se logra mediante el uso de dos índices: la "relación de puntuación de montabilidad", que se utiliza para evaluar la calidad del diseño mediante la determinación de la dificultad de las operaciones de montaje y la "relación de coste de montaje", usado para indicar las mejoras en el coste de montaje [6].
- El método Lucas: Fue resultado de una colaboración con la Universidad de Hull y se diferencia de otros métodos en que no utiliza un análisis de costes. Se trata de la asignación de factores de penalización asociados a potenciales problemas de diseño (funcionales, de manipulación y de unión). Es similar al método de Hitachi pero con la inclusión de la manipulación, así como la inserción [6].
- Sistema de evaluación de productividad Fujitsu: A diferencia de otros métodos, no es un procedimiento de refinamiento para ser utilizado después de la finalización del diseño, pero tiene como objetivo crear un diseño detallado que es fácil de fabricar y montar de la manera más rentable[7].

2.5 Ventajas del DFMA

La aplicación de técnicas/métodos DFMA acarrea consigo múltiples ventajas comprobadas en la industria, entre las cuales destacan:

- La reducción en el coste de fabricación del producto, no es necesariamente considerada como el resultado más deseado de los esfuerzos de rediseño, si no que la reducción del tiempo de comercialización y la mejora de la calidad [2].
- Permiten conocer los costes lo antes posible y con precisión, permitiéndole a la empresa evaluar si pueden o no emprender un proyecto.
- Permite a los diseñadores conocer el impacto de sus decisiones de diseño en las etapas de producción, entorno y sociedad (Ver Figura 5) [1].
- Establecimiento de costes asociados al ciclo de vida del producto, los cuales van más allá de los costes de fabricación y montaje, y que pueden ser; costes de transporte, almacenamiento, desperdicios, roturas, etc [1].
- Se reducen los costes de inventario, diseños, vendedores y especificaciones no necesarias debido a que mediante este procedimiento resultan productos con un menor número de piezas [2].

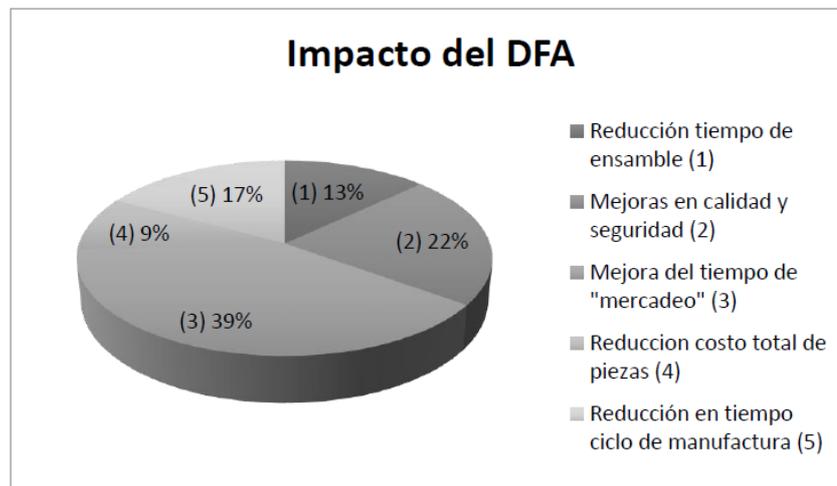


Figura 5. Impacto del empleo del diseño en el ensamblaje de un producto

2.6 Causas por las que no se implementa DFMA

Existe una serie de razones que justifican la no implementación de metodologías DFMA, entre las cuales se encuentran [2]:

- Falta de tiempo: En determinadas situaciones no existe suficiente tiempo para incorporar el diseño a la fabricación para un nuevo producto.
- Falta de admisión por parte de los diseñadores: Notoria resistencia impuesta por parte de los diseñadores a la hora de asumir nuevas técnicas, lo cual es muy importante para su exitosa aplicación.
- Bajos costes de montaje: Como el primer paso es un análisis DFA del producto o subconjunto, es muy frecuentemente pensar que, dado que los costos de ensamblaje para un producto en particular representan sólo una pequeña proporción de los costos totales de fabricación, no tiene sentido realizar un análisis de DFA.
- Poca rentabilidad a volúmenes bajos de producción: A menudo se expresa la opinión de que DFMA sólo vale la pena cuando el producto se fabrica en grandes cantidades. Se podría argumentar, sin embargo, que el uso de la filosofía DFMA es aún más importante cuando las cantidades de producción son pequeñas. Esto se debe a que, comúnmente, la reconsideración de un diseño inicial normalmente no se lleva a cabo para una producción de bajo volumen. Aplicar la filosofía "hacerlo bien la primera vez" se vuelve aún más importante, cuando las cantidades de producción son pequeñas.
- DFMA conduce a productos más difíciles de mantener: Esta idea es falsa, ya que un producto de fácil montaje es generalmente fácil también de desmontar. De hecho, los productos que necesitan un servicio continuo que implica la retirada de cubiertas de inspección y el reemplazo de varios artículos deben tener DFMA aplicado aún más rigurosamente durante la etapa de diseño.

3 As - Is/To - BE

“El precio de la luz es menor que el coste de la oscuridad”

- Arthur C. Nielsen -

Un aspecto muy importante en el desarrollo de un proyecto es analizar la situación actual o de la que se parte (As Is), con el objetivo de tener una clara visión sobre las mejoras alcanzadas tras la realización del mismo, en la “situación que se alcanzará” (To Be).

Actualmente, en la asignatura Procesos de Fabricación Aeronáutica, del Master Universitario en Ingeniería Aeronáutica, uno de los ejercicios evaluados para la superación de la asignatura consiste en la Estimación del coste de una pieza mecanizada según DFMA.

Para la realización de dicho ejercicio, se emplea el método propuesto por Boothroyd-Dewhurst de estimación de coste de fabricación de piezas obtenidas por mecanizado, el cual se recoge en el séptimo capítulo de su libro “Product Design for Manufacture and Assembly”, y cuyo concepto, objetivo, ventajas y metodologías han sido comentados anteriormente.

Adicionalmente, con el objetivo de clarificar las decisiones tomadas para la implementación del método, en los anexos referenciados anteriormente, se expone la metodología y principios empleados para la selección de las formas y el material de trabajo, así como la estimación de los diferentes costes que hay que tener en cuenta en el mecanizado de componentes.

A efectos del ejercicio, el método empleado desglosa el coste de una pieza en el coste del material más coste de producción, donde el coste de material es el coste de la preforma que se va a mecanizar, y que supone entre un 50% -75% del coste total del elemento mecanizado, de ahí la importancia de contar con unos precios de material lo mas actualizados y realistas posibles, ya que de lo contrario el error introducido al coste total de la pieza será elevado.

Por su parte, el coste de producción se define en coste de mecanizado (Coste de arrancar viruta) más el coste debido a todas las operaciones que no son de arranque de viruta. El coste de mecanizado viene principalmente dado por el tiempo que se emplea en arrancar material más el gasto de herramientas. Sin embargo, en caso de que los valores empleados para la estimación de éste termino no sean del todo exactos, se introduce una menor componente de error al coste total de la pieza [8].

Todo trabajo de mecanizado parte de una pieza conformada más simple. Esta puede ser un trozo cortado de elementos simples (barras, tochos, plaquitas, cuadrados, chapas, chapones, tubos, etc.) disponibles en el mercado, o una preforma conformada por fundición, estampación, extrusión, etc. Con frecuencia suele emplearse el término “preforma” cuando se pretende hacer referencia a “el material” [8].

De esta manera, el coste de una pieza se estima por medio de la siguiente Eq. (1):

$$C = P_{\text{mat}}W_0 + C_{\text{pr}} \quad (1)$$

Donde:

- C; Coste total de la pieza en €.
- P_{mat} ; Precio del material (Preforma) (€/Kg).
- W_0 ; Peso de la preforma (Kg)
- C_{pr} ; Coste de producción de la pieza.

Como fue comentado a la hora de exponer los objetivos del presente trabajo, la Eq. (1) es de gran importancia, ya que en ella se recoge el término sometido a estudio en éste TFM, el cual es el coste del material.

En ésta línea se ha realizado un barrido del mercado de distintos tipos de materiales, contactando tanto con distribuidores como con fabricantes, con el doble objetivo de actualizar los costes de los materiales en referencia a la situación actual de España y tratando por otra parte de amplificar el número de preformas que pueden ser utilizadas para la realización del ejercicio, respecto a las que figuran en la tabla de materiales presentada por Boothroyd-Dewhurst en su libro.

Actualmente, los costes de materiales empleados para la aplicación del método de Boothroyd-Dewhurst se recogen en el Capítulo 7 de su libro “Product Design for Manufacture and Assembly, los cuales se corresponden con los ilustrados en la Tabla 2:

Tabla 2. Costes de Materiales empleados por Boothroyd-Dewhurst para la aplicación del método DFMA (Dados en \$/lb - Para convertir en \$/kg multiplicar por 2.2)

		Densidad		Barra	Varilla	Chapa	Placa	Tubo
		Lb/in ³	Mg/m ³			<0,5 in	>0,5 in	
Feroso	Acero al carbono	0,283	7,83	0,51	0,51	0,36	0,42	0,92
	Aleación de acero	0,31	8,58	0,75	0,75	1,20	-	-
	Acero Inoxidable	0,283	7,83	1,50	1,50	2,50	2,50	-
	Acero de herramienta	0,283	7,83	6,44	6,44	-	6,44	-
No Feroso	Aluminio	0,10	2,77	1,93	1,93	1,95	2,50	4,60
	Latón	0,31	8,58	0,90	1,22	1,90	1,90	1,90
	Niquel	0,30	8,30	5,70	5,70	5,70	5,70	-
	Magnesio	0,066	1,83	3,35	3,35	6,06	6,06	3,35
	Zinc	0,23	6,37	1,50	1,50	1,50	1,50	-
	Titanio	0,163	4,51	15,40	15,40	25,00	25,00	-

Actualmente, para la resolución del ejercicio de la asignatura antes mencionada, se emplea otra tabla procesada, que ha sido obtenida a partir de la Tabla 2, realizándose un trabajo de investigación sobre los valores ilustrados en esa tabla, y sobre los que se ha aplicado un incremento de precios al consumo medio de EEUU desde el año 1990 hasta el año 2018 (x1.68), y un cambio de 0.81 €/\$. Además, se ha completado con valores interpolados en aquellas casillas donde el original no daba precio [8].

De esta forma la Tabla 2, ha sido completada obteniéndose los valores de la Tabla 3:

Tabla 3. Precios de materiales mejorados respecto a los propuestos por Boothroyd-Dewhurst (dados en €/kg)

		Densidad	Barra	Chapa	Chapón	Tubo
		Mg/m ³		t<12,5mm	t>12,5mm	
Ferroso	Acero al carbono	7,83	1,26	1,53	1,53	2,75
	Aleación de acero	8,58	2,25	3,59	3,59	4,92
	Acero Inoxidable	7,83	4,49	7,48	7,48	9,48
	Acero de herramienta	7,83	19,28	19,28	19,28	42,23
No Ferroso	Aluminio	2,77	5,78	5,84	7,48	13,77
	Latón	8,58	3,65	5,69	5,69	5,69
	Niquel	8,30	17,06	17,06	17,06	17,06
	Magnesio	1,83	10,03	18,14	18,14	10,03
	Zinc	6,37	4,49	4,49	4,49	4,49
	Titanio	4,51	46,10	74,84	74,84	92,21

Los costes de material presentados en la Tabla 3 están desactualizados. Debido a ello se ha realizado una búsqueda en el mercado de materiales, con el objetivo de actualizar los costes ilustrados en dicha tabla en referencia a la situación actual, para posteriormente realizar una comparación entre los valores proporcionados por Boothroyd-Dewhurst y los obtenidos, indicando en que casos estos son aplicables o no.

En esta línea, atendiendo a la gran importancia que tiene el precio del material en el coste final de la pieza (50%-75% del coste total), resulta vital contar con una base de datos que contenga unos precios de materiales precisos por material y preforma, siendo muy valorable a su vez la posibilidad de actualizar dichos precios en cualquier momento futuro, por medio de la automatización de la extracción, gestión y representación de los datos contenidos en ella.

Por tanto, en el presente TFM se elaborará una base de datos de manera automática, la cual contendrá información actualizada de los materiales empleados para la fabricación (coste, dimensión, ratio m/kg, etc.), según el mercado actual.

Debido a la gran cantidad de información existente en la Web y a la tediosa y prolongada tarea que supondría la extracción manual de miles de registros, se hará uso de conceptos de Web Scraping para la extracción automática de datos, para posteriormente procesarlos mediante VBA con el objetivo de calcular automáticamente el precio medio en función del material y tipología de la preforma.

El procedimiento programado, no sólo proporcionará una base de datos actualizada a la fecha de realización del TFM, sino que dicho procedimiento podrá ser ejecutado en cualquier momento del futuro, pudiéndose actualizar de manera rápida, precisa y sencilla los costes de materiales.

Además, mediante sencillas modificaciones en el procedimiento de Web Scraping y código VBA programados, podrá aplicarse el método expuesto en este trabajo a cualquier proveedor del que se pretenda extraer el precio, o cualquier otro parámetro de mecanizado que se desee estudiar.

4 INFLUENCIA DEL PRECIO DEL MATERIAL EN EL COSTE FINAL DE LA PIEZA

“No todo lo que se puede contar cuenta, y no todo lo que cuenta puede ser contado”

- Alvin Toffler -

En el presente capítulo se presentará un ejemplo resuelto del cálculo del coste de una pieza por mecanizado según el método *Design for Manufacture and Assembly*, con el objetivo de demostrar la gran influencia que tiene el precio del material sobre dicho coste.

De esta forma, se calculará el coste de la pieza representada mediante el croquis ilustrado en la Figura 6, y se determinará el porcentaje del coste total referido al coste de material para conocer su influencia.

Para dicho cálculo se usará como base el documento representado por la referencia [8], y el coste total de la pieza se obtendrá a partir de tres costes; el coste de material, el coste de fabricación y el coste total, todos ellos en euros.

Es preciso tener en cuenta que el presente capítulo no tiene por objeto detallar el procedimiento de cálculo paso a paso para la determinación del coste total de la pieza, sino más bien mostrar la gran importancia que tiene el coste de material sobre dicho coste final. Por tanto, a lo largo del capítulo se reflejarán los datos, cálculos y resultados con claridad y de manera resumida.

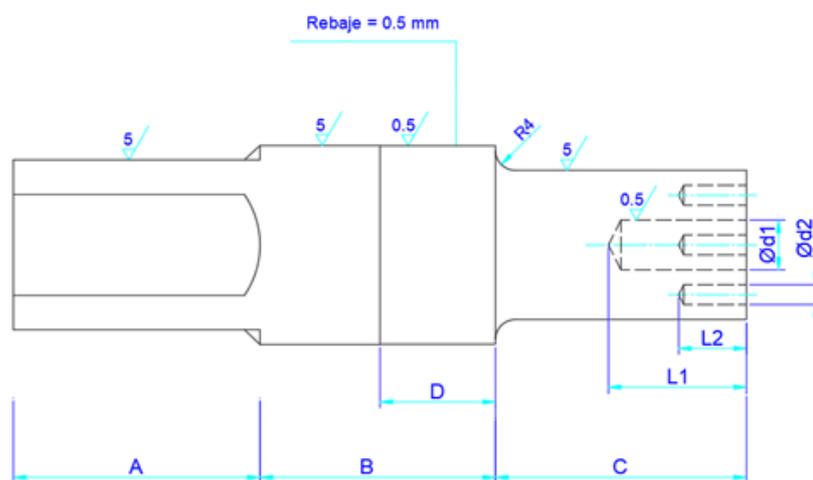


Figura 6. Croquis de la pieza para el cálculo de coste por DFMA. Dimensiones genéricas en milímetros (mm) y las rugosidades en micrómetros (μm).

4.1 Datos generales para el cálculo

En este apartado se proporcionan los datos generales requeridos para el cálculo, los cuales son los inputs de las expresiones formuladas por Boothroyd-Dewhurst:

- Las preformas se obtienen de barras comerciales suministradas con la superficie en buen estado (sin oxidar ni daños apreciables).
- Longitud de barras; 3 m.
- Diámetro de barras; de 50 a 150 cada 5mm, de 150 a 300 cada 10 mm.
- Rugosidad de barras; 10 μm .

4.2 Coste del material

El material de la pieza es acero bajo en carbono. La densidad y el precio del material según Boothroyd -Dewhurst se ilustran se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Densidad y precio del material

Material	Densidad (Mg/m ³)	Precio barra (€/kg)
Acero bajo en carbono	7,83	1,26

Para calcular el peso de la preforma se aplica la Eq. (2):

$$W_0 = V_{\text{preforma}} \cdot \rho = 44,45 \text{ kg} \quad (2)$$

A partir del valor de la Eq. (2), se obtiene el precio del material según indica la Eq. (3):

$$C_M = 44,45\text{kg} \times 1,26 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 56,01 \text{ €} \quad (3)$$

A partir del volumen inicial de la preforma (V_0) y del volumen a mecanizar (V_m) es posible determinar el peso de la pieza (W_p). Dicho peso se determina a partir de la Eq. (4):

$$W_p = V_p \cdot \rho = 34,6 \text{ kg} \quad (4)$$

Donde el volumen a mecanizar (V_m) se obtiene de la suma de los volúmenes procesados en las distintas operaciones de mecanizado, las cuales son; volumen mecanizado por desbaste, por tronzado, volumen por taladrado, por escariado y mediante el rectificado cilíndrico externo.

4.3 Cálculo de M: Coste horario de máquinas y operarios

Las máquinas que se emplearán en la fabricación de la pieza son; CNC turret lathe, Power Drill, Machining Center y Surface Grinder. Se aplica una relación experimental para el cálculo de M, obteniéndose el valor proporcionado en la Eq. (5). Para este cálculo se necesita el peso y los volúmenes que se retiran en cada proceso, además de una serie de coeficientes los cuales se ilustran en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de M

Nº	Máquinas	N _B	V _m (mm ³)	K _m	m	M _i
1	CNC turret lathe	100	851261	3,516	0,130	38,1
2	Power drill	100	60788	0,128	0,433	33,1
3	Machining center	100	71522	1,383	0,623	46,7
4	Surface grinder	100	4987	0,273	0,597	35,0

$$M = 38,4 \text{ €/h} \quad (5)$$

Este coeficiente se utilizará cuando se calculen los tiempos empleados en cada proceso.

4.4 Cálculo del coste por tiempo improductivo

El tiempo improductivo se ha definido a partir de la Eq. (6):

$$t_{\text{improductivo}} = t_1 + t_c \quad (6)$$

Siendo t_1 y t_c los tiempos improductivos correspondientes al mecanizado convencional y abrasivo respectivamente. Se puede escribir a su vez tal y como indican las Eq. (7) y Eq.(8):

$$t_1 = t_{l\&u} + t_e + \frac{t_s}{N_B} + t_t + t_a \quad (7)$$

$$t_c = t_{l\&u} + t_e + \frac{t_s}{N_B} + t_t + t_{\text{fin}} + t_{\text{spo}} \quad (8)$$

Se va a considerar $t_{l\&u}$, t_e , t_s/N_B , t_t , t_a en conjunto para todas las operaciones.

4.4.1 Tiempo de carga y descarga en la máquina, $t_{l\&u}$

El tiempo de carga y descarga debe ser calculado para cada una de las máquinas herramientas utilizadas en el proceso de fabricación, por lo que se calculan individualmente para posteriormente obtener el tiempo total a través de la suma de los anteriores. De esta forma, se llega al resultado ilustrado en la Eq (9):

$$t_{l\&u\text{CNC lathe}} = \frac{t_{l\&u\text{crane}}}{2} + \frac{t_{l\&u\text{chuck universal}}}{2} = 120,4 \text{ s}$$

$$t_{l\&u\text{Power Drill}} = 351,1 \text{ s}$$

$$t_{l\&u\text{Machining Center}} = 351,1 \text{ s}$$

$$t_{l\&u\text{Surface Grinder}} = 247,8 \text{ s}$$

$$t_{l\&u} = t_{l\&u\text{CNC lathe}} + t_{l\&u\text{Power Drill}} + t_{l\&u\text{Machining Center}} + t_{l\&u\text{Surface Grinder}} = 1070 \text{ s} \quad (9)$$

4.4.2 Tiempo de transporte dentro de la fábrica

El tiempo estimado se ha calculado a partir de la siguiente Eq. (10):

$$t_t = (0.05 + 0.13N_M)\bar{W} = 22 \text{ s} \quad (10)$$

4.4.3 Tiempo de enganche y ajuste de máquina, t_e y t_s

Por medio de la tabla proporcionada en la referencia [8], para el tiempo de enganche y ajuste de máquina, se obtienen unos valores como los ilustrados en la Eq. (11) y Eq. (12):

$$t_e = 1,5 \text{ s} + 9 \text{ s} + 8 \text{ s} + 19 \text{ s} = 37,5 \text{ s} \quad (11)$$

$$\frac{t_s}{N_B} = 23,4 + 36 + 27 + 21,6 = 108 \text{ s} \quad (12)$$

4.4.4 Tiempo de aproximación de la herramienta de trabajo, t_a

Boothroyd –Dewhurst propone unas expresiones para cuantificar el tiempo destinado a las aproximaciones y salidas de la herramienta. Estos tiempos no deben añadirse al tiempo de mecanizado, ya que se trata de instantes en los que la herramienta no se encuentra eliminando material, y por tanto no sufre desgaste alguno.

Adicionalmente, es preciso tener en cuenta que estos tiempos son asociados a cada pasada. Sin embargo, en un método simplificado para el cálculo del coste como es el analizado en este caso, no tiene sentido calcular el número de pasadas realizadas en cada máquina herramienta. Por tanto, para el cálculo del tiempo de aproximación suelen realizarse una serie de simplificaciones dependiendo de la operación de mecanizado en cuestión.

Torneado: el tiempo de aproximación es $1,35d_m^2$, donde d_m es el diámetro de la superficie. Para estimar el número de pasadas se suponen operaciones de desbaste con profundidad de corte de 5 mm y que se da una única pasada de acabado. Para estimar el diámetro medio de la pieza, ésta se asemeja a un cilindro para el que habría que considerar su diámetro medio más el grosor total eliminado por mecanizado. Se obtiene un tiempo de aproximación como el ilustrado en la Eq. (13) [8][9].

$$t_a = 0,0004 \frac{V_m^3}{A_{pm}^3} \left(\frac{4V_p}{A_{pm}} + \frac{V_m}{A_{pm}} \right)^2 \quad (13)$$

Donde, V_m es el volumen mecanizado por torneado, V_p es el volumen de la pieza y A_{pm} es el área de la superficie de la pieza obtenida por torneado.

Taladrado: Para el taladrado el tiempo de aproximación es $(88,5/v \cdot f) \cdot d_m^{1,67}$, siendo d_m el diámetro del orificio y $(v \cdot f)$ el producto del avance por la velocidad de corte. Teniendo en cuenta el número total de orificios y pasando a milímetros la magnitud, se obtiene un tiempo de aproximación para el taladrado como el representado por la Eq. (14) [8], [9].

$$t_a = \sum_k n_k \frac{4,3}{(v \cdot f)_k} d_k^{1,67} \quad (14)$$

Fresado: Se tiene una estimación de la distancia de aproximación l_a y de la velocidad de avance v_f , a partir de las cuales es posible obtener el tiempo de aproximación t_a por medio del cociente de las dos magnitudes anteriores (Ver Eq. (15) y Eq. (16)) [8], [9]:

$$t_a = \frac{2(0,2a_e(d_t - a_e)^{0,5} + 1,68 + 0,011d_t)}{v_f} \quad (\text{Fresado Periférico}) \quad (15)$$

$$t_a = \frac{1,68 + 0,011d_t}{v_f} \quad (\text{Fresado Frontal}) \quad (16)$$

Mecanizado con abrasivos: Para operaciones con abrasivos, se poseen expresiones que relacionan la profundidad (a_w) y longitud de trabajo (l_w), cuyo producto determina el volumen barrido por la muela debido a la aproximación y alejamiento del trabajo. El tiempo invertido en ello puede estimarse mediante el caudal de viruta eliminado Z_w , según indica la Eq. (17), donde w_t representa el ancho de la muela [8], [9].

$$t_a = \frac{L_w \cdot a_r}{Z_w/w_t} \quad (17)$$

El tiempo total de aproximación de la herramienta se calcula como la suma de todos los tiempos de aproximación de las operaciones que conforman el proceso de mecanizado. En la referencia [8] se recogen las expresiones para la determinación de los tiempos de aproximación para una operación de torneado, taladrado y para operaciones con abrasivos.

Determinando por separado cada uno de éstos tiempos se obtiene un tiempo total de aproximación como el ilustrado en la Eq. (18).

$$t_a = 44 \text{ s} \quad (18)$$

4.4.5 Tiempo de acabado y sparking-out, t_{fin} y t_{spo}

Para el tiempo de acabado se emplean las expresiones recogidas en la referencia [8]. De esta forma, se obtiene un tiempo acabado como el mostrado en la Eq. (19):

$$t_{fin} = A_{gr} \theta_{fin} = 120 \text{ s} \quad (19)$$

Por otra parte, el tiempo de sparking-out obtenido es el de la Eq. (20):

$$t_{spo} = t_{fin} = 120 \text{ s} \quad (20)$$

Finalmente, el tiempo improductivo total será el obtenido mediante la suma de todos los tiempos no dependientes de las condiciones de corte. En esta línea se tiene:

$$t_{improductivo} = 1522 \text{ s} \quad (21)$$

Al multiplicar el tiempo improductivo de la Eq. (21) por el coste horario de máquinas y operarios calculado en la Eq. (5), se obtiene el coste por tiempo improductivo según establece la Eq. (22):

$$C_{improductivo} = t_{improductivo} \times M = 16,23 \text{ €} \quad (22)$$

4.5 Tiempo de mecanizado convencional y con abrasivos, t_{m1} y t_{m2}

Para el cálculo del tiempo de mecanizado convencional y con abrasivos, se deben determinar previamente los tiempos a máxima potencia y coste mínimo de cada una de las operaciones de mecanizado ejecutadas durante el proceso de fabricación de la pieza sometida a estudio.

4.5.1 Mecanizado en condiciones de coste mínimo

Mecanizado con filos definidos:

Los términos referidos a operaciones con filos definidos se expresan a partir de la Eq. (23).

$$C_{fd} = M \cdot t_m + (M \cdot t_{ct} + C_t) \cdot \frac{t_m}{T} \quad (23)$$

En ésta expresión las únicas variables dependientes de las condiciones de corte son el tiempo de mecanizado t_m y la vida útil de la herramienta (T). La velocidad de corte es la variable con más repercusión en el coste, ya que esta influye tanto en la vida de la herramienta como en el material de la pieza [8].

El tiempo de mecanizado puede calcularse según la Eq.(24). Donde, v es la velocidad de corte, f el avance, p la profundidad de corte, Z_w es el caudal de viruta eliminada y V_m el volumen de material eliminado. Por otra parte, la vida de la herramienta se obtiene también a partir de la velocidad de corte a través de la ecuación de Taylor (Ver Eq. (25)), donde n representa un exponente ligado al material de la herramienta de corte (tabulado) y K es una constante dependiente del material de la pieza y la herramienta.

$$t_m = \frac{V_m}{Z_w} = \frac{V_m}{v \cdot f \cdot p} \quad (24)$$

$$v \cdot T^n = K \quad (25)$$

Operando con la Eq. (23), Eq. (24) y Eq. (25), puede obtenerse la vida de la herramienta y la velocidad de corte en condiciones de coste mínimo. Sustituyendo estos valores en la Eq. (23) y teniendo en cuenta la ecuación de t_m , se puede obtener el coste mínimo de mecanizado, tal y como representa la Eq. (26).

$$C_{fd,cm} = M \frac{t_{mc}}{(1 - n)} \quad (26)$$

Donde, t_{mc} representa el tiempo de mecanizado a coste mínimo. Sabiendo el material y el tipo de pieza se puede saber qué material de herramienta es el más adecuado y por tanto n . Entonces, bastaría poder estimar rápidamente t_{mc} para tener un método simple de evaluación de costes. Pero antes de abordar ese problema resulta necesario comprobar si las condiciones obtenidas de coste mínimo son posibles.

Mecanizado abrasivo: La estimación del coste de mecanizado en condiciones de coste mínimo y máxima potencia para el mecanizado con abrasivos se hace de manera similar a la que se desarrolló para operaciones con filo definido, aunque hay que tener en cuenta algunas variantes, ya que para este tipo de mecanizado la correspondencia entre operación de desbaste y acabado no está tan clara. En el mecanizado con abrasivos, se considera que el coste de acabado, y afilado de muela, son despreciables frente al coste de las muelas en desbaste. De ahí que no aparezcan implícitamente en las ecuaciones que se van a presentar a continuación.

El coste de mecanizado con abrasivos para una operación de desbaste (C_{ab}) viene dado por la Eq. (27).

$$C_{ab} = M \cdot t_{gr} + C_w \quad (27)$$

Donde t_{gr} es el tiempo de mecanizado de desbaste y C_w el coste de la herramienta abrasiva. En este caso, la variable empleada para la optimización no será la velocidad de corte, como se hizo para el mecanizado con filo definido, sino el caudal de viruta Z_w , teniendo en cuenta la hipótesis de que el coste de la herramienta es proporcional al caudal de viruta y el tiempo de rectificado es inversamente proporcional a dicho caudal [8].

Se comprueba fácilmente que, en condiciones de coste mínimo, el coste de mecanizado para una operación abrasiva es el representado en la Eq. (28), donde t_{gc} puede entenderse como el tiempo de mecanizado con abrasivos para una operación de desbaste en condiciones de coste mínimo.

$$C_{ab,cm} = 2 \cdot M \cdot t_{gc} \quad (28)$$

Nuevamente, estas condiciones de coste mínimo pueden requerir una potencia mayor a la disponible, por lo que se debe comparar con la expresión obtenida para máxima potencia

4.5.2 Mecanizado en condiciones de máxima potencia

Mecanizado con filos definidos: Es posible obtener una relación entre el tiempo de mecanizado a coste mínimo y a máxima potencia, la cual puede sustituirse en la ecuación de coste a máxima potencia resultando lo indicado en la Eq. (29).

$$C_{fd,mp} = M \cdot t_{mp} \left(1 + \frac{n}{1-n} \left(\frac{t_{mc}}{t_{mp}} \right)^{\frac{1}{n}} \right) \quad (29)$$

Se obtiene una expresión de coste a máxima potencia que depende del tiempo de mecanizado a coste mínimo obtenido anteriormente, con el objetivo de cuantificar el coste de herramientas gastadas.

De esta forma, a partir de la Eq. (26) y Eq. (29) se puede obtener rápidamente el coste de producción de una pieza a coste mínimo y máxima potencia, si se pudiera estimar fácilmente los tiempos de mecanizado en ambas condiciones.

La metodología para el cálculo del tiempo de mecanizado a máxima potencia y coste mínimo se encuentra recogido en la referencia [8]. Dicha metodología no va a ser expuesta en la presente memoria al estar fuera del objetivo del presente TFM, por lo que se procede directamente a incluir ambas expresiones por medio de la Eq. (30) y Eq. (31), respectivamente.

$$t_{mp} = \frac{p_{s,mp} \cdot V_m}{P_{max}} \quad (30)$$

$$t_{mc} = \frac{A_b}{(f \cdot v)_{cm}} \quad (\text{Con Simetría de Revolución}) \quad (31)$$

$$t_{mc} = \frac{L_w}{v_{f,cm}} \quad (\text{Sin Simetría de Revolución})$$

Donde P_{max} es la potencia máxima de la máquina, $p_{s,mp}$ es la energía específica de corte en condiciones de máxima potencia, A_b es el área en la pieza barrida por la punta de herramienta, $(f \cdot v)_{cm}$ es el producto del avance por la velocidad de corte en condiciones de coste mínimo y $v_{f,cm}$ es la velocidad de avance en condiciones de coste mínimo.

Para seleccionar si el caso en cuestión se debe realizar en condiciones de máxima potencia o coste mínimo, se deben obtener los valores de t_{mp} y t_{mc} , y posteriormente se elegirá la opción que suponga un mayor tiempo de mecanizado y las condiciones de corte correspondientes a ese máximo.

Mecanizado con abrasivos

Al igual que ocurría en la obtención del coste a potencia máxima para las operaciones de mecanizado con filo definido, el coste de mecanizado abrasivo a máxima potencia se obtiene a partir de la Eq. (29), estableciendo una relación entre el tiempo de mecanizado abrasivo a máxima potencia (t_{gp}) y el tiempo de mecanizado a coste mínimo (t_{gc}), ya que $V_m = t_{gc} \cdot Z_{wc} = t_{gp} \cdot Z_{wp}$.

Combinando éstas expresiones, se obtiene un tiempo de mecanizado con abrasivos a potencia máxima como el indicado en la Eq. (32).

$$C_{ab,mp} = M \cdot t_{gp} \cdot \left(1 + \left(\frac{t_{gc}}{t_{gp}} \right)^2 \right) \quad (32)$$

Nuevamente, sería posible calcular rápidamente el coste de mecanizado con abrasivos a máxima potencia y coste mínimo si se obtiene el tiempo de mecanizado en ambas condiciones (t_{gp} y t_{gc}). Recurriendo a un razonamiento análogo al realizado para el mecanizado con filo definido (Ver la referencia [8]), dichos tiempos pueden obtenerse por medio de la Eq. (33) y Eq. (34) respectivamente.

$$t_{gc} = \frac{V_m}{Z_{wc}} \quad (33)$$

$$t_{mc} = \frac{p_{sp} \cdot V_m}{P_{max}} \quad (34)$$

Donde V_m es el volumen de material arrancado en la operación abrasiva, Z_{wc} es el caudal de viruta en condiciones de coste mínimo, p_{sp} representa la energía específica de corte en condiciones de potencia máxima y P_{max} es la potencia máxima disponible.

De esta manera, a partir de los tiempos a coste mínimo y máxima potencia, es posible determinar el tiempo de mecanizado convencional (t_{m1}) y el tiempo de mecanizado con abrasivos (t_{m2}), obteniéndose unos valores como los ilustrados en la Eq. (35) y Eq. (36) respectivamente:

$$t_{m1} = 718 \text{ s} \quad (35)$$

$$t_{m2} = 48 \text{ s} \quad (36)$$

Para el cálculo del coste de mecanizado y herramientas se sumarán los costes asociados a cada uno de los procesos que engloba el mecanizado, teniendo en cuenta si la operación se realiza a máxima potencia o a mínimo coste.

Como se ha dicho anteriormente, para el cálculo de los costes se utilizarán la Eq. (26), Eq. (28), Eq. (29) y Eq. (32). De esta forma se obtiene un coste de mecanizado y herramientas como el ilustrado en la Eq. (37):

$$C_m = 10,83 \text{ €} \quad (37)$$

Finalmente, el coste total de la pieza puede desglosarse en tres conceptos de coste diferentes, los cuales se corresponden con; el coste de mecanizado, coste “improductivo” y coste del material, según se indica en la Eq. (38):

$$C_{Total} = C_{improductivo} + C_m + C_M \quad (38)$$

Sustituyendo los valores calculados anteriormente, se obtiene finalmente un coste total de:

$$C_{Total} = 16,23 + 10,83 + 56,01 = \mathbf{83,07 \text{ €}} \quad (39)$$

En términos porcentuales, cada término de la expresión del coste representa lo siguiente:

- % Coste “improductivo”: $C_{\text{improductivo}}$: 19,55 %
- Coste de mecanizado y herramientas: C_m : 13,04 %
- Coste del material: C_M : 67,41 %

Como se puede observar, tal y como se ha indicado en secciones anteriores del trabajo, según el método DFMA el coste de material juega un papel fundamental en el coste total de la pieza mecanizada, suponiendo un 67,41% del coste total, frente al 19,55 % y 13,04 % que significan el coste improductivo y el coste de mecanizado y herramientas, respectivamente.

La introducción de un 10% de error en el coste del material se traduce en una variación del 7% del coste total de la pieza, lo cual es una desviación muy importante.

Este hecho que justifica la realización del presente TFM, cuyo objetivo consiste en la obtención de unos precios de material lo más actualizados y precisos posible para su posterior utilización.

5 ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE MATERIALES MEDIANTE WEB SCRAPING

“Conjeturar es barato; conjeturar erróneamente es caro”

- Proverbio Chino-

En éste capítulo se expondrá al lector el concepto, funcionamiento y aplicaciones del Web Scraping, así como el procedimiento seguido para la programación del método de Web Scraping y explicándose el método de volcado de datos a Microsoft Excel para su gestión. Se concluirá con la determinación del ahorro de tiempo que supone la utilización de ésta herramienta respecto al proceso manual, ahorro que dará al lector una idea de la potencia y utilidad del mismo.

5.1 ¿Qué es el Web Scraping?

El Web Scraping consiste en la programación de un procedimiento para extraer contenido y datos de forma masiva de un sitio Web. De esta forma se extrae el código HTML y con éste los datos almacenados en la base de datos. Esto supone que se puede duplicar o copiar todo el contenido del sitio Web en otro entorno.

El Web Scraping es empleado en muchas empresas digitales que se dedican a la recopilación de bases de datos. Con el objetivo de clarificar el concepto de éste novedoso método, resulta interesante conocer cuales son los métodos de uso legítimo del mismo [10]:

- Los robots de los motores de búsqueda rastrean un sitio, analizan su contenido y luego lo clasifican.
- Sitios de comparación de precios que implementan bots para obtener automáticamente precios y descripciones de productos para sitios Web de vendedores de algún tipo de producto.
- Compañías de investigación de mercado que lo utilizan para extraer datos de foros y redes sociales.

Por medio del procedimiento programado, es posible examinar bases de datos y extraer información, ya que se usan una gran variedad de tipos de bot (programa inteligente preparado para realizar tareas repetitivas en internet), muchos de ellos configurables para:

- Reconocer estructuras de sitios HTML únicos.
- Extraer y transformar contenidos.
- Almacenar datos
- Extraer datos de la API.

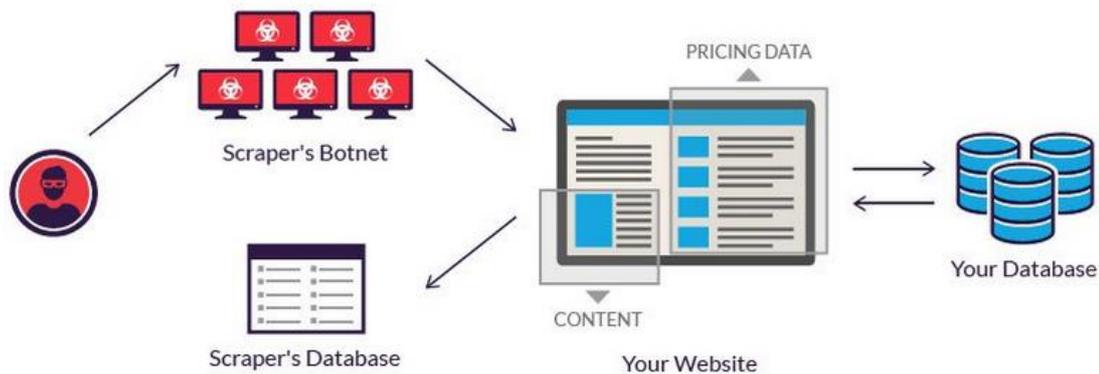


Figura 7. Estructura de un procedimiento de Web Scraping

Es preciso tener en cuenta que el uso de técnicas de Web Scraping podría implicar invadir límites legales, ya que a partir de éste es posible el robo de contenido con derechos de autor, donde una entidad afectada puede sufrir pérdidas, especialmente si su negocio se basa en modelos de precios competitivos u ofertas en la distribución de contenido. Sin embargo, cabe resaltar que dicho límite en ningún momento será invadido en el presente TFM.

5.2 ¿Cómo funciona el Web Scraping?

La mejor manera para comprender el funcionamiento de éste novedoso método es la exposición de un ejemplo básico.

Si se pretende extraer el nombre y precio de todas las TV de una misma marca, cuyos productos se encuentran recogidos dentro de un mismo Site, el cual contiene 400 páginas con un mismo formato, en cada una de las 400 páginas el nombre de la TV en cuestión se encontrará dentro de un selector conocido en el código HTML como `<h1>` que a su vez está dentro de un `<div>` con la clase `.header` [11].

Entonces, lo que hará el procedimiento de Web Scraping programado será detectar ese selector h1 que está dentro de la clase header (header h1) y extraerá esa información en cada una de las 400 páginas. Más tarde, será posible obtener toda esa información a través de la exportación de los datos como un listado en `.json` o un fichero `.csv`, los cuales serán fácilmente volcados en un libro de Microsoft Excel con el objetivo de analizarlos posteriormente.

Cabe resaltar que la realización de ésta tarea de manera manual, sin la programación de un procedimiento automático de Web Scraping, supondría un despilfarro de tiempo considerable, ya que si se pretende, como es el caso de este TFM, obtener una amplia base de datos de precios de materiales, dicha tarea manual podría significar la dedicación de muchas horas o incluso días.

5.3 Extensión Google Chrome: Web Scraper

La extensión “Web Scraper” de Google Chrome es una extensión gratuita y de fácil instalación que permite la extracción de datos Web, mediante de la programación de un procedimiento de Web Scraping a través de una interfaz intuitiva y orientada al funcionamiento de la Web moderna. El procedimiento permite la extracción de datos de manera totalmente automática, y se ejecuta en el navegador sin necesidad de instalar otro programa o software [12].

En otras palabras, la extensión proporciona la posibilidad de extraer miles de registros de un sitio Web mediante la configuración de un scraper, lo cual podría suponer una tarea muy prolongada en el tiempo si se realiza manualmente.

Para ello, se utiliza una estructura modular que está hecha de selectores, los cuales fijan el procedimiento de como interpretar el sitio objetivo y qué datos se deben extraer. Gracias a esta estructura, es posible extraer información de sitios web modernos y dinámicos como Amazon, Tripadvisor, eBay, etc., así como de sitios web más pequeños y menos conocidos [12].

5.3.1 Funciones que ofrece la extensión Web Scraper

La extensión Web Scraper proporciona una serie de funciones avanzadas, las cuales permiten extraer

información exacta y precisa del entorno Web. Entre dichas funciones se encuentran [12]:

- Raspado de información de múltiples páginas dentro de un mismo entorno Web.
- Múltiples tipos de extracción de datos (texto, imágenes, URL's, texto, tablas, etc.).
- Raspado de información de páginas con diseño dinámico (JavaScript + AJAX, scroll infinito).
- Exportación a Excel de datos raspados de la Web.
- Análisis o chequeo de datos raspados.

5.3.2 Nociones básicas de uso de la extensión Web Scraper

De modo general, los pasos que hay que seguir para usar la extensión y configurar un procedimiento de extracción de datos son los siguientes [12]:

- Instalar la extensión gratuita Web Scraper e instalarla.
- Usando Google Chrome, se debe acceder al Site del cual se pretende extraer la información y activar el código fuente de dicho Site (Botón derecho del ratón + Inspeccionar). La pestaña Web Scraper aparece en la pantalla inferior.
- Seleccionar dicha pestaña y se crea un nuevo mapa del sitio "SiteMap". En este se especifica la URL desde la que se comenzará el raspado de información.
- Una vez nombrado el procedimiento e indicado desde la URL en la que se debe empezar el raspado, se añaden selectores, con el objetivo de indicarle al programa cuales son los campos que se desean extraer de un determinado ítem y para definir automatismos que deben realizarse en la extracción de información de cada registro.
- Lanzar el proceso de extracción.
- Exportar los datos a la plataforma deseada.

En esta sección se ha explicado de manera resumida y genérica el funcionamiento de la extensión Web Scraper. En futuros apartados se entrará al detalle en la explicación del proceso de creación de un procedimiento de raspado de información mediante dicha extensión, empleando como ejemplo el caso de interés en el presente TFM, la extracción de datos de materiales para la fabricación, actualizados a la fecha de ejecución.

Gracias al uso de dicho método, el proceso de obtención de los datos será completamente automático, evitando la prolongada, tediosa y soporífera tarea de extraer uno a uno los miles de datos que se van a extraer.

5.3.3 Utilidades y aplicaciones de la técnica Web Scraping en la actualidad

En la actualidad, la técnica del Web Scraper puede ser empleada para alcanzar una serie de objetivos que podrían ser de gran utilidad. Entre las múltiples aplicaciones del método destacan las siguientes [12]:

- Generación de datos: Obtención de correo electrónico, número de teléfono, otros detalles de contacto relacionados con la extracción de datos de varios sitios web;
- Comercio electrónico: Extracción de datos de productos, raspado de precios de productos, descripción, extracción de URL, recuperación de imágenes, etc;
- Rastreo de contenido de sitios web: Extracción de información de portales de noticias, blogs, foros, etc;
- Monitoreo de la venta al por menor: Monitorear el desempeño de los productos, las existencias y los precios de los competidores o proveedores, etc;
- Monitoreo de marcas: Revisión de productos, rastreo de contenido social para su análisis;
- Inteligencia de negocios: Recopilar datos para decisiones comerciales clave y aprender de sus competidores;
- Gran extracción de datos para el aprendizaje de la máquina, marketing, desarrollo de estrategias de negocios, investigaciones, etc.

5.4 Búsqueda de proveedores mediante la revisión del mercado de materiales para la aplicación del Web Scraping

Independientemente de la utilidad del método de Web Scraping, es igual de importante, o más, la localización de una fuente fiable, segura, amplia, detallada, bien estructurada y sobre todo actualizada sobre la cual aplicar el proceso de escraqueo, ya que el objetivo principal del presente TFM consiste en obtener unos valores correctos sobre los que realizar un análisis y cálculos correctos.

En esta línea, como se ha expuesto en capítulos anteriores, el objetivo principal es obtener una base de datos de materiales de la que se pueda extraer el precio de material actualizado, valor que supone una componente muy importante en la obtención del coste total de una pieza por mecanizado (alrededor del 50%-75%), por lo que cuanto más actualizado y mas preciso sea el valor del precio del material, menor será el error cometido en el coste total de la pieza al ser calculado mediante el método de Boothroyd-Dewhurst, o cualquier otro método.

Tras realizar una búsqueda exhaustiva en la Web, via telefónica y correo electrónico, se concluyó que una fuente que cumple con todos los requerimientos que se acaban de exponer es la siguiente [13]:

Metals4U: <https://www.metals4u.co.uk/>

Metals4U es el mayor proveedor de metales de Reino Unido, España y otros países europeos, la cual cuenta con una amplia variedad de materiales y herramientas de gran calidad. Este proveedor ofrece la posibilidad de comprar metal cortado y a medida, además de contar con miles de productos con dimensiones estandarizadas y con unas propiedades específicas.

Concretamente, este proveedor cuenta en su Web con 2883 registros diferentes de materiales, donde se aporta información valiosa para su extracción y análisis, entre la que se encuentran; dimensiones, ratio Kg/m, precio, tipo de material, tipo de preforma (barra, chapa, tubo, etc.), grado, resistencia a la corrosión, etc.

Además, se ha contactado con Metals4U para garantizar la veracidad de los precios expuestos en la página, obteniéndose una respuesta que viene a indicar que todos los precios de su Web están actualizados a la situación actual del año 2020.

Como se acaba de comentar, la Web cuenta con un número de registros suficiente para crear una base de datos amplia y que proporcione resultados precisos. A continuación, en la Figura 8 y Figura 9, se van a exponer los diferentes materiales con los que cuenta el proveedor, así como las distintas preformas que pueden definirse.

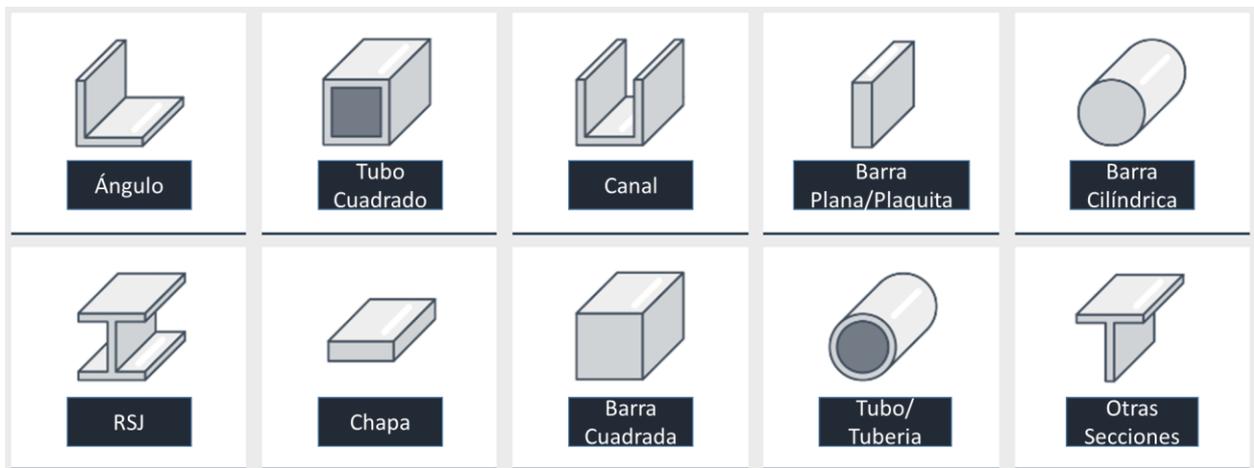


Figura 8. Catálogo de preformas del proveedor Metals4U [13]

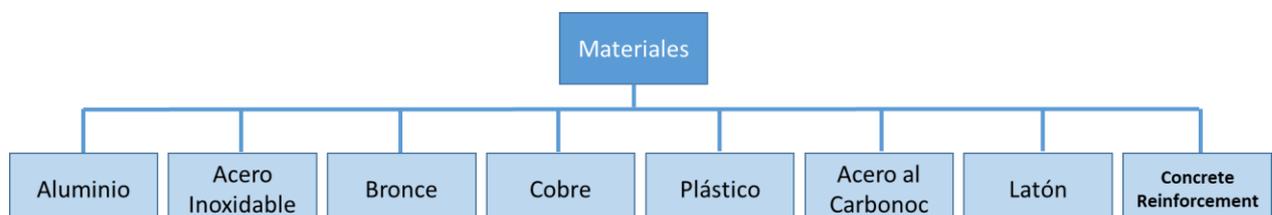


Figura 9. Catálogo de materiales del proveedor Metals4U

Existen algunas preformas que serán excluidas de la base de datos, ya que estas son del tipo sujeciones, herramientas para el conformado de metales o productos para el tratamiento de materiales, ya que estos no presentan utilidad para la consecución del objetivo del presente proyecto. Sin embargo, el procedimiento de Web Scraping programado extraerá íntegramente todos los registros de la Web, siendo en la fase de gestión de datos en el entorno de Microsoft Excel el momento en el que dichos registros sean excluidos.

Además, la Web de éste proveedor cuenta con una estructura bien definida y homogénea, en la que es posible programar un procedimiento de Web Scraping que opere de manera estandarizada.

5.5 Conceptos y definiciones clave para la programación de un procedimiento en Web Scraper

Antes de exponer cual han sido los pasos seguidos para la programación del procedimiento de raspado de información dentro de la página, conviene tener claros una serie de conceptos y definiciones, que serán empleados posteriormente en la programación del método ejecutado en el presente TFM, o en otros procedimientos que se pretendan crear en el futuro para el estudio de otros parámetros.

5.5.1 SiteMap

Tal y como indica su traducción al castellano, viene a representar el “Mapa del Sitio” y en éste se especifica la URL de inicio para el escrapeo de información.

Se deberá especificar de algún modo múltiples URL si se desea extraer información de varios lugares de la Web. Por ejemplo, si dicha Web consta de varias páginas, la manera más fácil de recorrerlas todas extrayendo información es crear un Selector tipo Link que permita navegar por todas ellas. Para ello, en la URL principal indicada en el SiteMap, la parte numérica se sustituye por un rango con la siguiente estructura [1-100]. De esta forma, la extracción de información se llevará a cabo desde la página 1 hasta la página 100. El siguiente ejemplo clarifica la notación usada[12]:

`http://example.com/page/[1-3]`

Si se usa como URL principal del SiteMap la siguiente dirección, el procedimiento extraerá la información especificada de las paginas 1, 2 y 3 (en ese orden) de la URL; **example.com**. Básicamente es la forma de indicarle al software que debe recorrer esas paginas extrayendo información:

`http://example.com/page/1`

`http://example.com/page/2`

`http://example.com/page/3`

Mediante el uso de rangos para recorrer todas las paginas, se evitará la creación de un selector tipo link que simule específicamente el click con el ratón “Pasar a la pagina siguiente”, ya que dicha acción quedará implícitamente programada mediante el uso de dicho rango y su debida especificación en la URL principal del SiteMap.

Después de haber creado el SiteMap, deben añadirse selectores. En el panel de selectores pueden añadirse tantos selectores como sean necesarios, así como modificarlos. Los selectores pueden ser añadidos en una estructura tipo árbol, donde el Web Scraper los ejecutará en el orden en el que han sido organizados en la estructura de ese árbol.

A continuación, se ilustra un ejemplo para clarificar el modo de operación del software. Por ejemplo, si se dispone de una Web de noticias en la que se pretende extraer todos los artículos cuyos enlaces están disponibles en la primera página de la Web, la estructura del proceso de escrapeo se representa en la Figura 10.

Para raspar éste tipo de Webs se debe crear un selector tipo link a partir del cual se recorrerán todos los links que contienen los artículos de la primera página. Entonces, creando un selector de tipo texto en un nivel inferior del árbol, se extraerán los artículos de las distintas páginas que el anterior selector tipo link detectó.

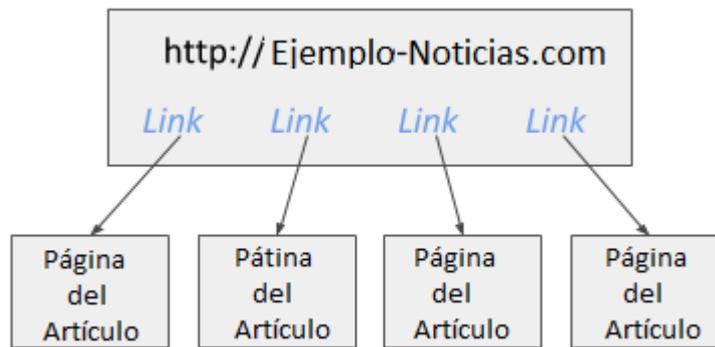


Figura 10. Ejemplo Web de noticias. Escrapeo de todos los artículos de la página 1 de la Web

La Figura 11 ilustra cómo se debe construir el mapa del sitio para la extracción de información de la Web de noticias de éste ejemplo. Además, se representa la estructura del procedimiento y los selectores necesarios para la obtención de dicha información.

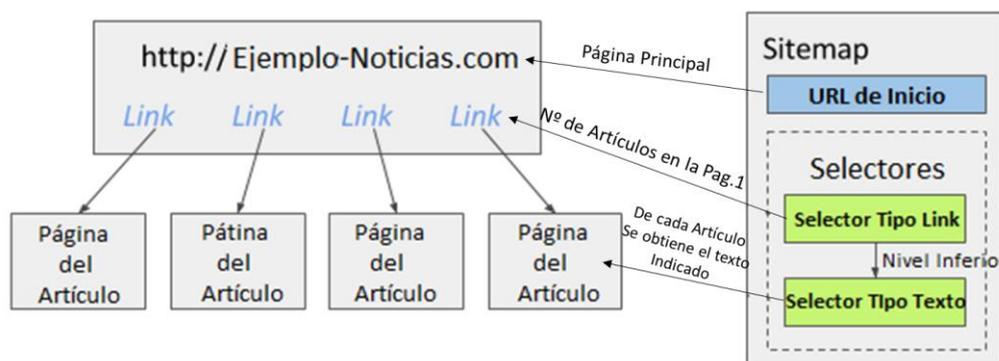


Figura 11. Estructura, niveles y selectores del ejemplo de escrapeo de información de la Web de artículos

5.5.2 Selectors

Los selectores son elementos que simulan diferentes eventos y que definen la interacción con la Web en la que se pretende extraer la información. En otras palabras, son eventos repetitivos que simulan acciones que haría el usuario manualmente, como por ejemplo seleccionar un texto que se encuentra en una determinada posición, o pasar a la siguiente pagina de la web para continuar copiando informacion. Por tanto, los selectores pueden dividirse en tres grupos [12]:

- Selector para la extracción de datos.
- Selector del tipo link para la navegación entre las diferentes URL del site.
- Selectores para la especificación de elementos que separan multiples registros.

A continuación, se presentarán brevemente los distintos tipos de selectores que se pueden usar dentro de la programación de un procedimiento de Web Scraper.

5.5.2.1 Selectores para la extracción de datos de distinto tipo

Este tipo de selectores básicamente se utilizan para la extracción de campos característicos del elemento seleccionado. Los selectores de este tipo pueden clasificarse en los siguientes:

- **Selector de texto:** un selector de tipo texto extrae texto del elemento seleccionado, como pueden ser; nombre, precio, dimensión, etc. Dependiendo de la estructura de la pagina es posible que sea necesario extraer un campo por página o multiples campos por pagina, ambos casos son posibles de programar empleando selectores de texto múltiples. De esta forma, haciendo alusión al ejemplo anterior de la Web de noticias, la estructura para la extracción de un campo por pagina se representa en la Figura 12, mientras que la extracción de múltiples campos por páginas es ilustrado en la Figura 13.

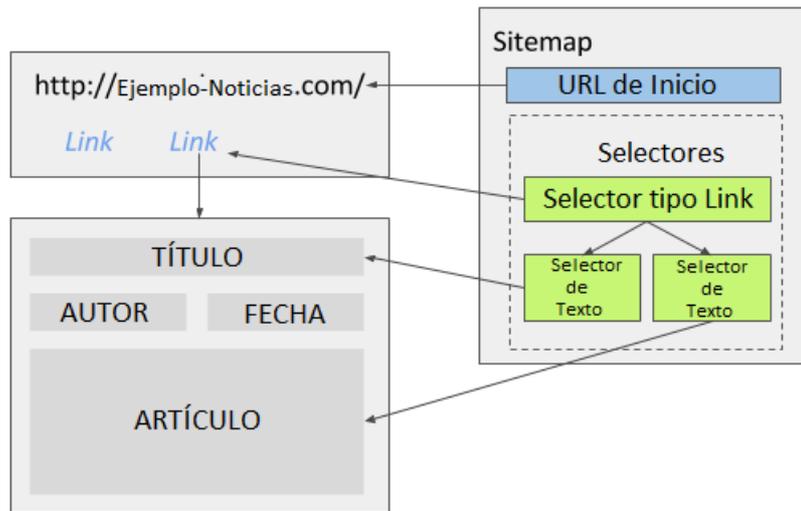


Figura 12. Extracción de un registro por página con múltiples selectores de texto

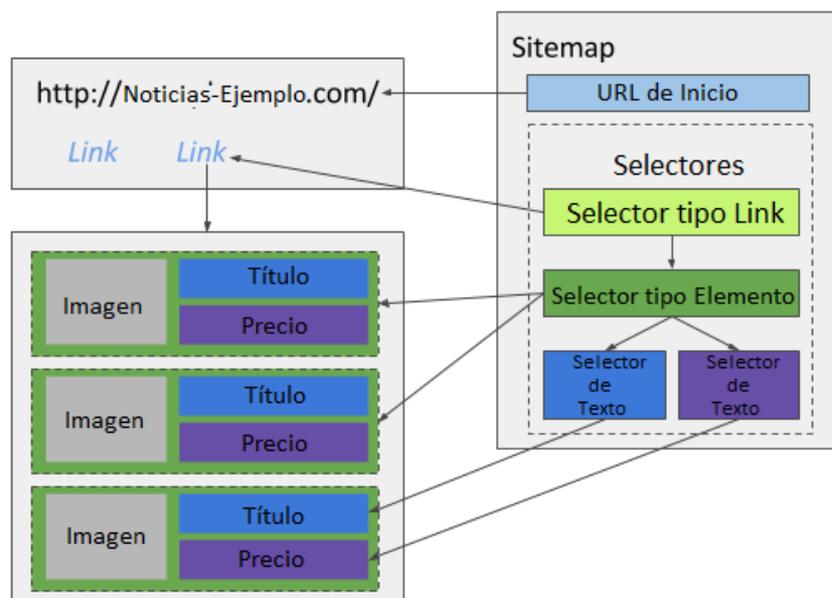


Figura 13. Extraer varios campos con varios selectores de texto por página

Como se puede observar en la Figura 12, sólo existe un elemento por página para esa estructura, por lo que no es necesario la definición del selector intermedio “Selector tipo elemento”, el cual es necesario definir cuando existen múltiples registros por página, como es el caso de la Figura 13.

- **Selector de imagen:** El selector de imágenes puede extraer el atributo (URL) de una o varias imágenes. El script de descarga de imágenes encuentra las URLs de las imágenes seleccionadas por el Selector de imagen en un archivo CSV para procesar la descarga de las mismas.
- **Selector de tablas:** El selector de tablas puede extraer datos de tablas insetadas en la Web de la que se pretende extraer los datos. Este selector está compuesto de otras 3 subselecciones configurables. El primero de ellos, conocido como “Selector” se utiliza para la selección de la tabla completa. Mediante el segundo (“Header Selector”) se especifica cual es la fila de la tabla que hace de encabezado, mientras que el tercero (“Data rows selector”) se usa para indicar cuales son las filas o valores que se desean extraer. Al igual que para el resto de selectores es posible hacer click sobre la pestaña “Element Preview” para chequear si la selección de los elementos a extraer de la tabla es correcta. En la Figura 14, se presenta un ejemplo sobre las selecciones que deben hacerse para la extracción de datos de una tabla.

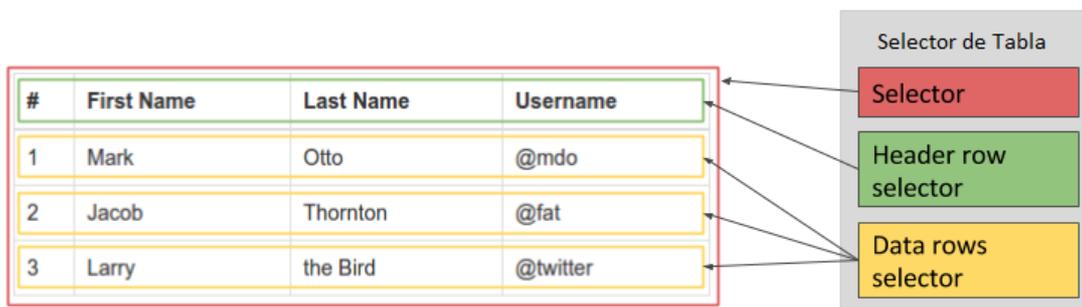


Figura 14. Configuración del selector tipo tabla

- **Selector de atributos de un elemento:** Mediante éste selector es posible extraer un valor de un atributo de un elemento HTML. Por ejemplo, podría utilizarse este selector para extraer el atributo title de un link especificado. Para ello, como en anteriores tipos de selectores, debe especificarse si se van a extraer un atributo o múltiples atributos, así como la especificación del mismo mediante su selección.
- **Selector HTML:** Permite extraer HTML y texto dentro de un elemento seleccionado. Sólo se extraerá el HTML interno de dicho elemento.
- **Selector de agrupación:** Permite agrupar datos de texto de múltiples elementos en un solo registro. Por ejemplo, si se supone que se está extrayendo un artículo de noticias que podría tener múltiples enlaces de referencia, si se seleccionan estos enlaces con un selector tipo link con múltiples selecciones, se obtendrán artículos duplicados. Sin embargo, utilizando el selector de agrupación se podría serializar todos estos enlaces de referencia en un registro. Para ello, se debe seleccionar todos los enlaces de referencia y establecer el nombre del atributo en href para extraer también los enlaces a estos sites.

5.5.2.2 Selectores de tipo Link

Los selectores de tipo link extraen las URLs de enlaces que serán abiertos en algún momento del proceso de extracción de datos. Por ejemplo, si existe un selector tipo link que tiene 3 selectores de texto en un nivel inferior, el Web Scraper extrae todas las URLs mediante dicho selector tipo link para luego abrir cada una de ellas y utilizar esos selectores de texto del nivel inferior para raspar los datos especificados. Además, un selector de tipo link puede tener selectores del mismo tipo en un nivel inferior, lo que permite la navegación por distintos subapartados de la Web [12].

Por ejemplo, un caso de navegación por una Web en sus distintos niveles (categorías-subcategorías) podría ser el representado en la Figura 15. Si se pretende extraer todos los datos de dichas categorías y subcategorías se deberían crear dos selectores de tipo link, el segundo en un nivel inferior que el primero. De esta forma, el selector de nivel inferior abriría los links de las subcategorías que se encuentran en las diferentes categorías, las cuales han sido abiertas anteriormente por el selector tipo link en el nivel superior. De manera consecutiva, los selectores para extraer los datos de las diferentes subcategorías deberían ser definidos en niveles inferiores que el segundo selector tipo link (selector para abrir las subcategorías).

Un caso muy frecuente es que la Web contenga varias paginas numeradas, donde cada una de ellas cuenta con una serie de artículos sobre los que extraer información. Como se especificó en apartados anteriores, el problema de la numeración de páginas puede solventarse fácilmente mediante el uso de rangos del tipo [1-X] si las URL de cada página siguen una estructura. De esta forma, atendiendo al rango especificado se recorrerán todas las páginas desde la 1 a la X.

Sin embargo, puede que la numeración no pueda solventarse mediante el uso de rangos debido a una inexistencia de una estructura homogénea en la URL de cada página. En este caso, se deberá crear un selector tipo link donde se seleccione la paginación., ya que de lo contrario se procesarán solamente los ítems disponibles en la primera pagina de la Web.

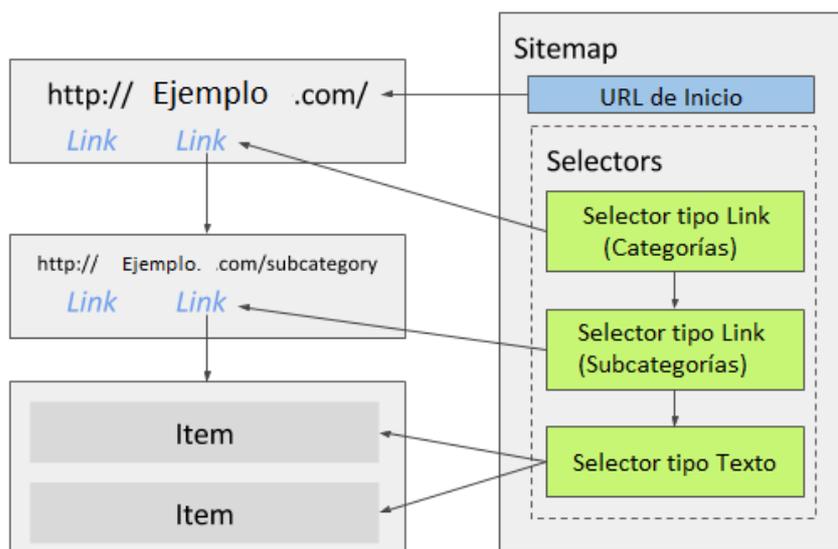


Figura 15. Ejemplo de uso para configuración de selectores tipo link

Entonces haciendo alusión al ejemplo de la Figura 15, mediante la creación del selector tipo link para la paginación, cuando el Web Scraper abre un link extraerá los elementos que están disponibles en esa página, y después encontrará los enlaces de la paginación (definidos en un nivel inferior) y entrará en cada uno de ellos. Si el selector de tipo link para la paginación se renombra así mismo, recorrerá consecutivamente todas las páginas del Web, quedando de nuevo resuelto en este caso el problema de la paginación. La Figura 16 muestra de manera esquemática el modo de operación del Web Scraper en la situación que se acaba de comentar.

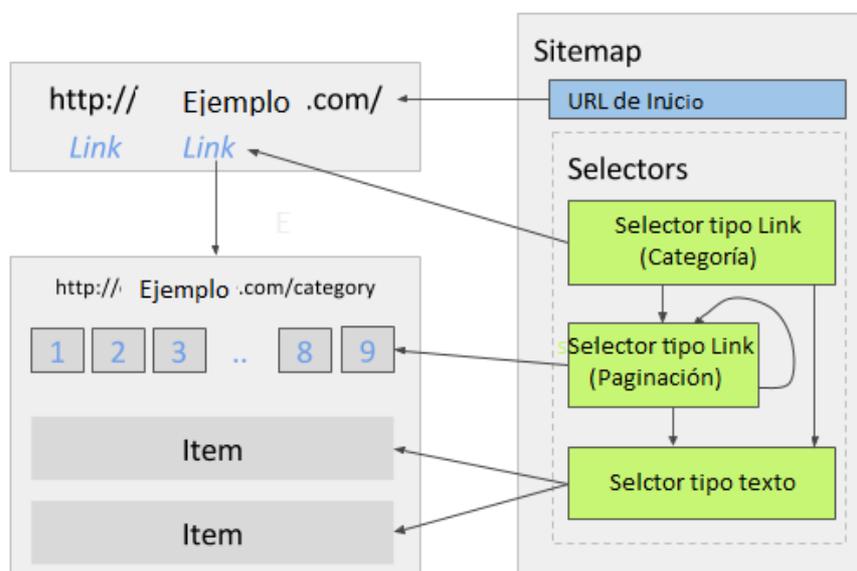


Figura 16. Ejemplo para resolución del problema de la paginación (sin usar rangos de página)

Existe otro selector tipo link conocido como “Link Popup Selector” que funciona de manera similar al anterior, la única diferencia radica en que éste selector debe utilizarse para casos en los que al seleccionar un link se abra una nueva ventana, en lugar de cargar la URL en la misma pestaña o en una nueva.

5.5.2.3 Selectores de tipo elemento

Suelen usarse para la selección de elementos que contienen múltiples datos a extraer. Por ejemplo, podrían emplearse para la extracción de una lista de ítems en una Web. El selector devolverá cada uno de los elementos especificados, extrayendo datos solamente desde dentro del elemento general seleccionado en el nivel superior (Ver Figura 13). A continuación, a parte del selector de tipo elemento general, que es el que se acaba de definir, se resumen otros dos selectores de este tipo [12].

Element Scroll Down: Funciona de manera similar al selector de elementos general pero adicionalmente se desplaza hacia abajo de la página varias veces para encontrar aquellos elementos que se agregan cuando dicha

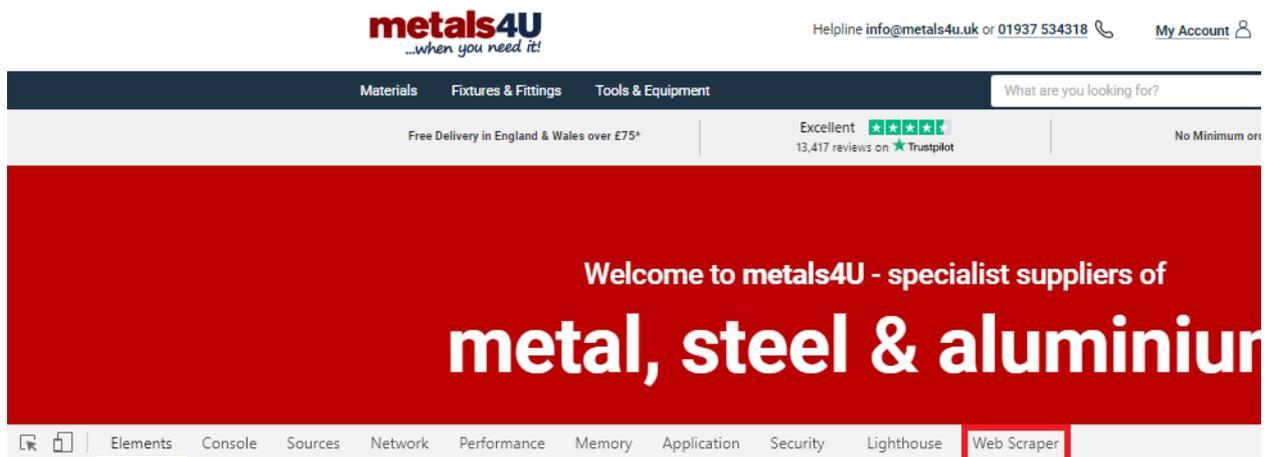


Figura 19. Instalación y apertura del Web Scraper

Se selecciona Web Scraper y en las pestañas superiores se hace click sobre la opción “Create New SiteMap” y posteriormente en “Create SiteMap” (Ver Figura 20).

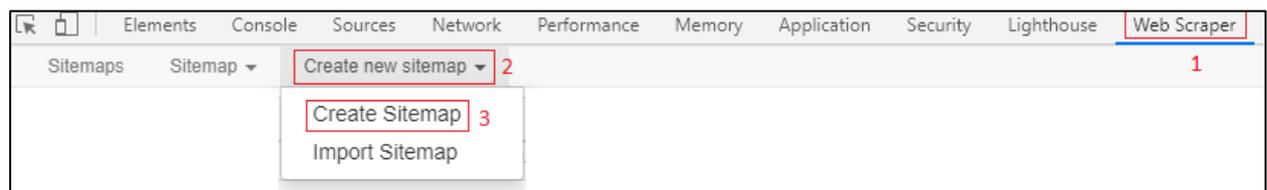


Figura 20. Creación de un SiteMap

A continuación, se abrirá una ventana en la que se deberá indicar el nombre y la URL general de la Web, desde donde se comenzará el proceso de extracción de los datos (Ver Figura 21).

Sitemap name	extraccionmateriales 1
Start URL	https://www.metals4u.co.uk/materials?p=[1-31]&product_list_limit=96 2
	Save Sitemap 3

Figura 21. Campos requeridos para la creación de un SiteMap y uso de rango para configurar la paginación

Hay que tener en cuenta que para la creación de SiteMaps o selectores, en el campo que hace referencia al nombre no se deben usar mayúsculas ni ningún carácter especial, espacio o número. Por tanto, se recomienda atribuirles a las herramientas empleadas un nombre en minúsculas, sin espacio y sin tildes o guiones.

Además, tal y como se indica en la Figura 21, tras realizar un análisis de la estructura de la página se ha concluido que al mostrar 96 registros por página (Ver Figura 21: Se fuerza que cada URL muestre 96 registros por página escrapeada, que es el máximo admisible por esta Web concretamente, y de esta manera se tiene un menor número de páginas) se tiene un total de 31 páginas con registros. Por tanto, haciendo uso de rangos para la paginación (Ver 5.5.2.2) se especifica en ésta URL el rango [1-31]. De esta manera, el Web Scraper entenderá que tiene que acceder desde la página p=1 a la p=31 extrayendo datos, mostrando un total de product_list_limit = 96 registros por página.

Como se comentó en apartados anteriores, el problema de la paginación podría haberse resuelto de manera alternativa creando un selector tipo link y específico para la paginación, aunque este proceso es más largo y el proceso de extracción será más lento.

Una vez se tiene el SiteMap creado, se deberá crear un primer selector para indicarle los registros a los que debe acceder el Web Scraper dentro de cada página de la Web para extraer los datos. Entonces, se hace click sobre la pestaña “Add New Selector”, la cual aparece tras guardar el SiteMap, y se mostrará una pantalla como la ilustrada en la Figura 22.

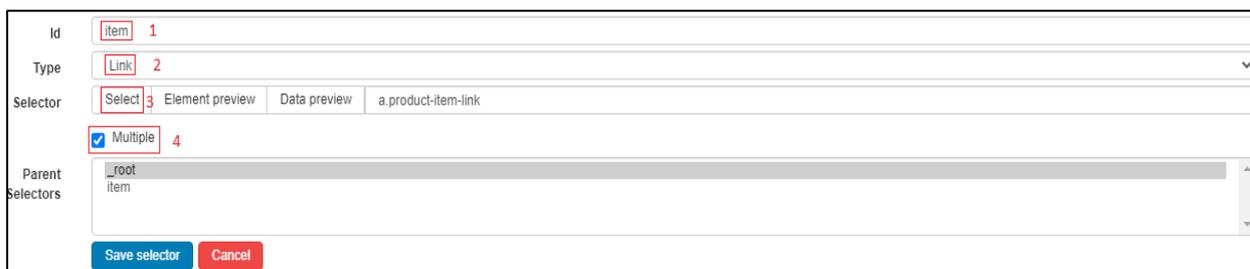


Figura 22. Creación a de un selector en un nivel inmediatamente inferior al SiteMap

Para la creación de éste selector se especifica su nombre, el tipo de selector, así como los items a los que debe acceder el Web Scraper. Por último, se indica si el selector es de carácter múltiple (si debería seleccionar más de 1 elemento por hoja). El nombre atribuido a éste selector de 2º nivel ha sido “Item” haciendo referencia a que es un selector que debe recorrer todos los ítems/materiales de una página.

Este selector será de tipo link y se deberá marcar la casilla múltiple, ya que el Web Scraper tendrá que entrar sobre cada uno de los 96 registros de cada página para extraer los datos.

En la Figura 22, el campo numerado como “3” sirve para seleccionar todos los materiales de la página de los que se pretenden extraer datos. Como en este caso se van a extraer los datos de todos los materiales de todas las páginas, sería necesario hacer click sobre los 96 registros de la primera página. Sin embargo, el software está preparado para que haciendo click sobre el primer y último registro únicamente, se seleccionen automáticamente los 94 materiales restantes, ya que éste interpreta que se debe acceder a los seleccionados y a los que están en una posición intermedia dentro de la Web (Ver Figura 23).

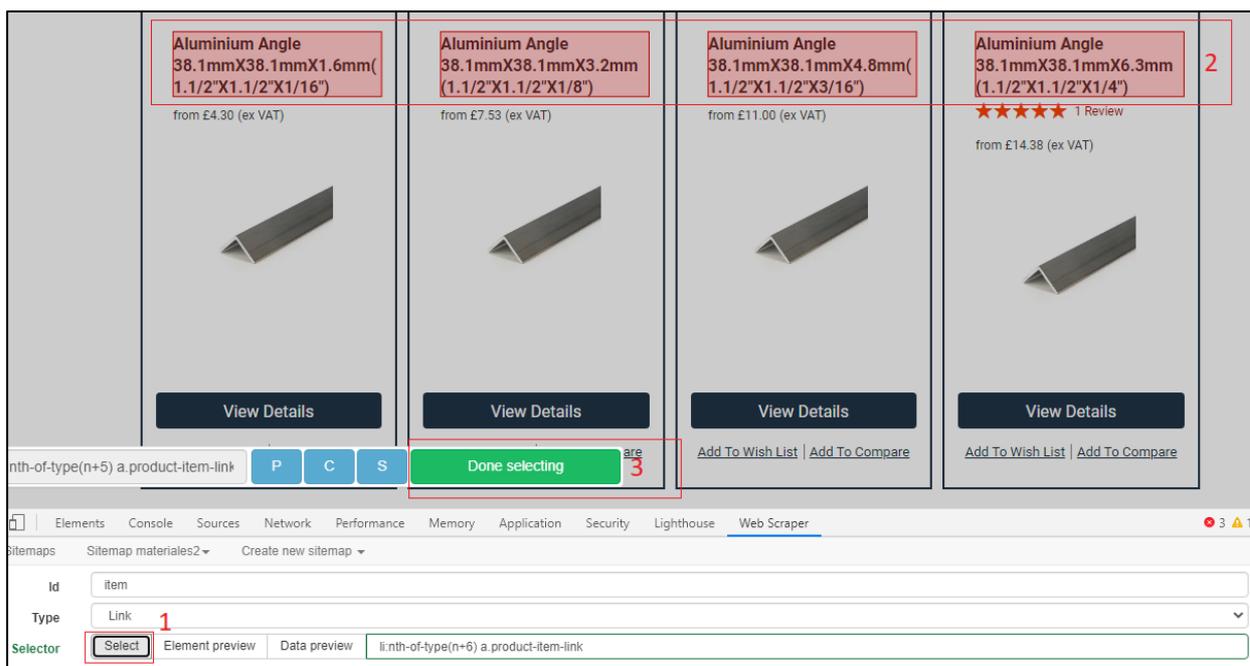


Figura 23. Selección de los elementos/ítems sobre los que se deben extraer datos en cada URL (96 materiales/pag)

Una vez realizado la selección de los elementos/ítems, es muy importante hacer click sobre “Done Selecting” (Ver Figura 23) de lo contrario los elementos/ítems sobre los que se deben extraer los datos no se guardarán tras la selección.

Resulta de gran utilidad acceder a la pestaña “Element Review” (Ver Figura 23) a la hora de crear cualquier tipo de selector, ya que en dicha pestaña se podrá observar, por ejemplo en este caso, los elementos/ítems que el Web Scraper ha interpretado que debe acceder tras la selección anterior, por lo que es fácil comprobar si dicha selección es la que se requiere o no, pudiéndose volver a seleccionar y visualizar las veces que sea necesario en caso de que ésta sea incorrecta.

En este punto se tiene diseñado el árbol del procedimiento de extracción de datos hasta su segundo nivel (Ver Figura 24). Inicialmente, se especificó la página cabecera o principal desde la que se comienza el proceso de extracción de datos (1º nivel: Selector llamado: extraccionmateriales, Ver Figura 21), y posteriormente un

segundo nivel donde se le ha indicado a la extensión, mediante un selector tipo link, cuales son los elementos a los que debe acceder para extraer información dentro de cada una de las páginas de la Web seleccionada (2º Nivel, selector llamado: Item, Ver Figura 23).



Figura 24. Árbol de selectores del procedimiento programado para la extracción de datos (Hasta su 2º nivel)

Mediante este selector de 2º nivel se accede a toda la información detallada de cada uno de los materiales de una página, es decir, simula el click que hace el usuario sobre un material para visualizar sus características detalladas de un registro. Entonces, la Web cargará otra ventana siempre con la misma estructura, la cual es similar a la Figura 25.

Aluminium Angle
38.1mmX38.1mmX4.8mm(1.1/2"X1.1/2"X3/16") ¹

£11.00 (ex VAT)

Product Information

IN STOCK SKU#: 33

Length	Unit Price (ex VAT)	Qty
1000mm ²	£11.00 ³	- 0 +
2000mm	£18.34	- 0 +
3000mm	£29.34	- 0 +
4000mm	£33.01	- 0 +
5000mm	£36.68	- 0 +
Custom Size		- 0 +

Length: mm

[Reset](#) [Add to Basket](#)

[Add to Wish List](#) [Add to Compare](#)

More Information		Reviews	FAQ
Shape	Angle		
Grade	6082		
Corrosion Resistance	Excellent		
Finish	Mill Finish		
Weight/Metre (Kg)	0.93 ⁴		
Weldability	Fair		
Height	38.1mm		
Width	38.1mm		
Thickness	4.8mm		

Figura 25. Acceso a las características de un material tras la ejecución del selector del 2º nivel

El próximo paso será construir nuevos selectores en un nivel inferior (nivel 3) para extraer la información que se requiera dentro de cada registro. Como se necesita el nombre del material, el precio, la dimensión y el ratio m/kg, se han tenido que crear tres selectores, uno para la extracción de cada uno de los cuatro parámetros. Como la estructura de la Web presenta el precio y la dimensión del material mediante una tabla, solo ha sido necesario crear un selector tipo tabla para capturar ambos valores.

En la Figura 24 se indican los datos que deben extraerse para cada registro, configurándose los selectores que se expondrán a continuación. Posteriormente, los datos extraídos serán gestionados y procesados mediante VBA, con el objetivo de convertirlos y clasificarlos en unas unidades y categorías determinadas para su representación y análisis.

A continuación, se expondrá brevemente el proceso seguido para la creación de los tres selectores requeridos, con el objetivo de que sirva de guía para usuarios futuros. Como se dijo anteriormente, se recuerda que tras las selecciones que se hagan dentro de la Web durante la configuración de un selector, se debe pulsar el botón “Done Selecting” de lo contrario el Web Scraper no guardará los cambios en la configuración del selector que se está creando.

- **Selector para el nombre de material:** Selector de tipo texto y que se encuentra en tercer nivel (dentro de cada material/ítem). Como el nombre para cada material es único, la casilla múltiple deberá estar desmarcada. El ID atribuido a éste selector ha sido “Name” haciendo alusión al contexto para el que se crea. Para seleccionar el nombre del material dentro de la página, se marca la casilla “Select” y se hace click sobre dicho nombre, quedando éste resaltado en color rojo (Ver Figura 25). Con esta acción, el Web Scraper entenderá que deberá extraer ese campo en todos los registros a los que acceda, y por tanto solo es necesario hacer dicha selección una vez dentro de un registro.

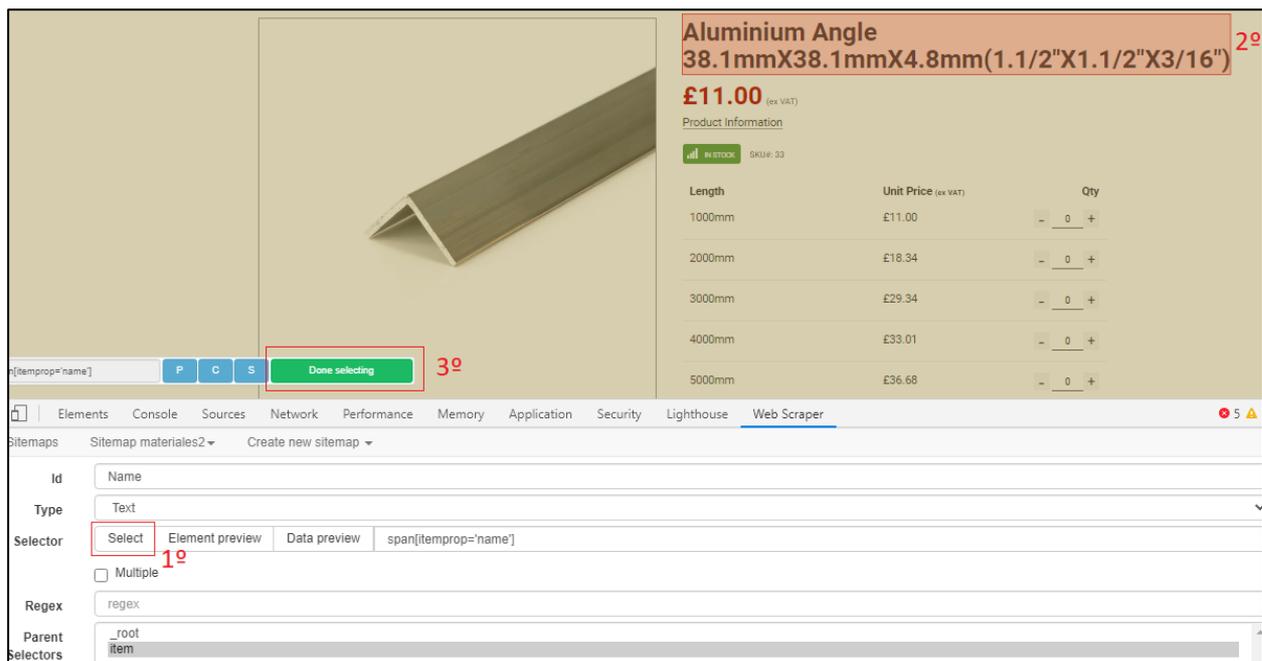


Figura 26. Creación de un selector para la extracción del nombre del material

- **Selector para el ratio Kg/m:** Selector de tipo texto y que se encuentra en tercer nivel (dentro de cada material/ítem). Como el ratio kg/m para cada material es único, la casilla múltiple deberá estar desmarcada. El ID atribuido a éste selector ha sido “ratio Kg/m” haciendo alusión al contexto para el que se crea. Para seleccionar el nombre del material dentro de la página, se marca la casilla “Select” y se hace click sobre dicho ratio, quedando éste resaltado en color rojo (Ver Figura 27). En este caso, el ratio kg/m se encuentra en la parte inferior de la Web. Al igual que para el selector de nombre, con esta acción el Web Scraper entenderá que deberá extraer dicho ratio en todos los registros a los que acceda, y por tanto solo es necesario hacer dicha selección una vez dentro de un registro.
- **Selector para la dimensión y el precio:** Este selector es diferente a los dos anteriores, concretamente se trata de un selector tipo tabla, y a partir de la creación del mismo será posible la extracción tanto de la dimensión como del precio del material, sin necesidad de crear un segundo selector. El nombre atribuido a éste selector ha sido “Length_and_price”, y tal como se expuso en el apartado 5.5.2.1 será necesaria la especificación de varios campos para la definición de la tabla que contiene los datos. Dichas definiciones vienen indicadas en la Figura 28. En primer lugar, se debe seleccionar la tabla completa dentro de la Web mediante el campo “Selector” (línea azul-recuadro azul en Figura 28). Posteriormente, se indica el encabezado de la tabla mediante el campo “Header Row Selector” (línea roja-recuadro rojo en Figura 28). Por último, y siendo el campo más importante, se indica cuales son los datos de la tabla que se quieren extraer. En este caso, la primera columna indica la dimensión del material, mientras que la segunda recoge el precio del mismo para esa dimensión. Por tanto, en el campo “Data Row Selector” se debe seleccionar cualquiera de las filas de la tabla, en este caso se ha extraído la primera fila (línea naranja-recuadro naranja en Figura 28). Una vez realizado este proceso, es importante revisar la selección mediante el uso de la pestaña “Element Review” dentro del selector que esta siendo creado. Además, los selectores tipo tabla contienen una serie de recuadros en los que se muestran los campos

reconocidos. En este caso, tal y como indica la Figura 29, el Web Scraper ha detectado las columnas “Length”, “Unit Price” y “Qty”, que son los campos que componen la tabla, por lo que la selección es correcta. Adicionalmente, la extensión ofrece la posibilidad de indicar cuales son los datos que se quieren extraer de entre todas las columnas que posee la tabla, por lo que en éste caso se ha marcado la casilla “Length” y “Unit Price” mientras que la casilla “Qty” ha sido desmarcada (Ver Figura 29)

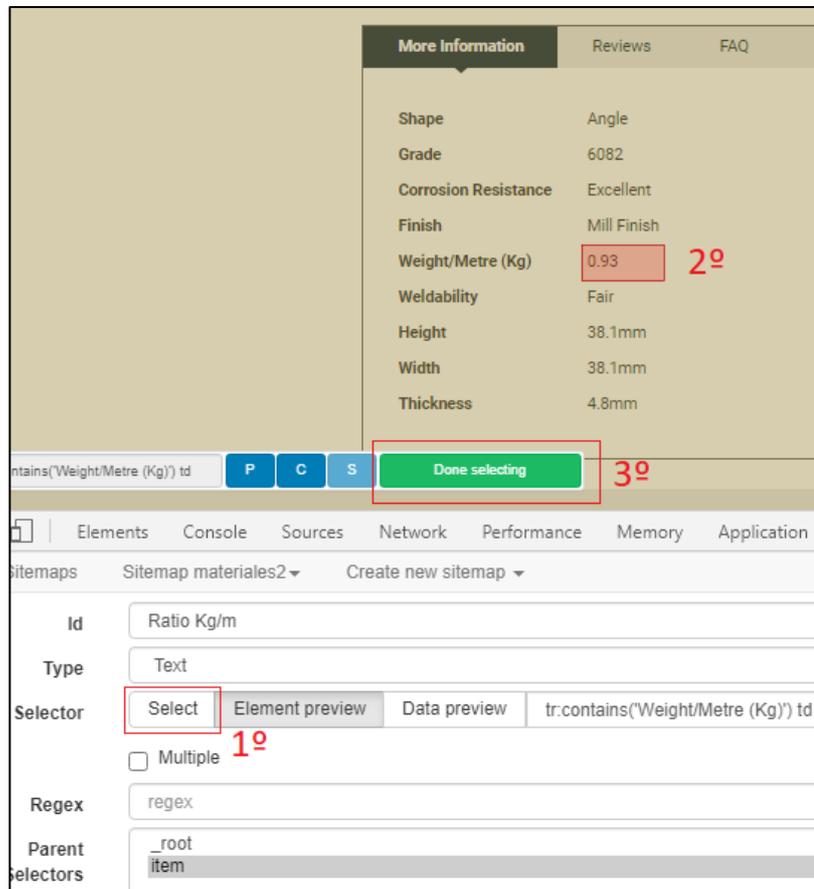


Figura 27. Creación de un selector para la extracción del ratio kg/m

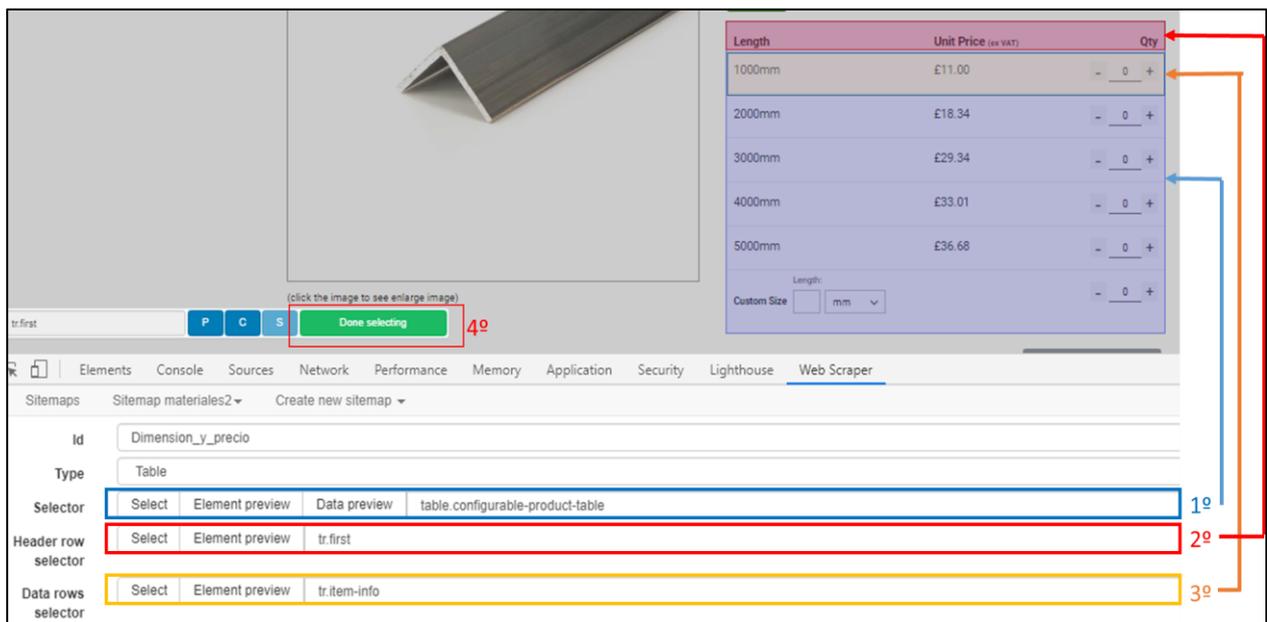


Figura 28. Creación de un selector tipo tabla para la extracción de la dimensión y el precio del material

Table columns	Column	Result key	Include into result
	Length	Length	<input checked="" type="checkbox"/>
	Unit Price (ex VAT)	Unit Price (ex VAT)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Qty	Qty	<input type="checkbox"/>

Figura 29. Campos reconocidos tras la configuración del selector tipo tabla

En este punto ya han sido creados todos los selectores necesarios para la extracción de los datos requeridos. Es preciso indicar que para procedimientos en los que no sea posible utilizar rangos para recorrer todas las páginas de la Web, será necesario crear un selector específico que simule la acción de pasar a la página siguiente, y concretamente deberá ser creado en el segundo nivel. Es decir, en el mismo nivel en el que se ha incluido el selector para recorrer todos los items de la página. Esto se hace con el objetivo de que cuando extraigan todos los datos de una página, este selector permita pasar a la página siguiente. Esta última configuración que se acaba de comentar se representa gráficamente en la Figura 18.

Cada proceso de Web scraping es diferente, por lo que la tipología de los selectores en cada proceso de Web Scraping también serán diferentes en función de la estructura de la Web seleccionada. Debido a ello, previamente a la creación del procedimiento de Web Scraping, será necesario realizar un análisis detallado de la página sobre la que se pretenden extraer los datos, para determinar los tipos de selectores mas eficientes y rápidos en cada caso.

Hasta éste punto, se han definido los selectores requeridos para extraer datos de materiales de la página Metals4U. El árbol del proceso se representa en la Figura 30.

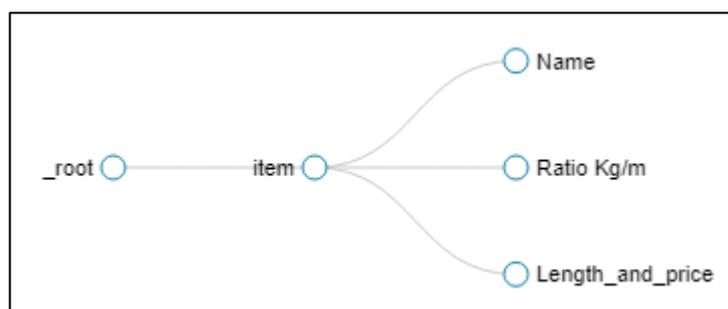


Figura 30. Árbol representativo del Web Scraping para la extracción de datos en la página Metals4U.

Por último, para que de comienzo el proceso de Web Scraping se debe hacer click sobre la pestaña “SiteMap” seguidamente de “Scrape” y “Start Scraping”. Esta secuencia se encuentra representada en la Figura 31.

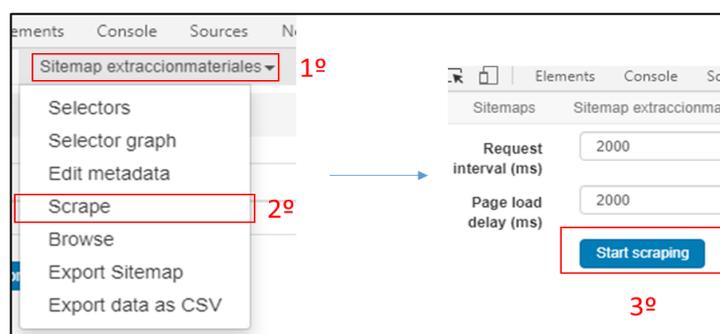


Figura 31. Secuencia para la ejecución del proceso de Web Scraping programado

5.7 Volcado de datos obtenidos por Web Scraping dentro de Microsoft Excel

Una vez acabado el proceso de Web Scraping, será necesario exportar los datos extraídos a una plataforma donde se puedan procesar, para su posterior representación y análisis. Como se indico en secciones anteriores, dicha plataforma es Microsoft Excel.

Cuando el Web Scraper acabe de operar se deberá hacer click sobre la pestaña “SiteMap” - “Export Data as CSV”-“Download now!”, y se descargará automáticamente un archivo CSV tal y como se indica en la Figura 32.

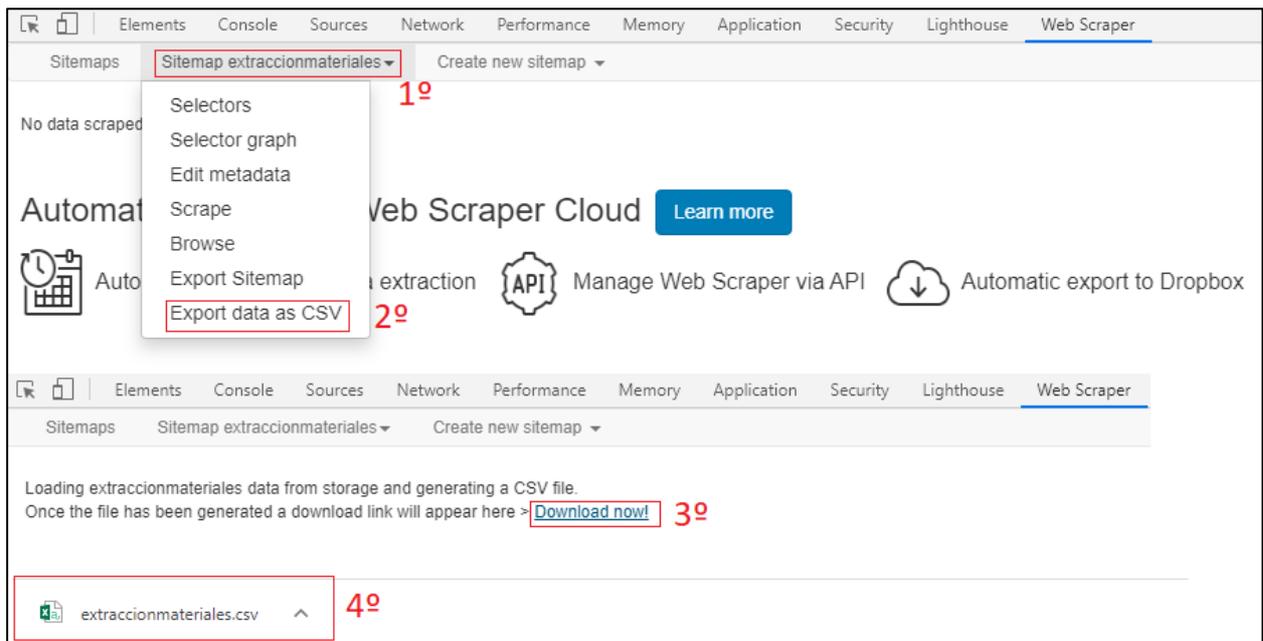


Figura 32. Exportación de los datos obtenidos por Web Scraping a Microsoft Excel mediante un archivo CSV
 Al abrir éste archivo CSV, puede encontrarse una disposición de datos como la ilustrada en la Figura 33. Concretamente, se trata de una base de datos cuyos diferentes campos se encuentran delimitados por comas. Es decir, solo existen datos en la primera columna (Columna A).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	web-scraper-order,web-scraper-start-url,item,item-href,Name,Ratio Kg/m,Length,Unit Price (ex VAT)														
2	1598101306-1264,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 101.6mmX50.8mmX3.2mm (4""X2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/132-														
3	1598101016-1220,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Channel 25.4mmX50.8mmX3.2mm (1""X2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/aluminiu														
4	1598101460-1291,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 50.8mmX12.7mmX3.2mm (2""X1/2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/10-														
5	1598100972-1213,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Channel 76.2mmX50.8mmX3.2mm (3""X2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/aluminiu														
6	1598101116-1236,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Box Section 63.5mmX63.5mmX3.2mm(2.1/2""X2.1/2""X10swg)","https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminiu														
7	1598101433-1286,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 50.8mmX38.1mmX3.2mm (2""X1.1/2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/4-														
8	1598101275-1259,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 127mmX50.8mmX6.3mm (5""X2""X1/4""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/3029-														
9	1598101141-1240,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Box Section 50.8mmX25.4mmX3.2mm (2""X1""X10swg)","https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/alum														
10	1598101370-1275,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 63.5mmX63.5mmX4.8mm(2.1/2""X2.1/2""X3/16""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/ang														
11	1598101135-1239,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Box Section 50.8mmX38.1mmX3.2mm (2""X1.1/2""X10swg)","https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/a														
12	1598101511-1300,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","76.2mm (3"") od plastic coated post Mild Steel Tube Steel Posts","https://www.metals4u.co.uk/materials/mild-steel/mild-ste														
13	1598101394-1279,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 63.5mmX38.1mmX4.8mm(2.1/2""X1.1/2""X3/16""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/ang														
14	1598101197-1248,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Box Section 31.8mmX31.8mmX1.6mm(1.1/4""X1.1/4""X16swg)","https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminiu														
15	1598101482-1295,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 38.1mmX38.1mmX4.8mm(1.1/2""X1.1/2""X3/16""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/ang														
16	1598101054-1226,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Channel 15.8mm X 15.8mm X 3.2mm (5/8""X5/8""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/alu														
17	1598101405-1281,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 50.8mmX50.8mmX6.3mm (2""X2""X1/4""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/201-														
18	1598101527-1303,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","20mm x 20mm x 3mm Mild Steel Angle Iron Hot Rolled","https://www.metals4u.co.uk/materials/mild-steel/mild-steel-angle														
19	1598101317-1266,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 76.2mmX76.2mmX9.5mm (3""X3""X3/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/214-														
20	1598101422-1284,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 50.8mmX50.8mmX1.6mm (2""X2""X1/16""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/40-														
21	1598100943-1209,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Flat Bar 12.7mm X 4.8mm (1/2"" X 3/16"")","https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/aluminium-flat/2-														
22	1598101416-1283,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Angle 50.8mmX50.8mmX3.2mm (2""X2""X1/8""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/angle/199-														
23	1598100962-1212,"https://www.metals4u.co.uk/materials?p=1&product_list_limit=96","Aluminium Channel 76.2mmX50.8mmX6.3mm (3""X2""X1/4""),"https://www.metals4u.co.uk/materials/aluminium/aluminiu														

Figura 33. Base de datos proporcionada por le Web Scraper. Estructura de datos delimitada por comas.

Existe una herramienta en Excel que sirve para separar el texto delimitado por comas en columnas contiguas. Para ello, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Crear una nueva hoja en el archivo CSV.
2. Copiar los datos de la columna A y copiarlos como valores en la columna A de la nueva hoja creada.
3. Seleccionar los datos de la columna A que se acaban de pegar y hacer click sobre; Pestaña Datos – Herramientas de datos – Texto en Columnas. Aparecerá una ventana como la mostrada en la Figura 34. En dicha ventana, marcar la opción “Delimitados” y pulsar “Siguiente”.
4. Aparecerá otra ventana como la de la Figura 35. Seleccionar “Comas” y pulsar sobre “Siguiente” y “Finalizar”.

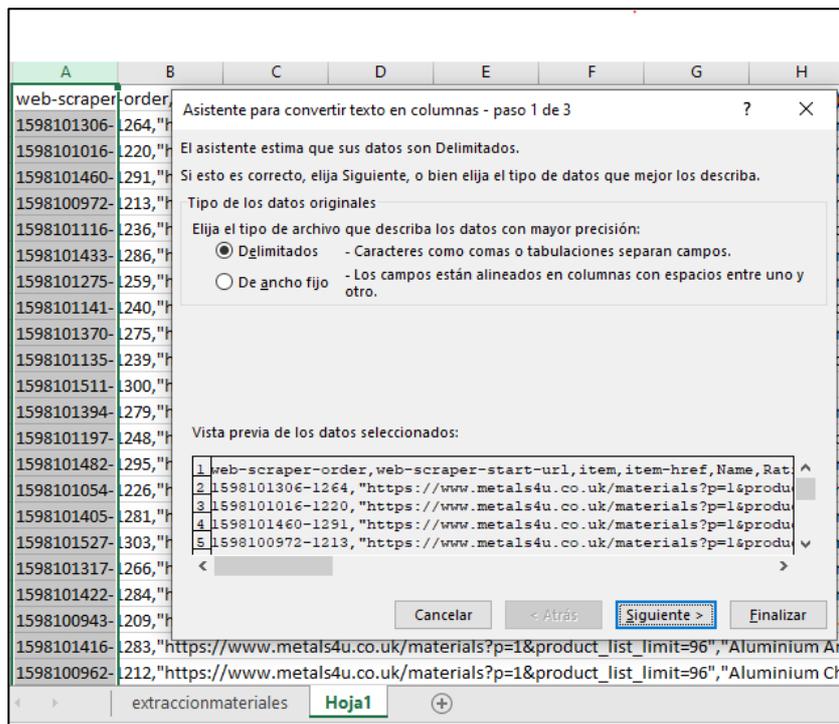


Figura 34. Método para separar texto delimitado por comas en diferentes columnas (paso 1)

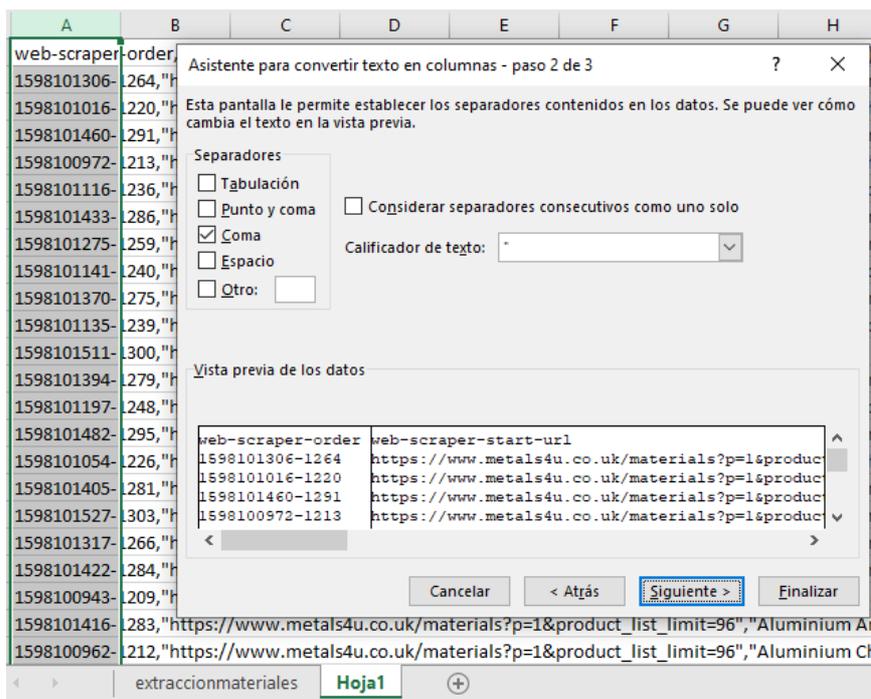


Figura 35. Método para separar texto delimitado por comas en diferentes columnas (paso 2)

Al realizar éste proceso, se conseguirá disponer la base de datos mostrada en la Figura 33 (registros delimitados por comas), en diferentes columnas, tal y como se indica en la Figura 36.

En este punto, la base de datos de materiales estará preparada para realizar operaciones con sus registros. Como se comentó anteriormente, se ha empleado Visual Basic for Applications para la gestión de los mismos, elaborándose una serie de macros para su clasificación, cálculo y representación. Dichas macros serán presentadas en el siguiente capítulo.

A	B	C	D	E	F	G	H		
b-scrap	er-or	-scrap	er-start	item	item-href	Name	Ratio Kg/m	Length	Unit Price (ex VAT)
98101306-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 101.6	1.29	1000mm	£16.06		
98101016-12	uk/materials	Aluminium C	https://www	Aluminium Channel 25	1.04	1000mm	£11.28		
98101460-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 50.8r	0.52	1000mm	£9.33		
98100972-12	uk/materials	Aluminium C	https://www	Aluminium Channel 76	1.48	1000mm	£19.97		
98101116-12	uk/materials	Aluminium E	https://www	Aluminium Box Section	2.08	1000mm	£25.21		
98101433-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 50.8r	0.74	1000mm	£9.19		
98101275-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 127m	2.94	1000mm	£38.98		
98101141-12	uk/materials	Aluminium E	https://www	Aluminium Box Section	1.21	1000mm	£14.65		
98101370-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 63.5r	1.58	1000mm	£19.08		
98101135-12	uk/materials	Aluminium E	https://www	Aluminium Box Section	1.43	1000mm	£22.93		
98101511-13	uk/materials	76.2mm (3")	https://www	76.2mm (3") od plastic	5.78	3 Metres	£66.43		
98101394-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 63.5r	1.25	1000mm	£17.03		
98101197-12	uk/materials	Aluminium E	https://www	Aluminium Box Section	0.52	1000mm	£6.27		
98101482-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 38.1r	0.93	1000mm	£11.00		
98101054-12	uk/materials	Aluminium C	https://www	Aluminium Channel 15	0.35	1000mm	£5.49		
98101405-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 50.8r	1.63	1000mm	£22.16		
98101527-13	uk/materials	20mm x 20m	https://www	20mm x 20mm x 3mm M	0.88	3 Metres	£14.12		
98101317-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 76.2r	3.67	1000mm	£44.19		
98101422-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 50.8r	0.43	1000mm	£5.76		
98100943-12	uk/materials	Aluminium F	https://www	Aluminium Flat Bar 12.	0.16	1 metre	£2.08		
98101416-12	uk/materials	Aluminium A	https://www	Aluminium Angle 50.8r	0.85	1000mm	£10.15		
98100962-12	uk/materials	Aluminium C	https://www	Aluminium Channel 76	2.83	1000mm	£34.00		

Figura 36. Datos separados en distintas columnas preparados para su procesamiento

5.8 Ahorro de tiempo usando Web Scraping respecto a la extracción manual de los datos

Con el objetivo de proporcionar al lector una visión sobre el notorio ahorro de tiempo y fatiga que supone la extracción de datos usando Web Scraping frente al proceso manual, en este apartado se presentará el tiempo requerido para extraer la misma cantidad de datos mediante éstos dos métodos (manualmente vs Web Scraping).

Para ello, se ha cronometrado el tiempo requerido para extraer el nombre, precio, dimensión y ratio kg/m de un solo material de manera manual, cuyo resultado ha sido 45 segundos. Hay que tener en cuenta que este tiempo es el tiempo necesario para extraer los datos para el primer material, muy probablemente el tiempo necesario para extraer los mismos datos cuando se haya repetido el proceso solamente unas 100 veces será notoriamente mayor, debido a la fatiga acumulada. Evidentemente, este efecto no es aplicable en el Web Scraping, donde el tiempo necesario para la extracción de los datos será siempre constante.

De manera similar, se ha cronometrado el tiempo necesario para extraer el nombre, precio, dimensión y ratio kg/m de un solo material usando Web Scraping, cuyo resultado ha sido 7 segundos.

Teniendo en cuenta que la página Metals4U de la que se han extraído los datos cuenta con un total de 2883 registros, el tiempo total para la extracción de los datos usando uno y otro método se representa en la Tabla 6, así como el ahorro de tiempo conseguido.

Tabla 6. Ahorro de tiempo en la extracción de los datos usando Web Scraping frente al proceso manual

Método para la extracción de datos	Tiempo para extraer los datos de 1 material (Segundos)	Total de materiales procesados	Tiempo total del proceso (Horas)
Manual	45	2883	36,04
Web Scraping	7	2883	5,61
Ahorro de Tiempo (Horas)			30,43

El ahorro de tiempo obtenido mediante el uso de Web Scraping, frente al proceso de extracción manual, es de 30,43 horas para la página de materiales indicada, dando constancia de la potencia y utilidad de ésta herramienta.

6 GESTIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE COSTES DE MATERIALES USANDO VBA

“Un pueblo ignorante es un instrumento ciego de su propia destrucción”

- Simón Bolívar -

Una vez se han extraído los datos mediante el procedimiento de Web Scraping presentado en el Capítulo 5, se dispone de una enorme base de datos con registros sin formato, desordenados y con unas dimensiones que no son las más apropiadas para su uso al aplicar el Método de Boothroyd-Dewhurst, o para cualquier otro fin para el que se dispongan.

Debido a ello, y al interés en desarrollar una aplicación que se actualice de manera automática, rápida y sencilla para la representación de costes de materiales y preformas, en este capítulo se incluirán una serie de macros en Visual Basic for Applications para convertir los datos extraídos mediante el Web Scaping al formato adecuado, para su posterior búsqueda, representación y análisis.

Aunque la parte más novedosa del presente TFM consista en la extracción de datos mediante el Web Scraping, el desarrollo de dichas macros también es de vital importancia para extraer el máximo partido a los datos, ya que sin dichas macros no se obtendría la visibilidad necesaria para un análisis detallado de los mismos, ni se podrían agrupar o representar según las necesidades del usuario.

A continuación, se presentan una serie de apartados explicando el objetivo y programación empleada para cada macro elaborada. Además, se incluirá el código de cada una por si fuese de utilidad para el lector en futuros trabajos.

6.1 Macro 1: Extracción de libras y conversión de valores a formato número

Mediante ésta macro se extrae el precio en libras de cada material, y se le atribuye un formato de número con dos decimales. Básicamente este campo proviene del proceso de Web Scarping como una cadena de texto de la forma £3.73. La macro lo convierte en un número con el, a partir de ese momento, se pueden realizar operaciones matemáticas.

El código de la Macro 1 se representa en la Figura 37.

```

Sub Precio_Libras()
'Variables
Dim uf As Long: Dim i As Long

ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

'Extracción de Número de Libras y texto en número con decimales
For i = 2 To uf
If Left(Cells(i, 5).Value, 1) = "£" Then
Cells(i, 9).Value = Mid(Cells(i, 5).Value, 2, 8)
Else
Cells(i, 9).Value = Mid(Cells(i, 5).Value, 8, 8)
End If
Next i

End Sub

```

Figura 37. Macro 1. Extracción de libras en formato número con dos decimales

6.2 Macro 2: Conversión de libras a euros

Mediante la Macro 2 se ha automatizado la conversión de libra a euros de todos los registros de la base de datos, atribuyéndole un formato de tipo número con decimales. En la Figura 38 se proporciona el código de dicha macro.

```

Sub Conv_Libra_Euro()
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
For i = 2 To uf
Cells(i, 10).Value = Cells(i, 9).Value * 1.11
Next i
End Sub

```

Figura 38. Macro 2: Conversión de libra a euros en formato número decimal

6.3 Macro 3: Determinación del factor m/kg de cada material

Mediante la Macro 3 se ha extraído y calculado el factor m/Kg, el cual resulta de vital importancia para determinar los costes de material en las unidades que se requieren (kg/m). El código empleado para la realización de éste cálculo es el incluido en la Figura 39.

```

Sub conversion_m_kg()
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
For i = 2 To uf
If Cells(i, 7).Value = "null" Or Cells(i, 7).Value = "0" Then
Cells(i, 11).Value = "-"
Else
Cells(i, 11).Value = 1 / Cells(i, 7).Value
End If
Next i
End Sub

```

Figura 39. Macro 3: Extracción y cálculo del ratio m/kg de cada material

En la página Metals4U, se proporciona el ratio kg/m, que es el inverso del que se requiere para obtener los costes en las unidades de interés, por lo que sólo será necesario invertir numerador y al calcular el coste en €/kg.

Otro de los factores a tener en cuenta es que en la Web seleccionada existen registros sin ratio m/kg, ya que no disponen de dimensión longitudinal, sino que el precio viene dado por unidad de producto. A estos registros, la macro le atribuirá el valor “-“.

Los registros para los que no existe el ratio m/kg son materiales del tipo sujeciones, hilos de cobre, productos para el mantenimiento de herramientas, etc. Estos materiales juegan un papel secundario en la consecución del objetivo principal del presente TFM, el cual es extraer una base de datos de materiales y preformas que mantengan relación con las que proporciona Boothroyd-Dewhurst en su libro.

6.4 Macro 4: Extraer un número de dígitos en función de la dimensión de la preforma

Por inspección de la Web y de la base de datos obtenida, se comprueba que los datos venían dados en distintas unidades longitudinales. Es decir, una serie de registros eran dados en metros, otros en mm, otros en pies, etc. Por tanto, ha sido necesaria la creación de múltiples macros para el cálculo de la dimensión en metros de todos los registros existentes dentro de la misma. Los códigos de dichas macros se presentarán a continuación.

Mediante la Macro 4, se ha extraído un número variable de dígitos del campo “dimensión”. Esto se ha hecho en función de si el registro viene dado en metros o en milímetros. Por inspección, se ha observado que los registros que vienen dados en metros contienen la palabra “metro”, mientras que los materiales que se dan en milímetros contienen las letras “mm”. Por tanto, en función de estas palabras clave y de la dimensiones máxima y mínima observadas para los materiales que vienen dados en metros y en milímetros, se ha programado el criterio establecido en la macro de la Figura 40, el cual comprueba la existencia de ambas palabras clave dentro de la cadena “dimensión” y extrae un número u otro de dígitos en función de ello.

```
Sub Extrae_Dimension()  
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
For i = 2 To uf  
If InStr(1, Cells(i, 6).Value, "mm", 1) > 0 Then  
Cells(i, 12).Value = Left(Cells(i, 6).Value, 4)  
ElseIf InStr(1, Cells(i, 6).Value, "metro", 1) > 0 Then  
Cells(i, 12).Value = Left(Cells(i, 6).Value, 2)  
Else  
End If  
Next i  
End Sub
```

Figura 40. Macro 4: Extracción de un número variable de dígitos para la dimensión del material

6.5 Macro 5: Extraer los dígitos tipo número de la cadena “dimensión” de cada material

Tras la ejecución de la Macro 4, se tiene una columna que contiene valores con 1, 2, 3 y 4 dígitos. Por inspección de la base de datos de materiales y de la Web, se ha observado que los materiales que vienen dados en metros tienen una dimensión menor a 10 m. Estos registros, tras la ejecución de la Macro 4, contendrán máximo 2 dígitos del tipo número, los cuales serán extraídos directamente.

Por otra parte, tras la ejecución de la macro anterior, los registros dados en milímetros contendrán 4 dígitos, entre los que se diferencian tres criterios; una serie de materiales tendrán 4 dígitos que serán todos números (materiales con una dimensión mayor a 1000 mm), otros vendrán dados con 3 dígitos del tipo número y la letra “m” al final (materiales con una dimensión mayores o iguales a 100mm y menores a 1000mm) y por último un tercer grupo que vendrán dados por 2 dígitos tipo número y otros dos de tipo letra, las cuales serán “mm” (materiales con una dimensión entre 25mm y 99mm).

Por tanto, ha sido necesario la programación de una macro multicriterio que, por una parte, compruebe los materiales que vienen dados en metros (2 dígitos) y los extraiga directamente, y otro criterio para procesar los materiales dados en milímetros, recorriéndose la cadena de texto dígito a dígito comprobando si se trata de un número o una letra, concatenándose los dígitos tipo número y excluyendo los dígitos tipo letra. De esta forma, se extraerá únicamente los números que hacen referencia a la dimensión del material, independientemente de la dimensión en la que vengan dados.

Hay que tener en cuenta que, tal y como se indicó anteriormente, existen una serie de registros que no tienen dimensión longitudinal ya que el coste está asociado a cada unidad de producto. La macro le atribuye a estos materiales la categoría "Each".

La Macro 5 se encuentra representada en la Figura 41.

```
Sub Extrae_Dimension_2()  
Dim Z As String  
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
  
For i = 2 To uf  
If Cells(i, 6) = "Each" Then  
Cells(i, 13).Value = "Each"  
Else  
cadena = Cells(i, 12)  
j = Len(cadena)  
If j > 1 Then  
For x = 1 To j  
If Mid(cadena, x, 1) = "m" Then  
Else  
Z = Z & Mid(cadena, x, 1)  
End If  
Next x  
Cells(i, 13).Value = Z  
Z = ""  
Else  
Cells(i, 13) = Cells(i, 12)  
End If  
End If  
Next i  
  
End Sub
```

Figura 41. Macro 5: Extraer los dígitos tipo número referidos a la dimensión de la preforma

6.6 Macro 6: Convertir a metros las dimensiones de cada material

Tras la ejecución de la Macro 5, se dispone de una columna en la base de datos donde se encuentran todas las dimensiones de los materiales mezcladas en metros y en milímetros. Sin embargo, es fácil establecer un criterio para separarlas, ya que, como se mencionó anteriormente, las preformas dadas en metros tienen una dimensión menor a 10 m, por lo que tendrán dos dígitos. Por otra parte, las dimensiones de las preformas dadas en milímetros son mayores 25 mm, por lo que no existe solape entre las dimensiones de las preformas más grandes dadas en metros y las más pequeñas dadas en milímetros.

Al no existir solape entre los valores máximo y mínimo de las preformas en metros y en milímetros, mediante la Macro 6 es posible separar ambas unidades, dividiéndose entre 1000 los registros mayores a 25 mm y manteniendo el número para materiales menores o iguales a 10 metros.

De esta manera, se habrá conseguido convertir todas las dimensiones de los materiales en metros. La Macro 6 se representa mediante la Figura 42.

6.7 Macro 7: Cálculo del coste de material en €/kg

Mediante la Macro 7 se realiza el cálculo del coste final de cada material en €/kg, siendo esta la unidad que se requiere para su uso posterior en el método DFMA.

Para dicho cálculo se emplean como *inputs* varias columnas de la base de datos, los cuales han sido obtenidas previamente por medio de las macros comentadas. Este puede visualizarse a partir de la macro ilustrada en la Figura 43.

```

Sub Dimension_en_m()
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
For i = 2 To uf
If Cells(i, 13).Value = "Each" Or Cells(i, 13).Value = "NO DIMENSION" Or
Cells(i, 13).Value = "1mx1m" Or Cells(i, 13).Value = "1,2mx1,2m" Then
Cells(i, 14).Value = Cells(i, 13).Value
ElseIf Cells(i, 13).Value = "2." Then
Cells(i, 14).Value = "2,5"
ElseIf Cells(i, 13).Value >= 25 Then
Cells(i, 14).Value = Cells(i, 13).Value / 1000
Else 'If Cells(x, 13).Value < 25 Then
Cells(i, 14).Value = Cells(i, 13).Value
End If
Next i
End Sub

```

Figura 42. Macro 6: Conversión a metros de la dimensión de cada material

```

Sub Calculo_Euros_por_kg()
Dim registro As Range
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
|
'Operación entre columnas para el cálculo del ratio €/kg
For Each registro In Range("N2:N" & uf)
If registro.Offset(0, -3).Value = "-" Then
registro.Offset(0, 1).Value = "No ratio kg/m"
Else
Select Case registro
Case "NO DIMENSION", "Each", "1mx1m", "1,2mx1,2m"
registro.Offset(0, 1).Value = "-?"
Case Else
registro.Offset(0, 1).Value = (registro.Offset(0, -4).Value / registro.Value)
* registro.Offset(0, -3).Value
End Select
End If
Next registro
End Sub

```

Figura 43. Macro 7: Cálculo del coste en €/kg

6.8 Macro 8: Clasificación del tipo de material

Por medio de la Macro 8, se ha clasificado el material del que está fabricado cada preforma. La macro para dicha clasificación se encuentra recogida en la Figura 44.

En total se han localizado 8 tipos distintos de materiales, los cuales son los siguientes:

- Aluminio
- Latón
- Cobre
- Bronce
- Plástico (Acetal y Nylon)
- Acero Inoxidable
- Acero Bajo en Carbono
- Otros

```

Sub Clasificacion_Materiales()
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

For i = 2 To uf

If InStr(Cells(i, 3).Value, "luminium") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Aluminium"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "rass") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Brass"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "ilver") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Silver Steel"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "ronze") > 0 Or _
InStr(Cells(i, 3).Value, "PBl") > 0 Or InStr(Cells(i, 3).Value, "SAE") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Bronze"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "opper") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Cooper"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "ild") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Mild Steel"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "lastic") > 0 Or InStr(Cells(i, 3).Value, "cetal")_
> 0 Or InStr(Cells(i, 3).Value, "ylon") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Plastic"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "inless") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Stainless Steel"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "Bar") > 0 Or InStr(Cells(i, 3).Value, "esh") > 0 Or_
InStr(Cells(i, 3).Value, "pport") > 0 Or InStr(Cells(i, 3).Value, "pacer") > 0 Then
Cells(i, 17).Value = "Reinforcements"
Else
End If
Next i
End Sub

```

Figura 44. Macro 8: Clasificación del material de cada preforma

Aunque mediante el proceso de Web Scraping se extrajo un campo que hacía alusión al nombre del material, tal y como puede observarse en la Figura 44, la macro clasifica el material basándose en la URL de la página de la que se extrajo el registro. Esto se debe a que en el campo “Name” se recoge información que en algunos registros no está completa, o no sigue un patrón homogéneo que facilite su clasificación, por lo que la forma más robusta de extraer el material del que está fabricada la preforma es basarse en la URL mencionada, la cual sí sigue un patrón homogéneo para todos los materiales.

La Macro 8 comprobará la existencia de una serie de palabras clave dentro de la URL mencionada y en función de la que se encuentre se le asignará un material u otro.

6.9 Macro 9: Clasificación del tipo de preforma

A partir de la Macro 9, de manera similar a la Macro 8, se han clasificado los tipos de preformas que pueden encontrarse dentro de la base de datos. Estas se han clasificado en función de su sección transversal.

Al igual que en el caso anterior, la clasificación del tipo de preforma se ha realizado a partir del texto contenido en la URL de la que provienen los datos. En dicha URL se recoge la información completa y necesaria para esta clasificación.

Por tanto, tal y como puede observarse en la Figura 45, se han creado un total de 17 criterios diferentes dentro de la macro, tantos como tipos de preformas existen en la página seleccionada.

A modo de guía para el usuario, los 17 tipos de preformas que se recogen en la Web del proveedor Metals4U se representan en la Tabla 7.

```

Sub Calculo_shapes()
Dim i As Long: Dim uf As Long

ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

For i = 2 To uf
If InStr(Cells(i, 3).Value, "ngle") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Angle"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "oval") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Oval"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "hannel") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Channel"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "-t-") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "T"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "-z-") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Z"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "beam") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "RSJ"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "exagon") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Hexagon"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "lining") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Lining"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "reinforcing-bar") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Reinforcing"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "esh") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Mesh"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "wire") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Wire"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "box") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Box"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "oulding") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Half-Round Moulding"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "quare") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Square"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "ube") > 0 Or _
InStr(Cells(i, 3).Value, "ipe") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Tube"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "flat") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Flat"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "sheet") > 0 Or _
InStr(Cells(i, 3).Value, "plate") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Sheet"
ElseIf InStr(Cells(i, 3).Value, "round") > 0 Or _
InStr(Cells(i, 3).Value, "silver") > 0 Then
Cells(i, 18).Value = "Round"
Else
End If
Next i
End Sub

```

Figura 45. Macro 9: Clasificación del tipo de preforma

Tabla 7. Tipos de preformas

#	Tipo de Preforma / Perfil	Representación
1	Barra Angular / Angle	
2	Barra en forma de U/Channel	
3	Tubo Cuadrado/ Box Section	
4	Barra Circular/ Round Bar	
5	Tubo Circular/Tubería	
6	Barra Cuadrada/ Square	
7	Barra en I/ RSJ	
8	Barra en T	
9	Barra en Z	
10	Barra Hexagonal/ Hexagon	
11	Tubo Ovular/ Oval	
12	Barra Semiesférica/ Half-Round Moulding	
13	Pletina/ Flat Bar	
14	Barra Corrugada/ Reinforcing Bar	
15	Sheet/ Chapa	
16	Malla/ Mesh	
17	Cable/Wire	

6.10 Macro 10: Clasificación de los tipos de barra

A partir de las 17 preformas representadas en la Tabla 7, se han creado varios grupos para clasificar de manera genérica varios tipos de preformas. Es decir, las 17 preformas que suministra éste proveedor se han clasificado en tres grandes grupos, los cuales son:

- **Barras:** Grupo formado por todas las barras, independientemente de su sección transversal.

- Chapas: Grupo formado por todas las chapas o chapones. Estos serán los materiales clasificados mediante la Macro 9 con la categoría “Sheet”.
- Otros: En este grupo se recogen las preformas que no encajan en ninguno de los tres grupos anteriores, como por ejemplo las mallas, los cables u otro tipo de sujeciones.

Además, se ha creado un grupo aún más genérico que los grupos “Chapas” y “Barras”. Este grupo se conoce como “Tocho”, e incluye los tres anteriores (Barras, chapas y otros).

El grupo “Tocho” se ha creado para dar la visión más genérica posible del coste de material, ya que éste grupo dependerá únicamente del tipo de material, y no del tipo de preforma.

También se ha creado una subcategoría dentro del grupo “Barras” con el objetivo de separar los elementos de éste tipo pero que presentan diferencias apreciables en su morfología. Entonces, dentro del grupo “Barras” se encuentran:

- Barra Maciza: Sección Cuadrada, circular, semicircular, hexagonal, barra corrugada y pletina.
- Barra Hueca: Tubo cuadrado, circular y ovalar.
- Barra Perfilada: Sección angular, canal, RSJ, T y Z.

En la Figura 46, se representa de manera detallada los grupos y subgrupos que se acaban de comentar:

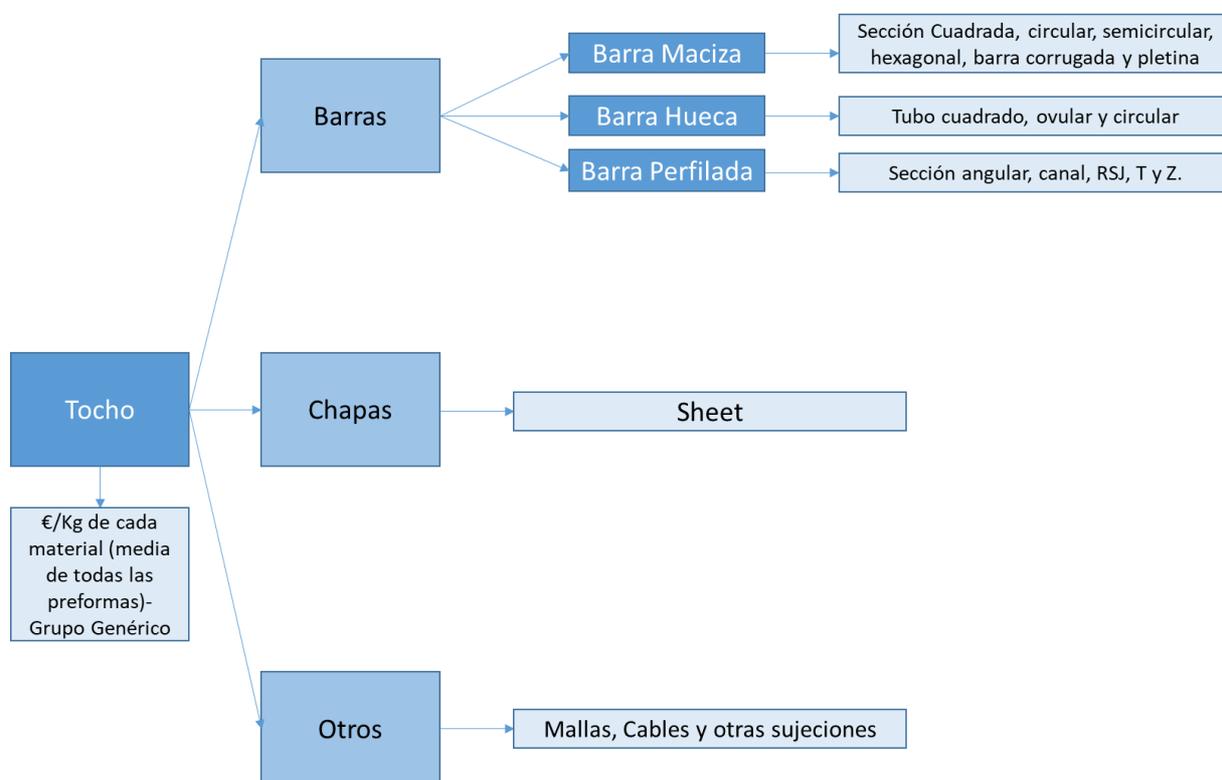


Figura 46. Grupos y Subgrupos de preformas creados para la consulta de costes

El objetivo para el que se han creado esos grupos y subgrupos ha sido proporcionar al usuario una visión del coste por kilogramo desde un tipo de preforma específica (Por ejemplo: Barra de aluminio con sección transversal tipo U) hasta niveles más genéricos (Por ejemplo: Coste medio por kg de una barra perfilada de aluminio), o incluso a una escala más general, por ejemplo, el coste por kilogramo del aluminio o de una barra de aluminio.

El código de la macro para la clasificación de los elementos que contiene el grupo “Barras” se basa en los criterios especificados en la Figura 46, donde los tipos de barras existentes pueden ser “Barra Hueca”, “Barra Maciza” o “Barra Perfilada”.

De manera análoga a las macros anteriores, estos scripts se basan en la URL de la página de la que fue extraído el material, ya que éste busca la palabra atribuida a partir de la Macro 9 a cada registro y en función de ella catalogar el tipo de barra del que se trate.

Entonces, el código empleado para realizar la clasificación mencionada se recoge en la Figura 47.

```

Sub Clas_Tipo_Barra()
Dim Barra As Range: Dim uf As Long
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

For Each Barra In Range("R2:R" & uf)
Select Case Barra
Case "Angle", "Channel", "RSJ", "Lining", "T", "Z"
Barra.Offset(0, 1).Value = "Profiles Bar"
Case "Square", "Flat", "Round", "Half-Round Moulding", "Hexagon" _
, "Reinforcing"
Barra.Offset(0, 1).Value = "Solid Bar"
Case "Box", "Tube", "Oval"
Barra.Offset(0, 1).Value = "Hollow Bar"
Case Else
End Select
Next Barra
End Sub

```

Figura 47. Macro 10: Clasificación del tipo de barras

La ventaja de este tipo de programación es que se pueden abrir nuevos grupos o subgrupos en cualquier momento sin excesivo cambio en el código, así como nuevos criterios de clasificación.

6.11 Cálculo de costes para los distintos grupos de materiales y preformas usando VBA

Hasta éste punto, se han elaborado 10 macros cuyo objetivo ha sido “preparar” los datos extraídos mediante el proceso de Web Scraping. Tras este proceso de extracción, los datos poseían un formato con el que no era posible su operación, clasificación y representación, ya que no eran más que diversas cadenas de texto con información de interés contenidas en determinadas posiciones de las mismas.

De esta manera, mediante las macros anteriores ha sido posible extraer dicha información de interés, para posteriormente clasificar y establecer el formato que permite su gestión, siendo posible, como se verá a continuación, la consecución de objetivo general del presente TFM, el cual se basa en el cálculo actualizado y automático de costes de materiales y preformas, para su posterior comparación y uso.

Entonces, en el presente apartado se expondrán una serie de macros adicionales a partir de las cuales se realizará el cálculo del coste por kilogramo del material, preforma o grupo requerido por el usuario.

Es preciso indicar que el coste del material se trata del coste medio por kilogramo del elemento que se está evaluando. Por ejemplo, si se requiere determinar el coste de una barra de acero con sección en forma de T, el coste proporcionado por la aplicación será el coste medio por kilogramo de todas las barras de acero con sección transversal en forma de T. Este criterio ha sido aplicado para el resto de materiales y grupos.

Al tratarse de valores medios, es muy importante tener en cuenta que la muestra puede contener registros “excepcionales”. Es decir, preformas que poseen unas características de acabado superiores o tienen una morfología diferente al resto de las preformas de la muestra de datos (por ejemplo, una chapa de aluminio antideslizante). Este tipo de preformas son más caras, por lo que aumentará el precio medio del grupo de materiales que las contenga.

6.11.1 Macro 11: Cálculo del coste en función del material y la tipología de la preforma

Mediante ésta macro se determina el coste medio por kilogramo en función del material y el tipo de preforma. Es decir, se basa en el nivel más bajo de todas las categorías ilustradas en la Figura 46.

Por tanto, a partir de la Macro 11 será posible determinar el coste de las 17 tipos de preformas de la Tabla 7, y para todos los materiales existentes, los cuales fueron representados en el apartado 6.8.

El código utilizado para realizar éste cálculo se representa en la Figura 48.

Como puede observarse en la Figura 48, el usuario indica por pantalla el material y el tipo de preforma para el que se quiere conocer el coste medio por kilogramo. Entonces, la macro almacena esos criterios y realiza el cálculo del coste contemplando los registros de la base de datos que cumplan los criterios especificados.

```

Sub Calculo_Media_por_Mat_y_Forma()
Dim SumaEuros As Long: Dim NumeroRegistros As Long
Dim uf As Long

'Se almacena en dos variables el material y el tipo de
'preforma indicado por el usuario en la aplicación
ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
Material = Cells(3, 4).Value
Forma = Cells(5, 4).Value

'Se calcula la media del coste de todos los registros que
'cumplan los criterios especificados por el usuario
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
SumaEuros = Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range("O2:O" & uf), _
Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("R2:R" & uf), Forma)
NumeroRegistros = Application.WorksheetFunction.CountIfs(Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("R2:R" & uf), Forma)

ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
If NumeroRegistros = 0 Then
Cells(7, 4).Value = "No Existe"
Else
Cells(7, 4).Value = SumaEuros / NumeroRegistros
End If
End Sub

```

Figura 48. Macro 11: Cálculo del coste medio por kilogramo en función del material y el tipo de preforma

6.11.2 Macro 12: Cálculo del coste en función del material y el tipo de barra

Mediante ésta macro se determina el coste medio por kilogramo de los 3 tipos de barra (maciza, hueca y perfilada), clasificadas mediante la Macro 10, y para todos los materiales existentes. Es decir, se basa en el 2º nivel de los ilustrados en la Figura 46.

El código utilizado para realizar éste cálculo se representa en la Figura 49.

De manera análoga a la Macro 11, el usuario debe indicar por pantalla el material y el tipo de barra para el que se pretende calcular el coste medio. Entonces, la macro se ejecutará automáticamente y lo presentará por pantalla.

6.11.3 Macro 13: Cálculo del coste en función del material para los grupos “Barras” y “Chapas”

A partir de la Macro 13, es posible calcular el coste medio por kilogramo de dos grupos de materiales genéricos. Concretamente, se trata del coste de una chapa o una barra en función del material del que están fabricadas, e independientemente de su sección transversal.

Es decir, se basa en el primer nivel representado en la Figura 46 tras el grupo “Tocho”. El código utilizado para realizar éste cálculo se representa en la Figura 50.

En este caso, el usuario debe indicar por pantalla únicamente el material para el que se pretende calcular el coste medio.

```

Sub Calculo_Media_Mat_Bar()
Dim SumaEuros As Long: Dim NumeroRegistros As Long
Dim uf As Long

'Se almacena en dos variables el material y el tipo de
'elemento barra indicado por el usuario en la aplicación
ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
Material = Cells(15, 4).Value
Barra = Cells(17, 4).Value

'Se calcula la media del coste de todos los registros que
'cumplan los criterios especificados por el usuario
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
SumaEuros = Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range _
("O2:O" & uf), Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("S2:S" _
& uf), Barra)
NumeroRegistros = Application.WorksheetFunction.CountIfs( _
Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("S2:S" & uf), Barra)

ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
If NumeroRegistros = 0 Then
Cells(19, 4).Value = "No Existe"
Else
Cells(19, 4).Value = SumaEuros / NumeroRegistros
End If
End Sub

```

Figura 49. Macro 12: Cálculo del coste por kilogramo en función del material y el tipo de barra

```

Sub Calculo_Media_Mat_ElemBar()
Dim uf As Long
Dim ElemBar(2): Dim ElementoPlano(0): Dim SumaEuros(1): Dim NumReg(1)

ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
Material = Cells(27, 4).Value
ElemBar(0) = "Profiles Bar"
ElemBar(1) = "Hollow Bar"
ElemBar(2) = "Solid Bar"
ElementoPlano(0) = "Sheet"

ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

For i = 0 To 1
If i = 0 Then
For j = 0 To 2
SumaEuros(i) = SumaEuros(i) + Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range _
("O2:O" & uf), Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("S2:S" & uf), ElemBar(j))
NumReg(i) = NumReg(i) + Application.WorksheetFunction.CountIfs(Range("Q2:Q" _
& uf), Material, Range("S2:S" & uf), ElemBar(j))
Next j
Else
SumaEuros(i) = Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range("O2:O" & uf), _
Range("Q2:Q" & uf), Material, Range("R2:R" & uf), ElementoPlano(0))
NumReg(i) = Application.WorksheetFunction.CountIfs(Range("Q2:Q" & uf), _
Material, Range("R2:R" & uf), ElementoPlano(0))
End If
Next i

ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select
For x = 0 To 1
If NumReg(x) = 0 Then
If x = 0 Then
Cells(29, 4).Value = "No Existe"
Else
Cells(31, 4).Value = "No Existe"
End If
Else
If x = 0 Then
Cells(29, 4).Value = SumaEuros(x) / NumReg(x)
Else
Cells(31, 4).Value = SumaEuros(x) / NumReg(x)
End If
End If
Next x
End Sub

```

Figura 50. Macro 13: Cálculo del coste por kilogramo de los grupos "Barras" y "Chapas"

6.11.4 Macro 14: Cálculo del coste en función del tipo de material (Grupo “Tocho”)

A partir de la Macro 14, se calcula el coste medio por kilogramo de un determinado material, independientemente de la tipología de la preforma.

Por tanto, la macro se basa en el nivel más genérico de los grupos representados en la Figura 46, el cual se corresponde con el grupo “Tocho”.

El código utilizado para realizar éste cálculo se representa en la Figura 51.

En este caso, el usuario debe indicar por pantalla únicamente el material para el que se pretende calcular el coste medio.

```
Sub Calculo_Media_Mat_Tocho()  
'Variables  
Dim SumaEuros As Long: Dim NumeroRegistros As Long  
Dim uf As Long  
  
'Se almacena en una variable el material indicado por  
' el usuario en la aplicación  
ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select  
Material = Cells(39, 4).Value  
  
'Se calcula la media del coste de todos los registros que  
'cumplan los criterios especificados por el usuario  
ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
SumaEuros = Application.WorksheetFunction.SumIfs( _  
Range("O2:O" & uf), Range("Q2:Q" & uf), Material)  
NumeroRegistros = Application.WorksheetFunction. _  
CountIfs(Range("Q2:Q" & uf), Material)  
  
ThisWorkbook.Worksheets("MEDIAS").Select  
If NumeroRegistros = 0 Then  
Cells(41, 4).Value = "No Existe"  
Else  
Cells(41, 4).Value = SumaEuros / NumeroRegistros  
End If  
End Sub
```

Figura 51. Macro 14: Cálculo del coste por kilogramo de una preforma genérica en función del material

Como resultado de las 4 macros representadas en este apartado (Figura 48, Figura 49, Figura 50 y Figura 51), se ha procesado una pequeña aplicación que permite al usuario introducir por pantalla el tipo de material y tipología de preforma para el que pretende estimar el coste medio por kilogramo. Después de dicha especificación, las macros se ejecutarán automáticamente y el coste será mostrado por pantalla.

La aplicación se representa en la Figura 52, en la cual aparecen los costes de algunas combinaciones de preformas y materiales realizadas por el usuario en el momento de la captura.

Esta aplicación está pensada para que pueda ser ampliada o modificada fácilmente a través del código VBA, lo cual simplifica el proceso en el futuro cuando se pretendan representar un rango más amplio de materiales, o se establezca otra clasificación de materiales y preformas.

Adicionalmente, los códigos son adaptables para estudios similares en los que se estudien otros parámetros diferentes al coste de material, sólo sería necesario el reajuste de los criterios que actualmente contienen las macros representadas.

Media €/kg por Material y Preforma	
Seleccionar un Material	Cooper
Seleccionar una Preforma	Sheet
Precio medio por Kg (€/Kg)	8,0

Media €/kg por Material y Tipo de Barra	
Seleccionar un Material	Plastic
Seleccionar un Tipo de Barra	Hollow Bar
Precio medio por Kg (€/Kg)	82,9

Media €/kg por Material y Elemento Barra + Elemento Plano	
Seleccionar un Material	Mild Steel
Precio Elemento Barra-(€/Kg)	5,6
Precio Elemento Plano-(€/Kg)	4,2

Media €/kg por Material y Elemento Tocho	
Seleccionar un Material	Plastic
Precio Elemento Tocho-(€/Kg)	44,3

Figura 52. Aplicación para el cálculo del coste en función de los distintos grupos de materiales.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

“Hay tres clases de mentiras: La mentira, la maldita mentira y las estadísticas”

- Mark Twain -

En este capítulo se van a presentar los resultados obtenidos tras la ejecución de la herramienta elaborada, a partir de la cual ha sido posible la obtención de una base de datos con diversas tipologías de preformas y materiales. Por medio de esa base de datos, se calculan los costes medios por kilogramos de las diferentes combinaciones de material y preforma.

A modo recordatorio, en los dos capítulos anteriores se ha expuesto la metodología empleada para el diseño y gestión de dicha base de datos, con el fin de procesar los datos y llevarlos a un estado en el que sea posible operar con ellos.

EN el presente capítulo se van a representar una serie de tablas y gráficas que recogen los costes medios por kilogramo de las distintas combinaciones de materiales y preformas. Para facilitar su comprensión, dichos costes se encuentran desglosados en múltiples apartados según los criterios de clasificación para cada grupo (Ver apartado 6.11 y Figura 46).

De esta forma, existirán 4 tablas:

- Coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma.
- Costes medio por kilogramo en función del material y el tipo de barra.
- Coste medio por kilogramo dependiendo del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”.
- Costes medio por kilogramo en función del material e independientemente de la preforma.

Adicionalmente, al final del capítulo se incluirán varias gráficas donde se representarán los costes para los diferentes grupos, con el objetivo de discutirlos posteriormente y extraer algunas conclusiones a partir de las mismas.

7.1 Coste medio por kilogramo en función del material y de la tipología de la preforma

En éste apartado se tabulan los costes medios por kilogramo de los materiales existentes en la base de datos, teniendo en cuenta todos los tipos de preforma. Dichos costes están recogidos en la Tabla 8.

Para la tabulación de estos resultados se ha empleado una macro, cuyo código se proporciona en el Anexo A4.1.

Tabla 8. Coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma

#	Tipo	Representación	Aluminio	Cobre	Bronce	Acero bajo en carbono	Acero Inoxidable	Latón	Plástico
1	Barra Angular		19,37	0,00	0,00	5,13	45,63	69,67	0,00
2	Barra en U		22,16	0,00	0,00	5,28	37,59	40,26	0,00
3	Barra en I/ RSJ		28,22	0,00	0,00	2,36	0,00	0,00	0,00
4	Barra en T		18,49	0,00	0,00	7,19	30,91	37,83	0,00
5	Barra en Z		25,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Barra Cuadrada		23,10	0,00	0,00	5,54	23,24	41,77	0,00
7	Pletina		18,28	22,27	0,00	5,43	28,79	56,81	0,00
8	Barra Circular		31,69	27,75	20,29	6,41	46,19	53,11	37,25
9	Barra Semiesférica		25,97	0,00	0,00	2,86	141,65	64,51	0,00
10	Barra Hexagonal		75,26	0,00	0,00	7,12	17,00	18,27	0,00
11	Barra Corrugada		0,00	0,00	0,00	6,82	13,33	0,00	0,00
12	Tubo Cuadrado		17,52	0,00	0,00	4,18	30,91	83,07	0,00
13	Tubo Circular		22,77	0,00	18,11	6,55	27,96	39,37	82,90
14	Tubo Ovular		0,00	0,00	0,00	4,69	44,26	0,00	0,00
15	Chapa		11,52	7,87	0,00	4,17	14,79	5,11	10,99
16	Malla		0,00	0,00	0,00	14,09	0,00	0,00	0,00
17	Cable		0,00	0,00	0,00	4,91	6,87	0,00	0,00

Es preciso tener en cuenta que en las celdas de la Tabla 8, así como en el resto de tablas del presente capítulo, cuyo valores sean iguales a cero, indican que no existe esa combinación de material-preforma en la base de datos, y por tanto tampoco en la Web de la que se han extraído los datos.

Una de las mejoras futuras podría estar enfocada en la determinación y búsqueda de dichos valores, con el objetivo de completar ésta y las sucesivas tablas.

7.2 Coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra

De manera análoga al apartado anterior, en esta sección se representan los costes medios por kilogramo desglosados en función del tipo de barra (Ver Figura 46). Dichos costes se encuentran registrados en la Tabla 9.

Para la tabulación de estos resultados se ha empleado una macro, cuyo código se proporciona en el Anexo A4.2.

De la misma manera que ocurría en la Tabla 8, el motivo por el que existen campos en la Tabla 9 con valores iguales a cero es la inexistencia de ese material y tipo de barra dentro de la base de datos, y en consecuencia en la Web de donde se extrajeron los datos.

Tabla 9. Coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra

#	Tipo	Representación	Aluminio	Cobre	Bronce	Acero al carbono	Acero inoxidable	Latón	Plástico
Barras Perfiladas	Barra angular		20,48	0,00	0,00	4,53	42,55	63,01	0,00
	Barra en U								
	Barra en I/ RSJ								
	Barra en T								
	Barra en Z								
Barras Macizas	Barra cuadrada		26,54	24,67	20,29	5,75	36,67	45,30	37,25
	Pletina								
	Barra circular								
	Barra semicircular								
	Barra hexagonal								
	Barra corrugada								
Barras Huecas	Tubo cuadrado		20,72	0,00	18,11	5,58	28,86	63,20	82,90
	Tubo circular								
	Tubo Ovular								

7.3 Coste medio por kilogramo en función del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”

En este apartado se representan los costes medios de material para los grupos generales “Barras” y “Chapas”, atendiendo a la clasificación de la Figura 46. Dichos costes se encuentran registrados en la Tabla 10.

Para la tabulación de estos resultados se ha empleado una macro en VBA, cuyo código se encuentra recogido en el Anexo A4.3.

7.4 Coste medio por kilogramo en función del material e independientemente de la tipología de la preforma (“Tocho”)

Por último, en ésta sección se recoge el coste medio por kilogramo de cada material, independientemente de la tipología de la preforma. Se trata del grupo más genérico de todos los creados (“Tocho”).

Básicamente, se ha hecho una media de precios de todas las preformas existentes para un mismo material y se ha tabulado el resultado. Este cálculo se ha realizado para los 7 materiales existentes en la base de datos. Se considera que esta información podría ser de interés para el lector a la hora de seleccionar de una primera tirada el material más adecuado de la pieza.

Estos costes medios se encuentran registrados en la Tabla 11. De manera similar a los apartados anteriores, para la tabulación de los resultados se ha empleado una macro en VBA, cuyo código se ha incluido en el Anexo A4.4.

Tabla 10. Coste medio por kilogramo en función del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”

#	Tipo	Representación	Aluminio	Cobre	Bronce	Acero Bajo en Carbono	Acero Inoxidable	Latón	Plástico
"Barras"	Barra angular		23,39	24,67	18,79	5,56	34,90	49,86	45,77
	Barra en U								
	Barra en I/ RSJ								
	Barra en T								
	Barra en Z								
	Barra cuadrada								
	Pletina								
	Barra Circular								
	Barra semicircular								
	Barra hexagonal								
	Barra corrugada								
	Tubo Cuadrado								
	Tubo Circular								
Tubo Ovular									
"Chapas"	Chapa/Chapón		11,52	7,87	0,00	7,81	12,41	5,11	10,99

Tabla 11. Coste medio por kilogramo de materiales independientemente del tipo de preforma

Material	Aluminio	Cobre	Bronce	Acero Bajo en Carbono	Acero Inoxidable	Latón	Plástico
€/Kg	22,81	23,23	18,79	5,69	33,89	48,01	44,28

7.5 Representación de los costes de material para los grupos definidos

En esta sección, como complemento a las tablas ilustradas anteriormente en el presente capítulo, se incluyen varias gráficas para representar los costes obtenidos. Se recogerán todos los materiales, preformas y grupos de preformas definidos.

Mediante éstas figuras, será posible estudiar la diferencia de costes entre un material y otro, así como lo caro o barato que puede llegar a ser una preforma frente a otra. La disponibilidad de éste dato es de gran relevancia a la hora de fabricar una pieza, ya que como se expuso en anteriores capítulos el coste de material supone en torno el 50-75% del precio final de la misma, hecho que justifica la importancia de contar con éste tipo de representaciones.

El orden de las gráficas será el mismo que el seguido por las tablas anteriores. Se comenzará con la representación de los costes de todas las preformas, continuándose con los precios de los tipos de barras. Entonces, se ilustrarán los precios de los grupos “Barras” y “Chapas”, y se concluirá con el coste medio de material independientemente del tipo de preforma (“Tocho”).

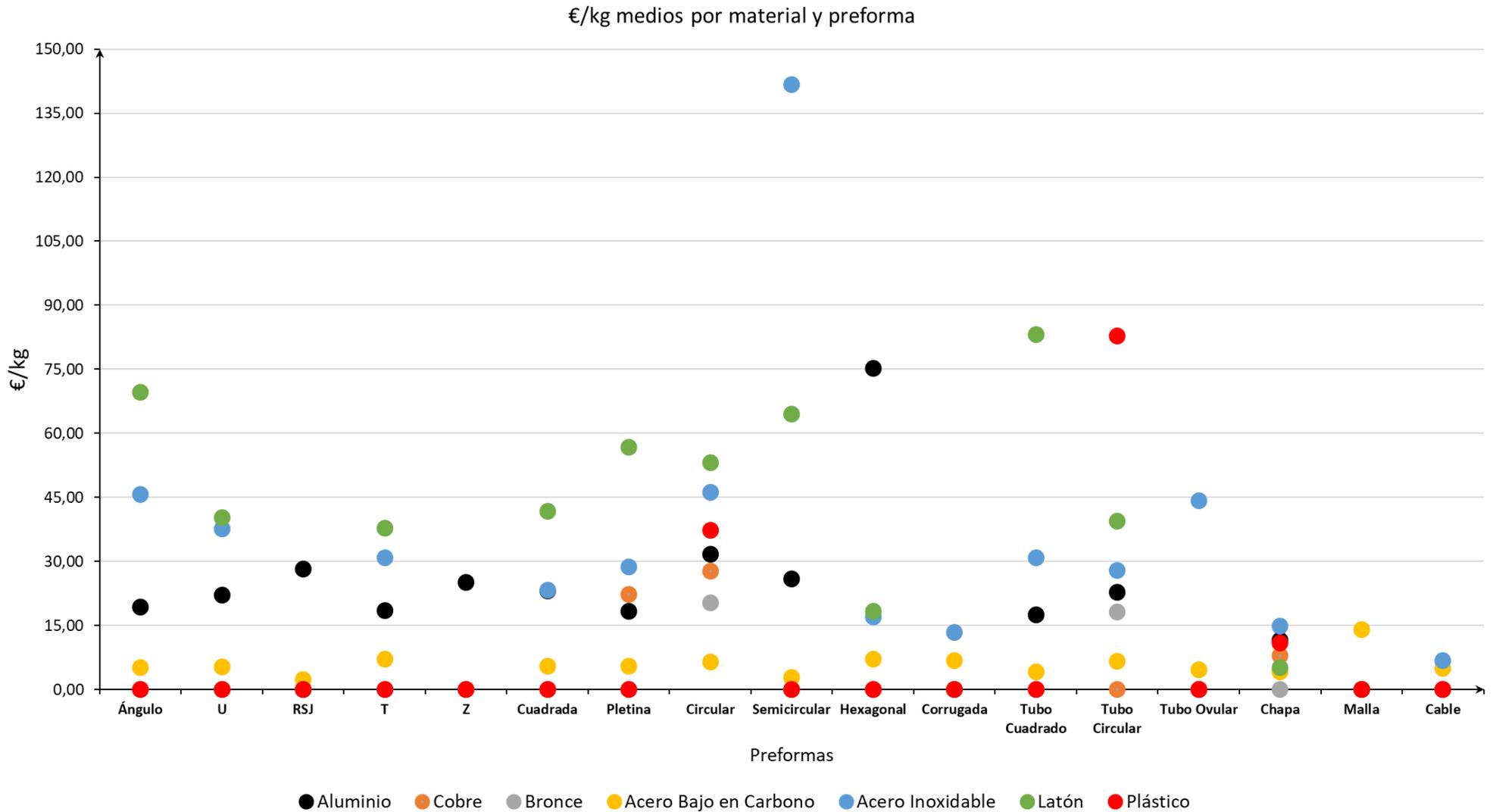


Figura 53. Precio medio de materiales en función de la tipología de la preforma

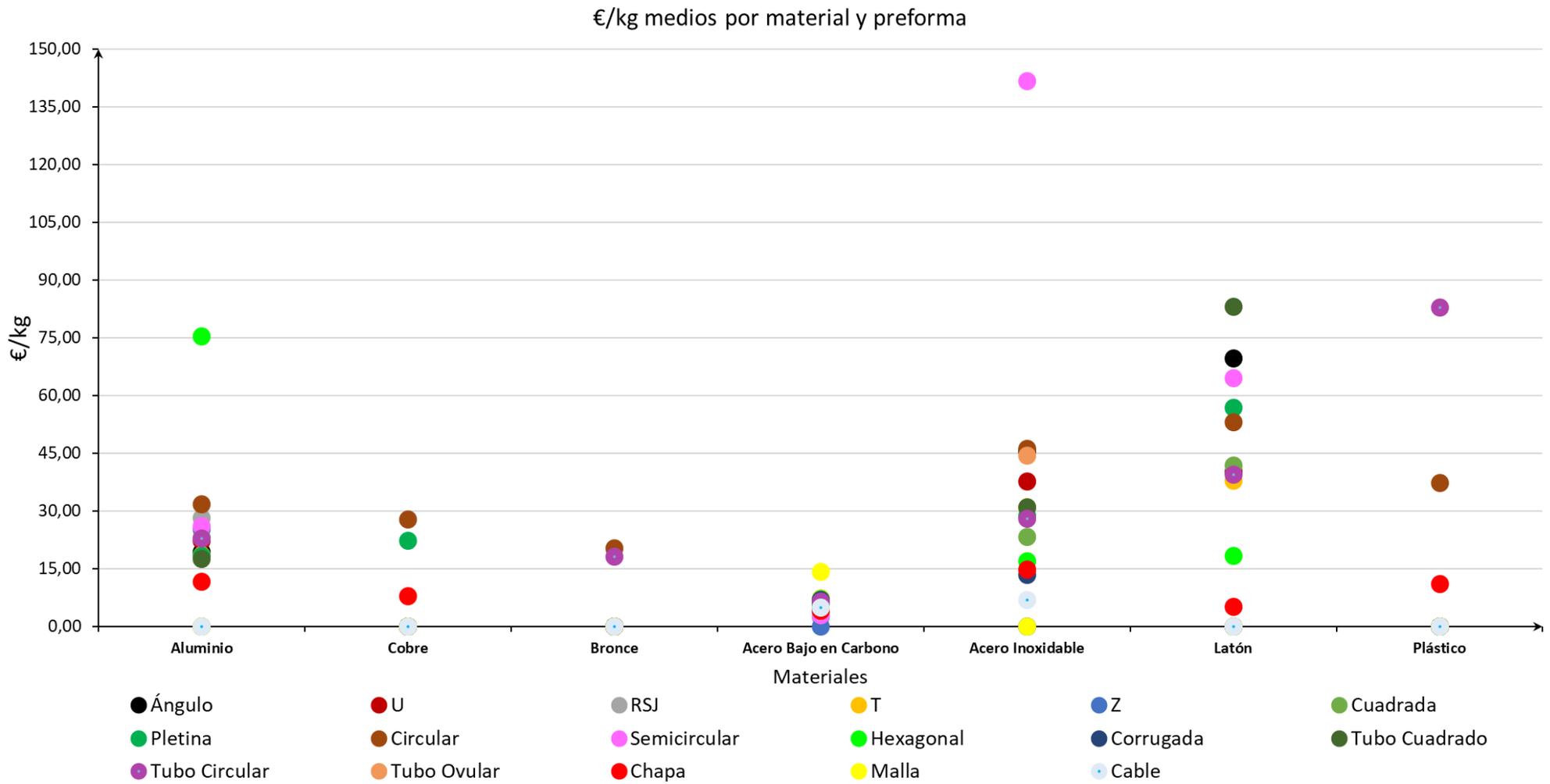


Figura 54. Precio medio de las preformas en función del material

En la Figura 53, se representa el cambio de precios de material dependiendo de la tipología de la preforma. Se diferencian varios fenómenos en ésta grafica, de los cuales se va a hablar a continuación.

En primer lugar, existen una serie de preformas que no están disponibles para todos los materiales, por lo que para este conjunto de preformas no se pueden establecer conclusiones a priori. Por ejemplo, este es el caso de las barras Z, que están disponible únicamente en aluminio. También ocurre en el caso de las barras corrugadas, existiendo únicamente en aceros, lo cual es lógico ya que se conoce que las barras corrugadas son fabricadas en su mayoría de éste material. Adicionalmente, se han incluido registros referidos a mallas, preforma que no suele ser muy utilizada como pieza de trabajo en procesos de fabricación, pero que sin embargo el proveedor comercializa, encontrándose de esta forma recogidas dentro de la base de datos tras el proceso de Web Scraping y que podrían ser de utilidad para futuras consultas.

Otro hecho curioso es el precio medio de las pletinas de latón, siendo aproximadamente el doble que el resto de materiales para los que existe esta preforma. Tras analizar la causa de este incremento del precio, se concluye que el motivo está ligado al pulido que trae aplicado este tipo de material y preforma, al ser ampliamente utilizado en bisutería y elementos decorativos.

Ademas de esto, en la Figura 53 puede observarse como los tubos fabricados con plástico cuestan el doble que los tubos hechos de acero, aluminio o bronce. El motivo consiste en que los tubos de nylon suelen estar fabricados por extrusión, método que es más caro que otros procesos convencionales.

Sin embargo, probablemente el precio de material que llame más la atención de la Figura 53 y Figura 54 es el de la barra de sección semicircular fabricada de acero inoxidable, cuyo se eleva a 141 €/kg. Se han consultado otros fabricantes de este tipo de preforma, siendo los precios considerablemente más bajos. Además, el ratio kg/m que proporciona la página Metals4U para esta preforma no parece muy preciso, ya que para todos los elementos de éste tipo, dicho ratio es aproximadamente 0,15. De esta forma, se concluye que probablemente se trate de un error en el diseño de la página, al introducir el ratio. Por tanto, se puede decir que el método Web Scraping programado para la extracción masiva de datos permite detectar este tipo de errores en la Web y en consecuencia permite cuestionar los materiales que se están comprando.

En cuanto al aluminio, un precio resaltable tras el presente estudio es el de las barras con sección transversal en forma de hexágono, ya que éste es considerablemente mayor al resto de materiales para la misma sección transversal. El motivo por el que las barras hexagonales de aluminio son más caras radica en que han sido obtenidas mediante estampado en frio, proceso que trata de obtener elementos de formas definidas mediante una chapa y adecuadas estampa. El estampado en frio se clasifica en tres ramas principales; corte, doblado y embutido [14].

Otro precio resaltable en las dos figuras anteriores es el del tubo cuadrado fabricado de latón, ya el coste de esta preforma supera en más del doble al precio del resto de tubos cuadrados fabricados de otros materiales. Realizando una inspección de la pagina Metals4U, puede observarse como existen algunos tubos de latón dotados de un acabado superficial de pulido brillante, proceso de acabado que se traduce en un importante ascenso del precio para este tipo de material y preforma. No todos los tubos de latón de este proveedor vienen dotados del dicho acabado superficial. Sin embargo, el hecho de que existan diversos tubos cuadrados de latón que sí lo traen, hacen que la media de esta combinación aumente considerablemente.

Adicionalmente a ello, en la Figura 54 se observa como el precio medio de las preformas de latón y acero inoxidable varían de manera considerable entre ellas, esta gran desviación en los precios se debe a que el latón es empleado desde fines decorativos hasta en el sector de la marina, de ahí el método empleado para su obtención y los requerimientos superficiales que se deben cumplir, justificando la gran variación de precios posibles entre preformas en función para lo que se dedique en cada caso.

Por otra parte, la diferencia de precios entre los tubos ovulares de acero bajo en carbono y acero inoxidable es debido a los acabados superficiales de una y otra preforma, atendiendo a los fines para los que van a ser utilizados ambos materiales. De esta forma, el acabado atribuido a los tubos de acero bajo en carbono consiste en una pasada de taladrado, mientras que el acabado para los tubos ovulares de acero inoxidable consiste en un pulido, hecho que hace que aumente el precio en el orden indicado.

Por ultimo en cuanto a las Figura 53 y Figura 54, se observa como los precios medios de las chapas de todos los materiales varian en un rango reducido, entre 5,11 – 14,79 €/kg aproximadamente, este hecho podría explicarse debido al reducido rango de espesores de chapa que distribuye el proveedor seleccionado, encontrándose éste entre 0,9 mm y 6 mm. Probablemente, si se fabricasen chapas en un mayor rango de espesores, las diferencias de precios serían más notorias.

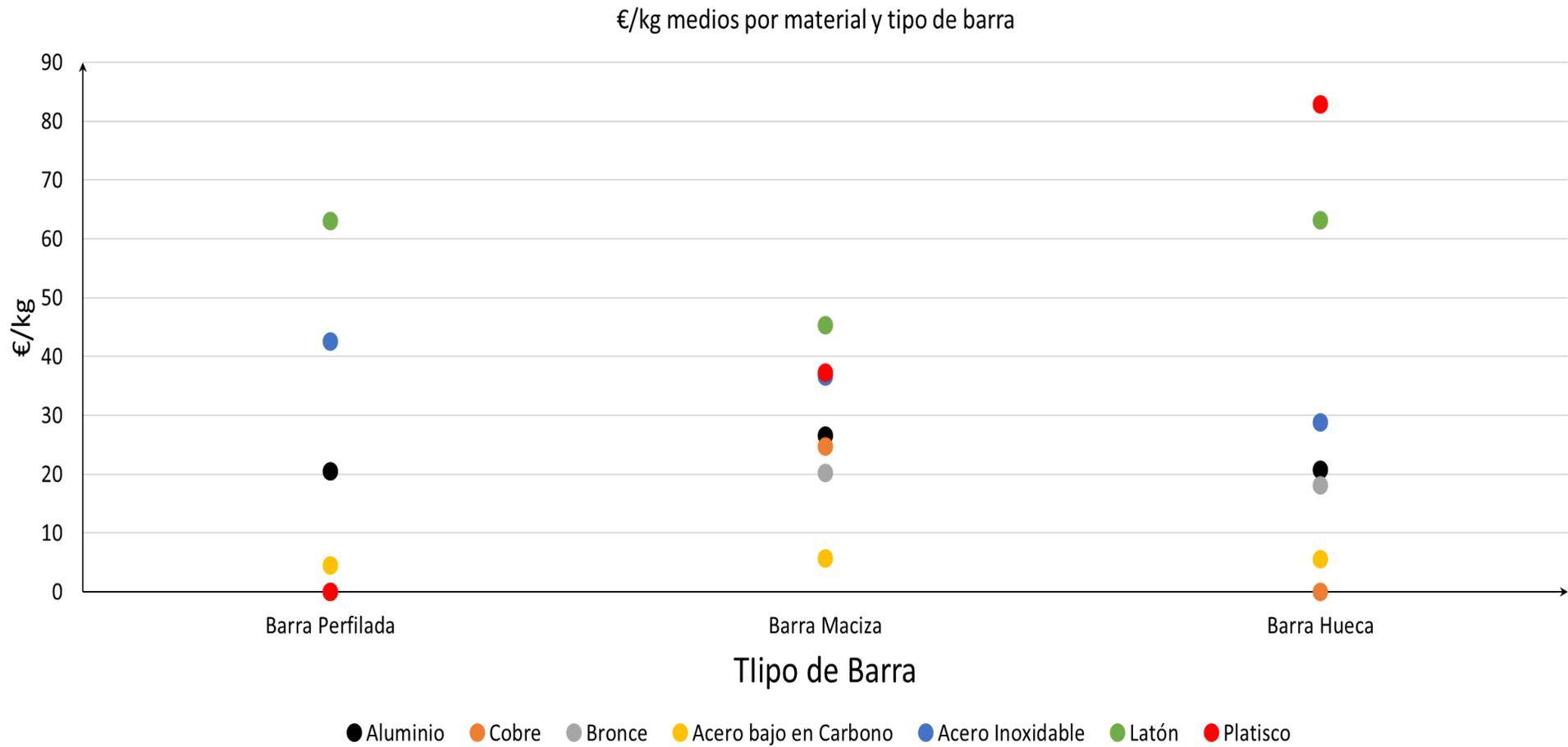


Figura 55. Distribución de precios de material en función del tipo de barra

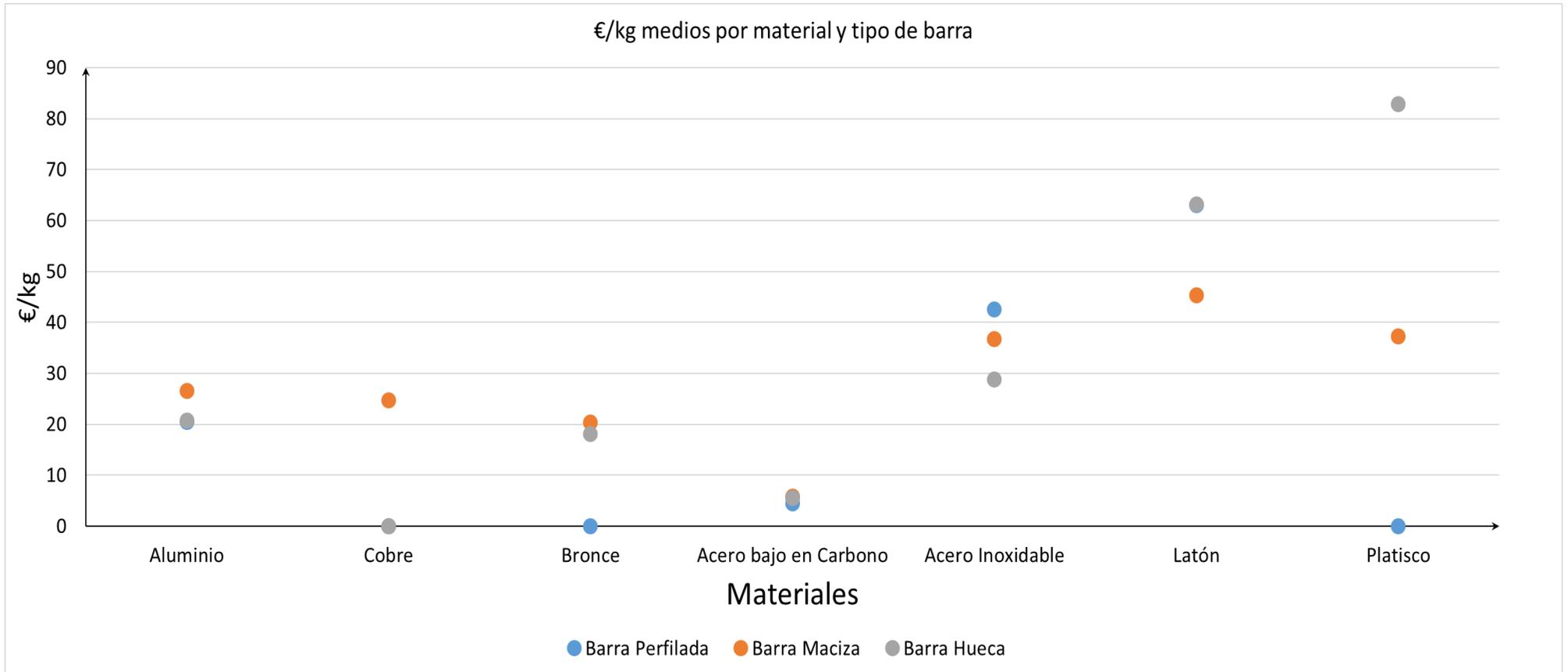


Figura 56. Distribución de precios del tipo de barra en función del material

Como se puede observar en la Figura 55 el latón es el material más caro para los tres tipos de barras representados, excepto para las barras huecas, que es el plástico. Nuevamente, en línea con lo comentado en la discusión de las Figura 53 y Figura 54, esto se debe al tratamiento superficial atribuido por el fabricante a las barras de latón, los cuales suelen ser materiales empleados para fines decorativos.

Sin embargo, llama la atención como las barras huecas de plástico son más caras que la de latón, mientras que ambos materiales tienen un precio parecido para las barras macizas. Tras analizar el motivo por el que el proveedor vende las barras huecas de plástico más caras que el resto, se ha observado que estas son fabricadas en dos tipos de plásticos; nylon y acetal, donde las barras huecas de nylon introducen un elevado incremento al coste medio, cosa que, en principio, puede ser contraintuitivo ya que el acetal suele ser más caro que el nylon. Entonces, este efecto podría deberse a que el método de obtención de las barras huecas de nylon sea más caro que el del acetal.

Además, en la Figura 56 se observa como los tres tipos de barras de acero bajo en carbono tienen un precio medio similar, lo cual resulta lógico al inspeccionar en la página que todas estas preformas están compuestas de un acero del mismo grado y que las diferencias existentes podrían estar relacionadas con el método de obtención de las mismas.

En la Figura 56, otro hecho curioso es el que se observa entre las barras perfiladas y huecas, cuyos precios medios, para los materiales que existen, son muy parecidos. Concretamente, dicha similitud se encuentra para barras huecas y perfiladas de aluminio, acero bajo en carbono, acero inoxidable y latón. El motivo de ello podría radicar en que una barra hueca podría considerarse como un tipo de barra perfilada, por lo que los métodos de fabricación entre una y otra preforma para el mismo material podrían ser muy similares, y con ello sus precios.

Por último en la Figura 56, se aprecia un fenómeno lógico para las barras de acero inoxidable, latón y plástico, donde se observa como el coste en términos medios de las barras huecas y perfiladas son mayores que el de las macizas. La diferencia de precios se debe al tiempo requerido para la obtención de un tipo y otro de barra, así como el acabado superficial atribuido en cada caso.

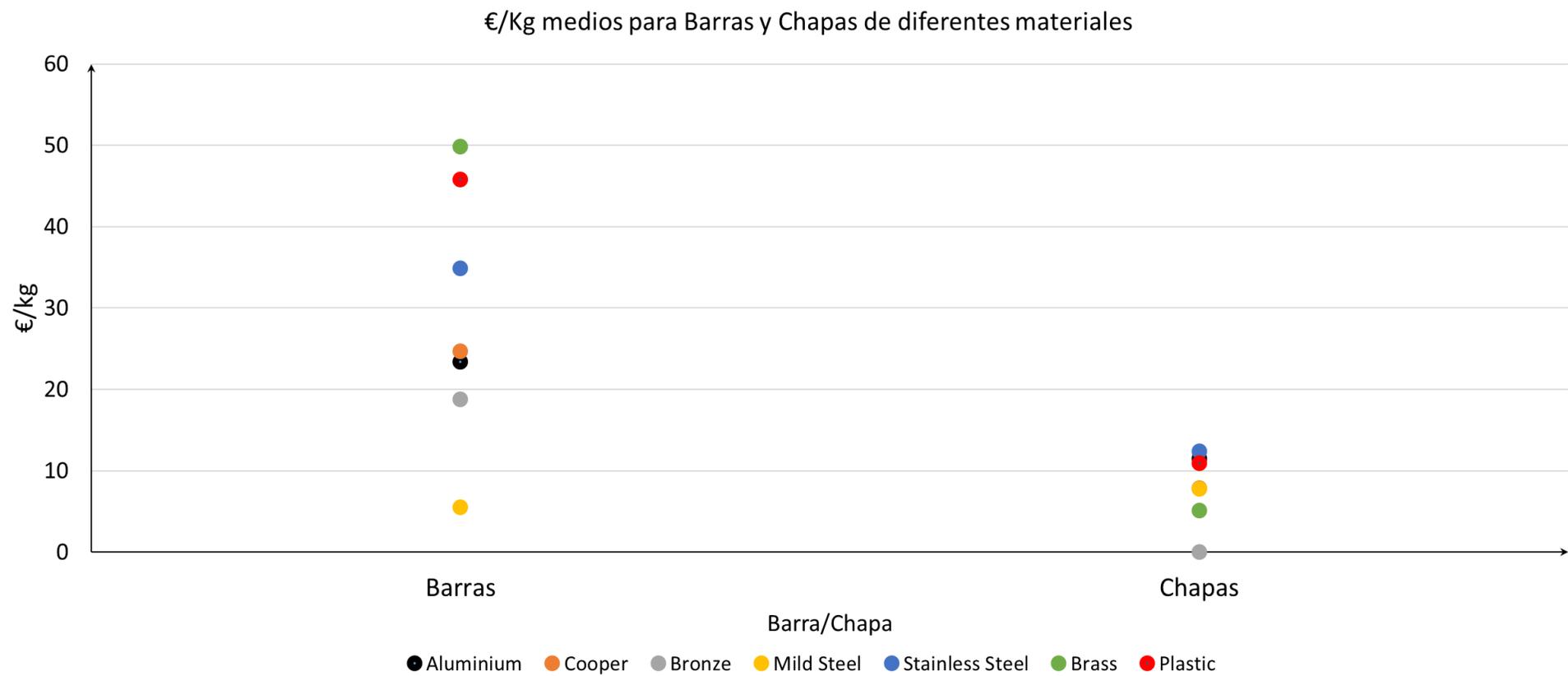


Figura 57. Distribución de precios de material para barras y chapas

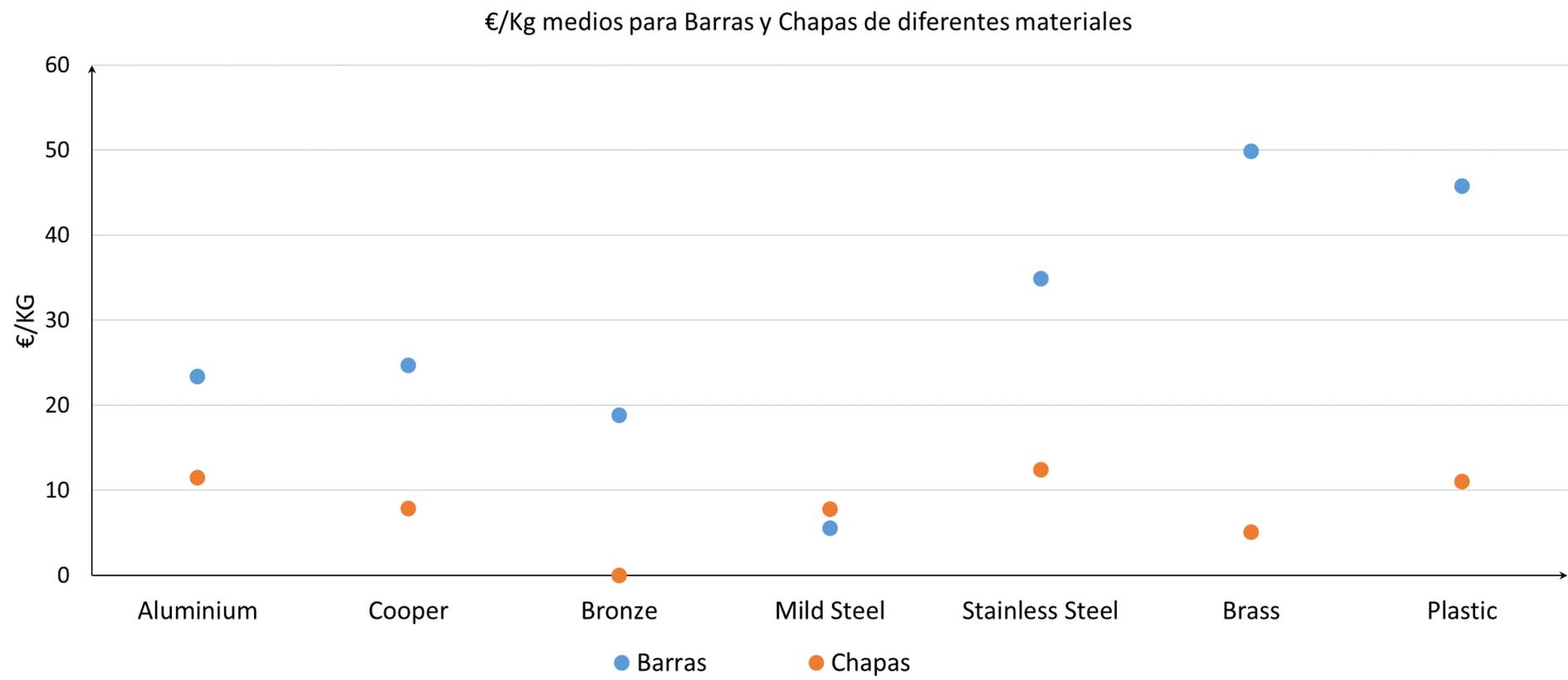


Figura 58. Distribución de precios de barras y chapas en función del material

Como se puede observar en la Figura 58, las barras son más caras que las chapas para todos los materiales existentes excepto para el acero bajo en carbono.

Concretamente, las chapas de aluminio, cobre, bronce, latón y plástico son más caras que las chapas fabricadas de estos mismos materiales. El motivo de ello radica en que dichas barras se fabrican por extrusión, ya que se requieren perfiles específicos de sección transversal. En cambio, las chapas de estos mismos materiales han sido fabricadas por laminación, y debido a ello son más baratas.

Sin embargo, las chapas de acero bajo en carbono tienen un precio un poco más reducido que las barras de este mismo material, ya que en ambos casos la preforma ha sido extraída por laminación.

El laminado es un proceso de deformación volumétrica en el que se reduce el espesor inicial del material trabajo, mediante las fuerzas de compresión que ejercen dos rodillos sobre esta. Los rodillos giran en sentidos opuestos para que fluya el material entre ellos, ejerciendo fuerzas de compresión y de cizallamiento, originadas por el rozamiento que se produce entre los rodillos y el metal. Los procesos de laminado se usan para la producción de grandes cantidades de productos estándar (láminas, placas, etc).

Por su parte, el proceso de extrusión es un proceso usado para crear objetos con un perfil de sección transversal fija donde un material es empujado a través de un dado con la sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso sobre otros procesos de fabricación son su capacidad de crear secciones transversales muy complejas y trabajar con materiales frágiles (quebradizos) ya que el material sólo se somete a esfuerzos de compresión y de fricción. También forma partes con un excelente acabado superficial. Sin embargo, es un proceso más costoso que el de laminado [15].

Por otra parte, de manera general el cobre es un material más caro que el aluminio. Sin embargo, en la Figura 58 se observa como el coste de ambos materiales son muy parecidos. El motivo de esta similitud radica en que los costes representados tanto en esta como en el resto de representaciones son precios medios de todas las preformas de cada grupo. Inspeccionando las chapas de aluminio, se encuentran varias chapas antideslizantes de éste material, cuyo proceso de fabricación y acabado es más costoso que el de una chapa normal. Debido a esos registros el precio medio de una chapa de aluminio es un poco más alto al de una chapa de cobre. Sin embargo, si no se tienen en cuenta esos registros “excepcionales” el valor medio de una chapa de aluminio sería de 6 €/kg, precio más reducido que los 8 €/kg de las chapas de cobre.

De manera análoga, en la Figura 58 se observa una similitud entre los precios de las barras de aluminio y cobre. En este caso, el motivo radica en que el precio medio de las barras de aluminio se ve incrementado considerablemente debido a la existencia de registros de barras con acabado de pulido brillante. Este hecho, tal y como ocurría en el ejemplo de las chapas de aluminio y cobre, introduce un incremento importante al coste medio de éste grupo.

Similarmente a lo que se hizo con las chapas, si no se consideran las barras con acabado de pulido brillante, el precio medio de las barras de aluminio desciende considerablemente, costando aproximadamente 10 €/kg menos que las barras de cobre.

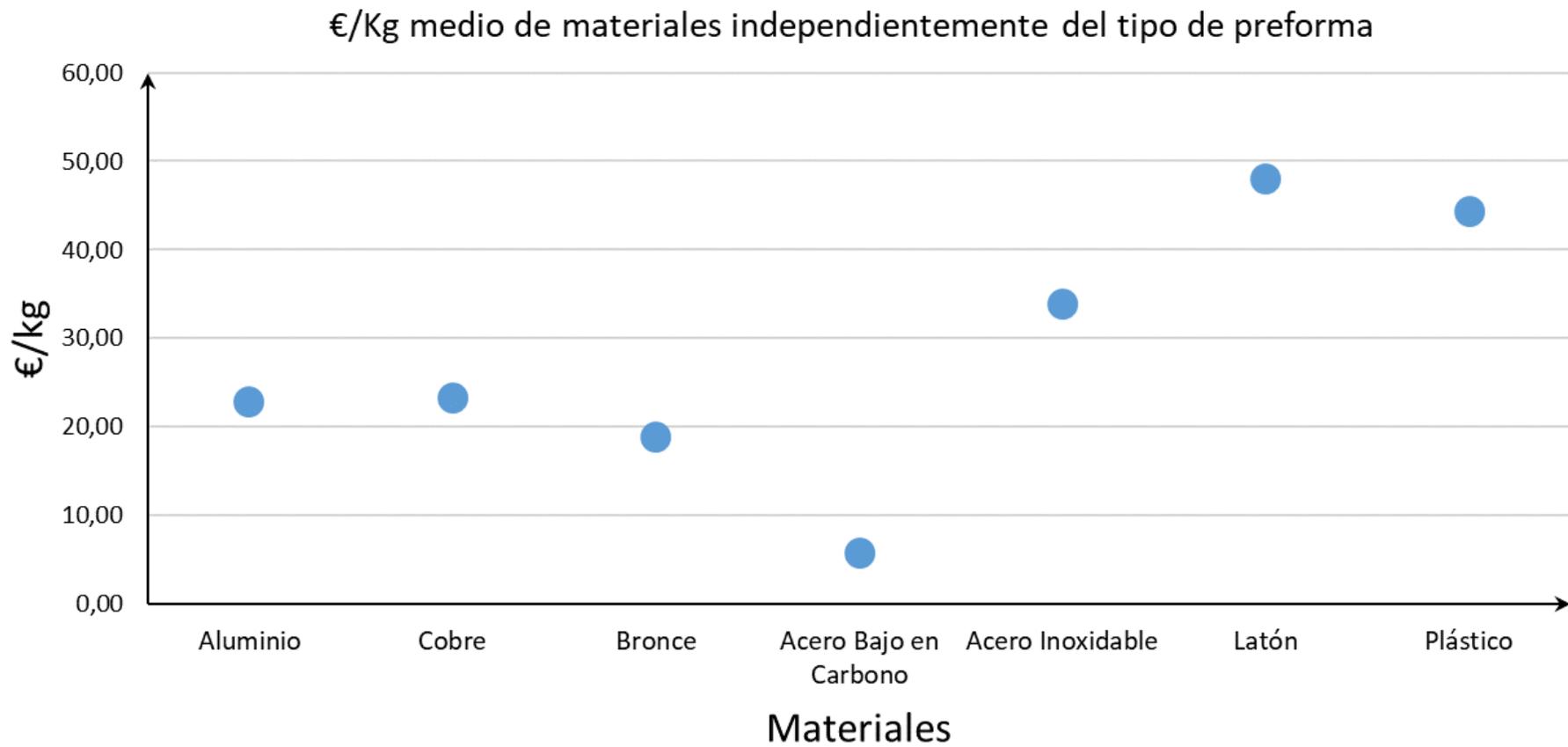


Figura 59. Distribución de precios medios de material independientemente de la preforma

En la Figura 59, se proporciona la distribución del precio medio por kilogramo de cada material, independientemente de la tipología de la preforma.

Es preciso tener en cuenta que se han extraído una gran cantidad de registros y que a partir de ellos se han creado una serie de categorías y subcategorías para calcular el coste medio de cada una. Esto implica que pueden encontrarse precios medios que están fuertemente repercutidos, al alza o a la baja, por ciertas preformas dentro de una categoría, las cuales han sido obtenidas a través de algún método costoso o que han sido dotados de características superficiales superiores al resto, y que asciendan considerablemente el precio medio de la categoría.

Como se comentó anteriormente, esto es justo lo que ocurre por ejemplo con los métodos de obtención de las barras y las chapas para distintos materiales (extrusión o laminación), o lo que ocurre con la similitud de precios entre materiales de cobre y aluminio debido a la existencia de chapas antideslizantes muchos más caras que ascienden el precio medio.

En esta línea, aunque los precios obtenidos a través del método presentado en este trabajo están actualizados y bien agrupados, podría ser interesante en el futuro categorizar nuevos grupos para diferenciar los registros que introducen una importante variación en el precio medio de una categoría, con el objetivo de hacer más precisos los valores proporcionados por la base de datos creada.

Más allá de esto, puede observarse como el material más barato de todos los estudiados es el acero bajo en carbono, hecho que parece lógico al considerar lo extendido que se encuentra este material en el mercado y la gran aplicabilidad de éste material.

Paralelamente a ello, también parece lógico que los materiales más caros, en términos medios, sean el plástico y el latón, ya que los procesos de obtención y acabado superficial de los mismos son normalmente más costosos que para otro tipo de materiales.

A continuación, a través de la Tabla 12 se presenta una comparación entre los precios proporcionados por Boothroyd –Dewhurst en su libro frente a los que se han obtenido en el presente TFM. Existen materiales estudiados en éste trabajo que no aparecen en la tabla de Boothroyd-Dewhurst. Estos materiales son; plástico, cobre y bronce. Al contrario de esto, existen algunos materiales en la tabla de Boothroyd-Dewhurst que no se han estudiado en éste trabajo, como es el caso del titanio, níquel, magnesio y zinq. Se propondrá como una de las líneas futuras de trabajo, el análisis y búsqueda de estos últimos materiales, con el objetivo de completar la base de datos obtenida.

Tabla 12. Comparación entre los precios (€/kg) proporcionados por Boothroyd y los extraídos tras el proceso de Web Scraping

Material	Barra		Chapa		Tubo	
	Calculado TFM	Boothroyd	Calculado TFM	Boothroyd	Calculado TFM	Boothroyd
Acero al Carbono	5,75	1,26	4,17	1,53	6,55	2,75
Acero Inoxidable	36,67	4,49	12,41	7,48	27,96	9,84
Aluminio	26,56	5,78	7,97	5,84	17,48	13,77
Latón	45,30	3,65	5,11	5,69	39,37	5,69

De manera general, tal y como se observa en la Tabla 12, existe una diferencia considerable entre los precios obtenidos en el presente estudio y los proporcionados por Boothroyd-Dewhurst para algunos materiales y preformas. Estas diferencias pueden ser debidas a varios factores.

En primer lugar, los costes que proporciona Boothroyd-Dewhurst se encuentran actualizados considerando el incremento de precios al consumo medio de EEUU desde el año 1990 -2018, mientras que los costes calculados en el presente trabajo son los precios de mercado actualizados a septiembre de 2020.

Otro de los motivos que justifica esta diferencia de precios, es una de las casuísticas comentadas anteriormente, los precios obtenidos en el trabajo son costes medios por kilogramo sin tener en cuenta el proceso mediante el que se han obtenido las preformas, agrupando dentro de la misma categoría algunas preformas con acabados más costosos o con una morfología ligeramente diferente al resto. Esto repercute en el precio medio de un grupo haciendo que se encuentren diferencias entre los costes obtenidos y los proporcionados por Boothroyd –Dewhurst.

En esta línea, tal y como se comprobó anteriormente con el ejemplo del cobre y el aluminio, ambos aparentemente de costes similares según este estudio, al excluir de la media tanto las barras de aluminio con

acabado superficial de pulido brillante como las chapas de aluminio antideslizantes, dichos precios medios descenderían considerablemente haciendo al cobre un material más caro que el aluminio.

Podría extenderse este criterio a los demás grupos de preformas y materiales, obteniéndose de ésta forma diferencias menores entre los costes proporcionados por Boothroyd-Dewhurst y los calculados en el trabajo. Sin embargo, esto significaría la preparación de la base de datos para que los resultados coincidan con los de Boothroyd-Dewhurst, intentándose más bien lo contrario, tratar de buscar las diferencias entre los valores que éste aportó respecto a los que actualmente figuran en el mercado.

Mas allá de todo esto, lo más llamativo de la Tabla 12 es que todos los precios de material obtenidos en éste estudio son mayores a los proporcionados por Boothroyd-Dewhurst, lo que lleva a concluir que el mercado de materiales para la fabricación se ha encarecido.

Además, la Tabla 12 muestra como los precios medios de las barras, chapas y tubos de acero bajo en carbono son actualmente el doble más altos que los indicados por Boothroyd-Dewhurst.

Por otra parte, los precios medios obtenidos para las chapas y los tubos de aluminio son relativamente parecidos, donde el coste en ambos casos ha sufrido un incremento de 3€/kg aproximadamente. Se han analizado los registros de la base de datos con los que se obtienen estos precios medios, y se ha observado que no existen entre ellos preformas “excepcionales” que introduzcan una desviación considerable en la media.

En cuanto a las chapas de latón, se aprecia como el precio obtenido en el estudio es muy similar al que figura en el libro de Boothroyd-Dewhurst, por lo que concluye que estos precios son fiables para su uso en el método.

En términos generales, el tipo de preforma para la que existe una menor desviación entre precio medio obtenido y el teórico es la chapa. Por el contrario, para la preforma que se observa una mayor desviación entre ambos precios son las barras.

En cambio, los casos para los que se observa una mayor diferencia entre el precio obtenido y el proporcionado por Boothroyd-Dewhurst son las barras de latón y de acero inoxidable. Ambas medias vienen dadas por los precios de una alta cantidad de registros, donde la muestra está compuesta por preformas con distintos acabados y morfologías que desvían los precios respecto a los de Boothroyd-Dewhurst. Probablemente si se hiciera un barrido de esas muestras eliminando de ellas los registros “excepcionales” ambos precios serían mas parecidos.

Por último, es preciso indicar que los precios obtenidos en éste estudio se basan únicamente en un proveedor. Podría ser un buen ejercicio realizar el mismo estudio para diferentes proveedores, para posteriormente compararlos o incluso obtener unos precios totales de materiales que tenga en cuenta los valores de todos los proveedores estudiados. Aumentaría así la precisión de los costes obtenidos.

8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

“Hasta la verdad sufre cuando es sometida a un análisis excesivo”

- Frank Herbert -

En el presente capítulo se recogen los objetivos , conclusiones y líneas futuras.

8.1 Conclusiones

A continuación, se recapitulan los objetivos, conclusiones más importantes y posibles trabajos futuros del presente trabajo.

Los objetivos propuestos al inicio del trabajo eran:

- Búsqueda Web en el mercado de materiales de fuentes fiables de datos.
- Actualizar los precios de materiales según el mercado real para su comparación con los empleados por Boothroyd-Dewhurst en su libro.
- Utilización de técnicas de Web Scraping para sistematizar los datos y facilitar su análisis.

En base a estos objetivos, se han extraído las siguientes conclusiones:

- Se ha realizado una búsqueda Web profunda del mercado de materiales, seleccionándose el proveedor Metals4U (Gran Bretaña y España) por ser el que ofrece datos más actualizados.
- Se ha programado un método de Web Scraping para obtener datos de manera masiva y almacenarlos ordenadamente.
- El método de Web Scraping permite detectar errores sobre datos proporcionados en las páginas Web.
- La tipología de la preforma influye decisivamente en su coste, especialmente para el latón y el acero inoxidable, no pudiéndose hablar de un “precio del material” a secas.
- Cuando existen registros “excepcionales”, estos afectan sensiblemente el precio medio de las preformas de un material. Este fenómeno hace parecer al aluminio, que en general es más barato que el cobre, tan caro como este último.
- Las barras de latón son las más caras de todos los tipos de barras, excepto para las barras huecas que resulta ser el plástico.
- En general, las barras son más caras que las chapas para todos los materiales analizados.

- Todos los precios obtenidos son mayores a los proporcionados por Boothroyd-Dewhurst en su libro tras ajustarlos por inflación y cambio de moneda.
- La preforma cuyos precios menos se desvían de las proporcionadas por Boothroyd-Dewhurst son las chapas.
- El precio medio de las chapas, las barras y los tubos de acero bajo en carbono han incrementado aproximadamente el doble respecto a los proporcionados por Boothroyd-Dewhurst.
- El precio medio de los tubos y las chapas de aluminio son parecidos a los de Boothroyd-Dewhurst.
- El coste medio de las chapas de latón en la actualidad es casi idéntico al que proporciona Boothroyd-Dewhurst.

8.2 Líneas Futuras

Como en cualquier Proyecto que se realice, existen diversas líneas futuras para continuar, mejorar y completar el mismo. En este caso, las líneas futuras propuestas son las siguientes:

- Aplicar el método de Web Scraping presentado en el trabajo para el estudio de otros parámetros influyentes en la estimación del coste de una pieza por DFMA.
- Ampliar la base de datos elaborada en el presente trabajo para que recoja todos los costes de material que Boothroyd-Dewhurst presenta en su tabla. Estos materiales son; Acero de herramienta, níquel, magnesio, zinc y titanio.
- Realizar un barrido de la base de datos elaborada para separar en otros grupos las preformas con características “excepcionales”, ya sea en términos de acabado superficial o morfología.
- Realizar el mismo estudio utilizando como fuente otros proveedores, para posteriormente comparar los precios, o incluso extraer unos costes de materiales que tenga en cuenta los resultados de todos los proveedores.

9 REFERENCIAS

- [1] J. Gabriel Arreola, O. Lopez Cano, S. Z. Christopher, and A. Santibañez Torres, *Material Didáctico para la enseñanza del Diseño para el Ensamblaje*. Universidad de México. Facultad de Ingeniería. Mexico, 2018.
- [2] M. Castro Perez, “Programación en VBA-Excel del método estimativo de costes de fabricación por DFMA. TFM. Ingeniería Aeronáutica.” Sevilla, 2016.
- [3] “Contero and Villa, 2005, citado por Villanueva P. 2007].” .
- [4] “PLASTICS DESIGN FORUM OCTOBER, 1993.” .
- [5] “DFMA. Fundación PRODITEC. Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). ISBN:978-84-613-6850-1.” Asturias.
- [6] H. Paz Bernales, “Metodología DFMA de rediseño del conjunto estructural electrosoldado de una máquina,” Universidad Politécnica de Cataluña, 2015.
- [7] R. Bogue, *Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications*. Assembly Automation, . .
- [8] L. Bohorquez Jimenez, “Estimación de Coste de Mecanizado según DFMA. Apuntes de la asignatura Procesos de Fabricación Aeronáutica. Master en Ingeniería Aeronáutica. Escuela Superior de Ingeniería.” Sevilla.
- [9] G. Boothroyd, *Product Design for Manufacture and Assembly*. Toledo, 2002.
- [10] “Web Scraping. Anticipation e-Marketing.” [Online]. Available: <https://www.antevenio.com/blog/2019/03/que-es-el-web-scraping-y-para-que-sirve/>.
- [11] “Sitelabs- Introducción al Web Scraping.” [Online]. Available: <https://sitelabs.es/web-scraping-introduccion-y-herramientas/>.
- [12] “Google Chrome Site. Extensions. Free Web Scraping Documentation.”
- [13] “Metals4U: UK Online Metal, Aluminium & Steel Suppliers.” .
- [14] R. E. Hummel, *Understanding the history of materials means understanding the history of mankind and civilization*. New York, 2004.
- [15] S. Rynoso, *Los Polímeros Plásticos: Los Conceptos Básicos que debes conocer durante y al salir de la Universidad*. 2019.
- [16] P. P. Olivas *et al.*, “Aplicaciones de Programas de Ingeniería Inversa al Análisis de una Bomba para Cultivo de Camarón.” .
- [17] M. P. P. Villanueva, “Integración de Sistemas inteligentes a la metodología Diseño para el Ensamble, en el desarrollo e innovación de productos,” 2007.
- [18] I. Iturbe Arellano, “Análisis del ensamble de una estructura metálica para proponer alternativas mediante DFA. Tesis de Licenciatura.,” 2010.
- [19] D. Shetty and A. Ali, “A new design tool for DFA/DFD based on rating factors. Assembly Automation, 35(4), 348-357.” 2015.
- [20] S. Soh, S. Ong, and A. Nee, *Design for disassembly for remanufacturing: methodology and technology*. Procedia CIRP. 2014.
- [21] H. Paz Bernales, “Metodología DFMA de rediseño del conjunto estructural electrosoldado de una máquina.” 29016.
- [22] C. Vila, “Red Temática de Docencia Iberoamericana en Ingeniería Concurrente RETDIC. Universidad Jaume I. Departamento de Ingeniería Mecánica. Castellón.” .
- [23] “Modulo III: Mecanizado por arranque de virtua. Tema 8: Torneado-Proceso. Tecnología Mecánica. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco.” .

- [24] H. Galbarro Rodríguez, “Ingemecánica. Capítulo nº38. Fundamentos de los Procesos de Mecanizado.” 2020.
- [25] J. J. Ramirez del Toro, “Estudio de la influencia del proceso de rectificado en la integridad superficial de piezas aeronáuticas,” Universidad de Cadiz, 2017.

Anexos

Anexos	77
A1. Casos de estudio, avances y mejoras del método de Boothroyd-Dewhurst.....	79
A1.1. Aplicaciones de la Metodología de Boothroyd-Dewhurst.....	79
A1.1.1 <i>DFA aplicado a equipos de calibración.....</i>	<i>79</i>
A1.1.2 <i>DFA aplicado en el rediseño de una bomba axial acuícola.....</i>	<i>80</i>
A1.2. Mejora de los métodos existentes	81
A1.2.1 <i>Desarrollo de un sistema artificial para optimizar DFMA.....</i>	<i>81</i>
A1.2.2 <i>Diseño para ensamblaje de piezas grandes y pesadas</i>	<i>82</i>
A1.2.3 <i>Diseño de una herramienta de DFMA basada en factores de puntuacion.....</i>	<i>82</i>
A1.2.4 <i>Diseño del ensamblaje y desensamblaje para remanufaración.....</i>	<i>83</i>
A1.2.5 <i>Otras contribuciones.....</i>	<i>84</i>
A2. Selección de materiales y procesos para la aplicación del método DFMA	85
A2.1. Variables del proceso y requerimientos generales.....	85
A2.2. Selección del proceso y de los materiales para la fabricación	86
A2.2.1 <i>Compatibilidad material-proceso de fabricación (DFM).....</i>	<i>86</i>
A2.2.2 <i>Compatibilidad geometría-proceso de fabricación</i>	<i>86</i>
A2.2.3 <i>Compatibilidad material – proceso de ensamblaje (DFA)</i>	<i>87</i>
A2.2.4 <i>Compatibilidad Tolerancias-Proceso.....</i>	<i>88</i>
A2.3. Metodología sistemática para la selección de procesos y materiales	88
A2.3.1 <i>Selección primaria de procesos-materiales</i>	<i>90</i>
A2.3.2 <i>Selector de secuencia de procesos experto.....</i>	<i>91</i>
A2.3.3 <i>Clasificación económica de procesos</i>	<i>92</i>
A3. Procesos de mecanizado.....	95
A3.1. Mecanizado con filos definidos.....	95
A3.1.1 <i>Mecanizado con herramintas de filo único.....</i>	<i>95</i>
A3.1.2 <i>Mecanizado con herramientas de varios puntos</i>	<i>97</i>
A3.2. Mecanizado con abrasivos	99
A4. Macros para la tabulación de costes de material en función del grupo	101
A4.1. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma	101
A4.2. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra	102
A4.3. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y de los grupos “Barras” y “Chapas”	103
A4.4. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material e independientemente de la tipología de la preforma (“Tocho”)	104

A1. Casos de estudio, avances y mejoras del método de Boothroyd-Dewhurst

La revisión bibliográfica presentada en ésta sección se dividirá en 2 partes, la primera parte corresponde a casos de estudio donde se aplicó la metodología Boothroyd – Dewhurst a distintos productos, para observar el procedimiento de aplicación del análisis, y estudiar los resultados obtenidos. En la segunda parte se muestran avances y mejoras acerca de la metodología Boothroyd – Dewhurst, atendiendo las limitantes que ésta tiene, para así evidenciar algunos de los desarrollos actuales a cerca del DFA.

A1.1. Aplicaciones de la Metodología de Boothroyd-Dewhurst

En los siguientes subapartados se proporcionan algunas aplicaciones de la metodología de Boothroyd-Dewhurst.

A1.1.1 DFA aplicado a equipos de calibración

El objetivo de esta aplicación fue aplicar la metodología Boothroyd - Dewhurst para optimizar el diseño de un producto calibrador de sensor de humedad, en el punto de rocío [1].

El Instituto Nacional para la Investigación Espacial (INPE), cuenta con un sistema de calibración que consta de un generador de punto de rocío, un higrómetro (sensor de humedad) y un puerto para transportar la muestra de gas.

El objetivo fue diseñar un dispositivo que lleve el gas de muestreo hasta el equipo a calibrar, con la mayor eficiencia, adaptación y facilidad de operación posible. Se utilizaron en un principio 2 sensores que cuentan con diferente modo de operación, forma de medición y tamaños. Con base en las características que se anunciaron para el diseño del dispositivo, tomando en cuenta las características de los dos sensores a calibrar y el rango de muestras que se desean medir, se establecieron los siguientes requerimientos para el ensamble [1]:

- El dispositivo debe tener solo uniones en la entrada y salida del gas, y en la conexión con el sensor a calibrar.
- El dispositivo debe permitir la entrada y salida de gas.
- El dispositivo debe permitir una instalación de forma horizontal para un sensor de humedad.
- El dispositivo debe tener una tubería desde la salida del generador de punto de rocío hasta que se encuentre dentro del sensor.
- El dispositivo debe permitir la instalación de sensores de hasta 28 mm de diámetro.

A continuación, se muestra la primera propuesta que se presentó en la Figura A. 1, con su respectiva configuración y respectivas partes.

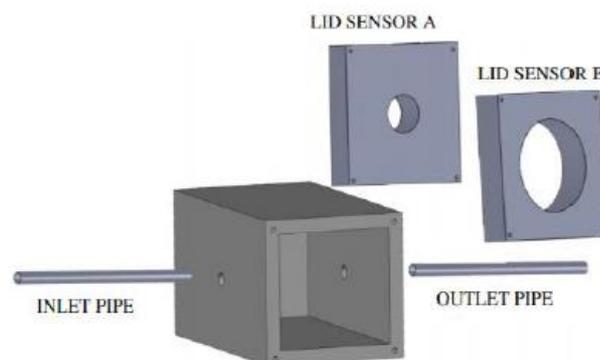


Figura A. 1. Diseño preliminar con 6 piezas y 4 tornillos

Se aplicó a este diseño preliminar el método de análisis de DFA desarrollado por Boothroyd-Dewhurst, el cual arroja 2 piezas susceptibles a eliminarse: la tapa para el sensor de menor diámetro, y la tubería de salida de la

muestra. A continuación, se muestran las propuestas de rediseño generadas por los autores, después de aplicar el método, basándose en las directrices del DFA.

- a) Dado que el diámetro del sensor B es menor al del sensor A, se puede adaptar una tapa a la cámara de medición, que contenga un hueco roscado del diámetro del sensor A, para que este pueda encajar y así la tapa y la cámara sean una sola pieza.
- b) El sensor B, al ser de menor diámetro, inevitablemente requerirá de una tapa especial, pero esta puede ser circular, con el diámetro exterior igual al de la tapa de la cámara de medición y roscado, y con diámetro interior similar al del sensor B, para que este encaje en el mismo lugar donde encaja el sensor A.
- c) La tubería de entrada indudablemente tiene que ser una pieza separada, para que se pueda adaptar a cualquier generador de punto de rocío, utilizando diferentes tubos de entrada de distinto material, aumentando la flexibilidad del producto. El ducto de salida del gas puede ser una sola pieza con la cámara de medición, ya que siempre se requerirá drenar el gas sin que este se realimente, reduciendo un paso de ensamble más.

A continuación, se muestra en la Figura A. 2 el diseño final, y la lista de partes que quedaron después del análisis.



Figura A. 2. Diseño final con sólo 3 piezas

La aplicación del método de Boothroyd-Dewhurst de DFMA para este caso de estudio fue muy exitoso, ya que permitió reducir el número de piezas, y así facilitar el ensamble, pero, sobre todo, logro cubrir con los requerimientos de este, disminuyendo así efectivamente las pérdidas de presión y de masa de la muestra para la detección de humedad en los sensores [1].

A1.1.2 DFA aplicado en el rediseño de una bomba axial acuícola

En el desarrollo incluido en la referencia [16] se aplica el método de Boothroyd-Dewhurst a una bomba acuícola, diseñándose un prototipo experimental dibujado en CAD, y su desensamble se realizó aplicando el criterio de eliminación de piezas no indispensables. Se determinó que ninguna pieza era propensa a ser eliminada, obteniéndose posteriormente los tiempos de manipulación e inserción y la eficiencia de diseño para ensamble de la bomba.

El procedimiento fue el siguiente: se obtuvieron 3 eficiencias de ensamble con ayuda de 3 hojas de trabajo diferentes. La primera incluye el cálculo de la eficiencia obtenida del diseño de la bomba con valores para manipulación e inserción ajustada al valor máximo permitido en las tablas que contempla la metodología. Esta tabla proporcionó una eficiencia de 39.39%, lo cual sugirió un rediseño en aquellas piezas que consumían mayor tiempo para manipular y/o insertar, identificadas por medio de este primer análisis.

La segunda tabla correspondió a la aplicación de la metodología al prototipo, pero midiendo el tiempo con cronómetro de los tiempos de manipulación e inserción durante el ensamble real de la bomba hecho en campo. Esta tabla mostró una eficiencia del 8,38%. Esto se hizo para poder comparar el dato, con el que se obtendrá después del rediseño.

La tercera incluye los resultados obtenidos de la metodología aplicada una vez hechas las propuestas de rediseño al prototipo, con tiempos reales medidos con cronómetro, del ensamble hecho en campo, se obtuvo una mejora considerable llegando a una eficiencia del 18,68%. Los rediseños que se hicieron, al mantenerse el mismo número de piezas, fueron la adecuación de características autoalineantes en juntas, abrazaderas y bridas, y la adaptación de manijas o agarraderas a las piezas más grandes en el punto donde se localiza el centro de gravedad de cada una, para facilitar su sujeción y manipulación.

Se demostró que, al aplicar el método, y las directrices del DFMA, se aumentó considerablemente la eficiencia del ensamble, demostración que se llevó a cabo por medio de 3 hojas de trabajo, la primera, para guiar el rediseño y resaltar aquellos puntos de conflictos donde debía centrarse la atención del diseñador, la segunda para evaluar el ensamble como es con tiempos reales, y la tercera para evaluar el ensamble rediseñado y hacer la comparación de estos dos últimos [16].

Este caso de estudio muestra claramente un procedimiento para aplicar el método de Boothroyd – Dewhurst a un producto, mediante la realización de un prototipo, y un análisis tanto con tiempos de tablas, como con tiempos medidos experimentalmente, logrando una disminución importante en el tiempo de ensamble, y un aumento en la eficiencia de ensamble, sin necesidad de eliminar piezas [16].

A1.2. Mejora de los métodos existentes

La tesis doctoral representada en la referencia [17] consiste en una investigación para disminuir una serie de limitaciones de la metodología de Boothroyd-Dewhurst, generando un sistema inteligente difuso-evolutivo para la predicción de tiempos de ensamblaje.

Para el DFMA representa algunas carencias como son; la flexibilidad, necesidad de consulta de tiempos de ensamble en tablas, así como la carencia de tolerancia a fallos en los datos de entrada.

En cuanto a la falta de flexibilidad, es complicado adaptar el método a cualquier caso de estudio, ya que se emplean datos tabulados, que a veces no son similares a las operaciones donde se utilizan. Otro inconveniente puede ser el amplio margen de error que pueden introducir los datos de entrada, debido por ejemplo a las variantes geometrías de las piezas. Sin embargo, una de las principales limitaciones del método consiste en la dificultad para establecer la secuencia más sencilla de ensamblaje [17].

A1.2.1 Desarrollo de un sistema artificial para optimizar DFMA

En la referencia [17] se desarrolla un sistema artificial que ayuda a la toma de decisiones durante la fase de diseño del producto, gracias a su capacidad para auto-aprender patrones pasados en los que se basa para crear alternativas de solución. De esta manera, se obtiene un sistema para procesar gran cantidad información mediante modelos matemáticos en forma paralela y distribuida.

A continuación, se resumen los pasos seguidos por el autor para el diseño de una red neuronal, de un sistema difuso y su optimización:

1. Identificación del proceso de ensamblaje; relacionadas a los dos procesos considerados en el método de Boothroyd para el análisis, la manipulación y la inserción (Ver Tabla A. 1), tomándose como única variable de salida el tiempo total de ensamblaje.

Tabla A. 1. Parámetros de manipulación/ inserción propuestos por el autor de la referencia [17]

Parámetros de manipulación	Parámetros de inserción
Peso de la pieza	Facilidad de acceso
Simetría de la pieza	Claridad de vista
Método de manejo	Facilidad de alineación
Dificultades de manejo	Facilidad de sujeción

2. Desarrollo de la red neuronal; Para la investigación se tomaron información de una empresa de tiempos de ensamble de 40 piezas representativas para el desarrollo de la metodología. Se codificó la información, lo cual consiste en dividir las variables de entrada en lógicas (0-1) y reales, y posteriormente se normalizan los datos en una escala 0-1. Finalmente se entrena la red, y se valida mediante el uso de datos no proporcionados antes en la base de datos.

3. Desarrollo del sistema difuso; El primer paso es la definición de entradas y salidas del sistema difuso, las cuales se definieron de acuerdo a características de las piezas (peso, dimensiones, simetría, facilidad de acceso, montaje e inserción, etc.). Posteriormente se diseñaron las reglas de decisiones, las cuales se basan en decisiones o combinaciones lógicas de las distintas entradas, y después se procesa el dato de salida para convertirlo en información numérica.
4. Optimización mediante estrategias evolutivas; Para lograr los tiempos mínimos de ensamblaje, se requieren condiciones óptimas. Después de encontrar las condiciones que provocan un tiempo máximo, se determinó la variable que en mayor grado afecta el tiempo de ensamble. Para ello, se realizó una prueba de sensibilidad donde se variaba el valor de cada variable independiente respecto a las demás, resultando ser la variable dimensión y peso las que más contribuyen a un incremento del tiempo de ensamblaje.
5. Caso con restricciones; En el caso de estudio se impusieron las siguientes restricciones; la dimensión de la pieza deberá estar en un rango entre 7 y 12 centímetros. El peso de la pieza deberá ser mínimo de 0,8 kilogramos y máximo de 1,2 Kilogramos, se obtuvieron 3 combinaciones donde el tiempo fue mínimo, con lo que se comprobó la efectividad del sistema aún con restricciones.

El autor de la referencia [17] concluyó de su metodología creada permitía conocer las variables más influyentes en el tiempo de ensamblaje, y con ello apoyar en las decisiones de diseño.

Por otra parte, el sistema difuso desarrollado por el autor demuestra ser un sistema capaz de reducir el número de tablas, mediante una herramienta de autoaprendizaje a partir de una base de datos.

Por último, el sistema difuso y la red neuronal no fueron comparados con el software del DFMA el cual tampoco emplea el uso de tablas. Por lo tanto, se desconoce el beneficio de una herramienta sobre otra.

A1.2.2 Diseño para ensamblaje de piezas grandes y pesadas

Actualmente, los métodos de diseño para ensamblaje no están desarrollados para aplicarse en productos cuyas piezas sean de gran tamaño o peso, por lo que se recomienda siempre evitar las piezas grandes y pesadas que necesitan herramientas especiales para su manejo.

El ensamblaje de piezas grandes y pesadas consta, al igual que el de las piezas pequeñas y ligeras, de operaciones básicas de manipulación e inserción. Estas operaciones demandan mayor tiempo para este tipo de piezas, debido a que las distancias recorridas durante la manipulación son mayores y los movimientos necesarios para la orientación e inserción son más amplios y complejos [18].

un estudio realizado por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en 2005, desarrolla una propuesta de metodología para el análisis de piezas de un ventilador industrial. Para la realización de este estudio, se realizó una clasificación de piezas grandes y pesadas. El primer paso de la metodología es clasificar las piezas de acuerdo con los siguientes atributos; los cuales se encuentran tabulados en el documento; forma geométrica, y manipulación [18].

Después de realizarse esta clasificación, es posible agrupar las piezas entre aquellas que son fáciles de ensamblar y aquellas que presentan dificultades, donde es posible evaluar la facilidad de ensamble.

El autor de la referencia [18] en su trabajo analizó el estudio del ensamble de la estructura del edificio de la delegación Xochimilco. Se analizan todas las actividades y métodos, las cuales se clasifican en operaciones de preparación, operaciones activas y operaciones de salida, todas las actividades de ensamble realizadas por los operarios se clasificaron y analizaron en un cursograma.

A1.2.3 Diseño de una herramienta de DFMA basada en factores de puntuación

Existen diversos intentos de desarrollar metodologías que enriquezcan aquellos aspectos en los que puede mejorar el método de Boothroyd – Dewhurst, donde se desarrolla una metodología parecida a la de Boothroyd, la diferencia radica en la cantidad de parámetros que consideran para la ponderación y la obtención del tiempo total de ensamblaje.

En la referencia [19], el objetivo fue diseñar una herramienta para el ensamblaje y desensamblaje, el cual facilitaría el mantenimiento. Para ello, el autor desarrolla un software consistente en una hoja de cálculo en Excel para la rápida evaluación del ensamblaje y desensamblaje de un producto.

El autor señala una serie de inconvenientes de los métodos existentes, entre los que destacan los siguientes:

- Los resultados obtenidos son en ocasiones difíciles de interpretar.
- Los diseñadores pueden requerir un programa de formación para aprender el software, lo cual, a su vez, resulta ser costoso y más prolongado en el tiempo.

La hoja de cálculo desarrollada utiliza una metodología sustentada en una combinación del método de Boothroyd-Dewhurst y el método de Lucas. Para la validación del método, el autor analizó el ensamblaje y desensamblaje de un teléfono Nokia modelo 252, y de un equipo Nokia 5120i, aplicando la hoja de cálculo, y el software de Boothroyd-Dewhurst, y el método de Lucas, para así comparar y validar la utilidad de este nuevo método. Los resultados obtenidos fueron [19]:

- Según la ponderación obtenida con el nuevo método, se concluye que los resultados muestran una tendencia parecida a los métodos de Boothroyd y Lucas, lo que prueba su validez.
- El modelo Nokia 5120i tiene el mejor diseño según la eficiencia de ensamble.
- Es muy fácil hacer cambios en el diseño, al tratarse de una hoja de cálculo.

En conclusión, se puede argumentar que si éste método está basado en realidad en el método de Boothroyd – Dewhurst, y tiene un procedimiento similar para obtener resultados que propongan rediseño, se trata realmente de una mejora de este. Además, este considera muchos más parámetros y factores de entrada, sobre todo en la parte de diseño para el desensamblaje, la cual no se considera en la metodología [19].

A1.2.4 Diseño del ensamblaje y desensamblaje para remanufactura

La tendencia principal de este caso de estudio es el DFD (Diseño para desensamblaje), el cual, a diferencia del DFA, se enfoca en el proceso de desensamblaje de un producto, en la etapa final del ciclo de vida de este. El DFD indica que se deben tomar en cuenta diversas reglas para el diseño del desensamblaje de un producto, ya las piezas son más susceptibles a dañarse y quedar inservibles.

Un estudio muy interesante sobre éste caso se ilustra en la referencia [20]. El DFD es una de las herramientas y estrategias, que surgen a partir de la necesidad de atender los requerimientos ambientales de la industria contemporánea una vez terminada su vida útil, reutilizar o reciclar algunas o la totalidad de sus partes, o bien desecharlo de manera responsable. Reutilizar partes de un producto, son procesos más económicos y menos contaminantes, consistentes en regresar las partes a materia prima utilizable. El diseño para el desensamblaje no solo ayuda a obtener partes de manera más eficaz para convertirlas en materia prima, si no también brinda la oportunidad de obtener piezas sin destruirlas para reutilizarlas en otros productos.

Algunas directrices básicas del diseño para el desensamblaje se indican a continuación [20]:

- Cuantas menos piezas existan en el ensamblaje, menos operaciones de desensamblaje serán necesarias.
- Mientras menos sujeciones existan, mejor y estandarizar las sujeciones al máximo, hasta el punto en el que se requieran la menor cantidad de herramientas estándares para retirarlas.
- Evitar el uso de tornillos con tuerca facilita y agiliza el ensamblaje.
- Los adhesivos deben ser evitados.
- Incluir anotaciones y señales de como las piezas deben ser retiradas de conjunto ensamblado.

Existen algunos principios que resultan ser muy eficientes en el ensamblaje pero que desembocan en técnicas destructivas en el desensamblaje (adhesivos, soldaduras, etc.), A continuación, se presenta la metodología propuesta en el caso de estudio dividida en una serie de pasos [20]:

1. **Aplicación de DFA (Boothroyd-Dewhurst):** El único punto que es indispensable tanto para el diseño para ensamblaje como desensamblaje, es el criterio de combinación o eliminación de partes, ya que este criterio minimiza el número de juntas en el ensamblaje.
2. **Determinación de la secuencia de desensamblaje:** El subensamble puede contar con diversas rutas, y es necesario escoger la que ocupe menos tiempo y en la que no existan interferencias entre partes.
3. **Evaluación métrica:** Para poder hacer una evaluación cuantitativa de la complejidad de desensamblaje se tienen en cuenta parámetros como el tamaño, espesor, dificultad de las operaciones, tipo y número de herramientas necesarias y el peso de la parte o subensamble, así como también la dificultad de retirar las sujeciones. La ponderación de estas dificultades se lleva a cabo mediante un indicador, llamado

índice de complejidad de desensamblaje. Además, el otro factor importante a tener en cuenta es el índice de accesibilidad, que se obtiene para cada componente y representa la facilidad de acceder a este.

El caso de estudio ilustrado en la referencia [20], se trata de un motor eléctrico de inducción. Aplicando los criterios de eliminación y /o combinación de partes de Boothroyd – Dewhurst, se determinó la combinación de dos piezas del motor, y debido a la gran cantidad de piezas que tienen movimiento relativo, solo se pudo eliminar una pieza, consistente en un engranaje, resultando un componente ensamblado de 13 piezas.

El autor y sus colaboradores identificaron 2 rutas posibles de desensamblaje, las cuales se analizaron y calcularon tanto su índice de complejidad como su índice de accesibilidad, anteriormente expuestos. Dicho cálculo denotó que la ruta A era la más eficiente. Por tanto, se demuestra que el DFD ayuda a la toma de decisiones, tanto en las etapas finales del producto, como en las primeras etapas del desarrollo del mismo.

A1.2.5 Otras contribuciones

Otras de las investigaciones y avances importantes a cerca de las contribuciones a diversos enfoques del DFMA se presentan en la tesis doctoral numerada como referencia [21]. Dichas contribuciones son las siguientes:

- Diseño de una herramienta de análisis DFA, adaptada para las construcciones soldadas de gran escala, pero de bajo volumen, para identificar donde se concentran los principales costos en las soluciones constructivas electrosoldadas.
- Implantación de la metodología DFMA para el rediseño de un conjunto estructural de construcción electro soldada.
- Metodología de diseño de estructuras soldadas, con el soporte de una aplicación integrada con datos de materiales y procedimientos de soldadura que asiste al diseñador para facilitar la toma de decisiones con un enfoque DFMA.

A2. Selección de materiales y procesos para la aplicación del método DFMA

Con el objetivo de llevar a cabo una aplicación satisfactoria del método DFMA, resulta de vital importancia una correcta selección de materiales para la fabricación de piezas, de lo contrario una serie de ventanas de oportunidades para la fabricación pueden darse por perdidas, fruto de una errónea selección de material en las primeras etapas de diseño del producto.

Uno de los principales motivos para llevar a cabo una selección errónea del material es la falta de información por parte del diseñador en numerables situaciones, lo que conlleva a que estos elijan combinaciones de materiales con los que tienen suficiente familiaridad, sin la necesidad de seleccionar otros materiales posiblemente más interesantes, debido a su falta de conocimiento, suponiendo esto el abandono de un abanico muy interesante de posibilidades, cuyo resultados podrían ser muy superiores a los que obtendría con una selección estándar y cómoda del mismo.

De esta manera, existe un peligro potencial en la sobreexplotación de la estandarización de materiales, ya que los avances mas importantes en la materia se obtuvieron de la aplicación del DFMA rompiendo con esas reglas de estandarización. Llevado a los extremos, podría decirse que el punto de vista continuamente enfocado en “el uso de estándares” desembocará en una limitación en el desarrollo del diseño [9].

Existen unas 40.000 aleaciones diferentes de metales, otras tantas de materiales cerámicos y unas 100.000 de materiales organicos. En ésta línea, es necesario utilizar una metodología para la selección sistemática de materiales y procesos. Como se ha comentado en apartados anteriores, Boothroyd-Dewhurst desarrollaron una metodología para cubrir ésta necesidad [22].

A2.1. Variables del proceso y requerimientos generales

Para desarrollar un proceso de diseño adecuado, tanto las variables del proceso como los requerimientos generales deben estar disponibles para llevar a cabo una correcta selección de materiales y procesos al principio del mismo, ya que será a partir de estas variables y requerimientos sobre los que se realice la selección inicial de ambos.

En términos de variables del proceso, se debe contar con la siguiente información inicial:

- Producción durante el ciclo de vida (Comercial).
- Presupuesto admisible para herramientas.
- Categorías posible para las formas de la pieza y niveles de complejidad.
- Factores de apariencia.
- Consideraciones medioambientales.
- Factores de tolerancias y acabados.

Paralelamente, los requerimientos generales a tener en cuenta pueden dividirse en dos grupos [22]:

- **Requerimientos de material:**
 - Funcionales; Determinados por las características del trabajo del producto final (temperatura, carga admisible, etc.).
 - Proceso: Capacidad de un material a ser trabajado y modificada su forma para obtener productos semiacabados o acabados.
 - Coste: Parámetro que selecciona el material entre los que cumplen las especificaciones mencionadas anteriormente.
- **Requerimientos del proceso:** Exigencias a cumplir para el correcto funcionamiento del producto como la compatibilidad con el material o la geometría. También existen requerimientos a considerar como el tamaño de lote, ratio de producción, producción total, tolerancias, acabados superficiales, etc.

A2.2. Selección del proceso y de los materiales para la fabricación

La selección de procesos apropiados para la fabricación de un producto se basa en una coincidencia de los atributos requeridos de la pieza y las diversas capacidades de proceso. Una vez que se determina la función general de una parte, se puede formular una lista que da las características geométricas esenciales, las propiedades del material y otros atributos que se requieren

La mayoría de las partes componentes no se producen por un solo proceso, sino que requieren una secuencia de procesos diferentes para lograr todos los atributos requeridos de la parte final. Esto es particularmente el caso cuando se usan procedimientos de conformado como proceso inicial y, a continuación, se requiere procesos de eliminación y acabado de material para producir parte o la totalidad de las características finales de las piezas. Se utilizan combinaciones de muchos procesos, y esto es necesario porque un único proceso no puede proporcionar en general todos los atributos de la parte terminada. Sin embargo, uno de los objetivos del análisis DFMA es la simplificación de la estructura del producto y la consolidación de las piezas [2].

A2.2.1 Compatibilidad material-proceso de fabricación (DFM)

Existe una gran variedad de materiales y procesos, además de los que van surgiendo debido a los continuos avances en la materia. Algunas de las observaciones que pueden facilitar la selección de ambos son las siguientes [2]:

- Combinaciones de materiales y procesos limitadas (Ver Figura A. 3).
- No son posibles muchas combinaciones de procesos por lo que no aparecen en ninguna secuencia de procesamiento.
- Algunos procesos solo afectan a un atributo de la pieza (procesos de tratamiento superficial y tratamiento térmico).
- Las secuencias de procesos tienen un orden natural de generación de forma, seguido por adición o refinamiento de características por eliminación de material, y luego mejora de propiedades de los materiales.

A2.2.2 Compatibilidad geometría-proceso de fabricación

De la misma forma que existe una relación de compatibilidad entre el proceso y el material, se debe generar una relación de compatibilidad entre el proceso y la geometría a fabricar. Como se sabe, existen procesos caracterizados por generar unas formas determinadas, por lo que es conveniente definir una serie de atributos de forma para determinar la compatibilidad proceso-geometría [2], [22]:

1. Depresiones: La capacidad de formar rebajes o ranuras en las superficies de la pieza.
2. Paredes uniformes: Capacidad del proceso para generar piezas en las que las paredes tengan un espesor uniforme.
3. Secciones uniformes: Capacidad del proceso para generar piezas en las que las secciones transversales a una dirección sean idénticas excluyendo ángulos de desmoldeo.
4. Ejes de revolución: Capacidad del proceso para generar piezas por rotación sobre un eje generando un sólido de revolución.
5. Cavidades abiertas: Capacidad del proceso para generar cavidades con volúmenes que aumentan progresivamente debido a que la superficie de entrada es menor que la superficie de la cavidad (botellas).
6. Cavidades cerradas: Capacidad del proceso para generar cavidades completamente cerradas.
7. Superficies perpendiculares: Capacidad del proceso para generar secciones constantes en la dirección del movimiento del proceso con paredes sin ángulos.

Tipos de Procesos			MATERIAL												
			Fundición de Hierro	Acero al Carbono	Aleaciones de Acero	Acero Inoxidable	Aluminio y Aleaciones	Cobre y Aleaciones	Zinc y Aleaciones	Magnesio y Aleaciones	Titanio y Aleaciones	Níquel y Aleaciones	Metales Refractarios	Termoplásticos	Termoestables
Sin pérdida de Material (SPM)	MOLDEO	Moldeo en Arena													
		Moldeo a la Cera Perdida													
		Moldeo en Coquilla													
		Moldeo por Inyección													
		Moldeo por Espumación													
		Moldeo por Extrusión soplado													
		Moldeo por Inyección soplado													
		Moldeo Centrifugo (rotacional)													
	DEF. PLÁSTICA	Extrusión por Impacto													
		Forja en Fío (recalcado)													
Forja con Matriz															
Sinterizado (Metalurgia de polvos)															
Extrusión en Caliente															
Laminado de Tubos y Estirado															
CON PÉRD. DE MATERIAL (CPM)	Arranque de Viruta														
	Mecanizado Electroquímico														
	Electroerosión por penetración														
	Electroerosión por hilo														
SOBRE CHAPA	Trabajo de la Chapa														
	Termoconformado														
	Repujado														

Figura A. 3. Compatibilidad entre procesos y materiales [22]

A2.2.3 Compatibilidad material – proceso de ensamblaje (DFA)

Algunos de los atributos de forma a tener en cuenta para la determinación de la compatibilidad del material y el proceso de ensamblaje son:

- Consolidación de la pieza: Capacidad del proceso de incorporar algunos requerimientos funcionales en una única pieza eliminando el ensamblaje.
- Elementos de alineación: Capacidad del proceso para incorporar en la pieza algunos elementos que faciliten la alineación de piezas y/o ensamblaje.
- Uniones integradas: Capacidad del proceso para incluir directamente en la pieza elementos que ayudan al ensamblaje (roscas, pestañas, etc.).

En la Figura A. 4, se ilustra una ilustración que representa las combinaciones de compatibilidad entre los materiales de pieza seleccionados con el proceso/forma/ensamblaje:

- a Posible a mayor coste
- b Es posible sin un incremento de coste significativo
- c Posible con herramientas y maquinaria especializada
- d Sólo es posible con contornos continuos con final abierto
- S El proceso **SÍ** es capaz de producir piezas con estas características
Las subrayadas indican que las piezas por este proceso son más fáciles de obtener con estas características.
- N El proceso **NO** es capaz de producir piezas con estas características
- D Las piezas producidas con este proceso **DEBEN** tener estas características
- DFA Tres últimas columnas Relacionadas con metodologías de diseño para ensamble (5 máxima capacidad)

Tipos de Procesos	Sin pérdida de Material (SPM)	MOLDEO	DEF. PLÁSTICA	CON PÉRD. DE MATERIAL (CPM)	SOBRE CHAPA	Depresiones Unidir	Depresiones Multidir	Paredes Uniformes	Secciones Uniformes	Eje de Revolución	Sección Regular	Cavidades Abiertas	Cavidades Cerradas	Sup Perpendiculares	Consolidación Pieza	Elementos de Alineación	Uniones Integradas	
						Moldeo en Arena	S	S	<u>S</u>	S	S	S	N	N	4	3	1	
						Moldeo a la Cera Perdida	S	S	<u>S</u>	S	S	S	N	N	5	5	2	
						Moldeo en Coquilla	S	S ^a	<u>S</u>	S	S	S	N	N	4	5	3	
						Moldeo por Inyección	S	S ^a	<u>S</u>	S	S	S	N ^a	N	5	5	5	
						Moldeo por Espumación	S	S ^a	<u>S</u>	S	S	S	N	N	4	4	3	
						Moldeo por Extrusión soplado	S	S ^a	D	N	S	S	D	S	N	3	4	3
						Moldeo por Inyección soplado	S	S ^a	D	N	S	S	D	N	3	4	3	
						Moldeo Centrifugo (rotacional)	S	S ^a	D	N	S	S	N	D	2	2	1	
						Extrusión por Impacto	S	N	S	N	S	<u>S</u>	N	N	3	3	1	
						Forja en Fío (recalcado)	S	N	S	N	S	<u>S</u>	N	N	3	3	1	
						Forja con Matriz	S	S ^a	S	S	S	S	N	N	3	2	1	
						Sinterizado (Metalurgia de polvos)	S	N	S	S	S	S	N	N	3	3	1	
						Extrusión en Caliente	S ^a	N	S	D	S	S	N	N	2	2	3	
						Laminado de Tubos y Estirado	N ^a	N	N	N	D	N ^a	N	N	1	1	1	
						Arranque de Viruta	S	S	S	S	S	S	N	S	2	3	2	
						Mecanizado Electroquímico	S	S ^c	S	S	S	S	N	N	3	4	1	
						Electroerosión por penetración	S	S ^c	S	S	S	S	N	N	3	4	1	
						Electroerosión por hilo	S ^a	S	S	S	S	S	N	N	2	2	3	
						Trabajo de la Chapa	S	S	D	S	S	S	N	N	4	3	4	
						Termoconformado	S	S ^a	D	N	S	S	N	N	3	3	3	
						Repujado	N	S	D	N	D	N	S	N	1	1	1	

ATRIBUTOS GEOMÉTRI..

Figura A. 4. Compatibilidad de los materiales con el proceso de ensamble [22]

A2.2.4 Compatibilidad Tolerancias-Proceso

Otra de las exigencias a cumplir para el correcto funcionamiento del producto son las tolerancias y acabados superficiales. En la Figura A. 5 se puede observar unos valores orientativos de tolerancias obtenibles a partir de cada proceso y sus acabados superficiales correspondientes.

Se mostrarán múltiples combinaciones, distinguiéndose entre los casos posibles y económicos, y los casos posibles a secas.

A2.3. Metodología sistemática para la selección de procesos y materiales

La metodología de Boothroyd –Dewhurst se trata de un sencillo criterio para la selección sistemática de materiales y procesos de conformado, que parte de los requerimientos funcionales y de un diseño preliminar (Diseño conceptual que tiene una geometría previa).

Esta metodología podría ser completada empleando otras metodologías de diseño como, por ejemplo, la de diseño para ensamble.

A continuación, en la Figura A. 6, se ilustra por medio de un diagrama de bloques el proceso que abarca la aplicación de dicha metodología, con sus pasos ordenados, los cuales son de gran utilidad para representar el funcionamiento interno del sistema, y que facilitará el entendimiento tanto de las relaciones existente como de la organización de todo el proceso, sus entradas y sus salidas.

FUNCIONES	Superf. brutas sin contacto		Superf. Contacto fijo		Superficies con contacto móvil, guías, centrado				Alta Precisión Estanqueidad Movimientos Precisos				Desviaciones de Orientación (Para un mismo amarre)			
	16-12	11-9	8-7-6	5-4-3-2-1-0-01	//	⊥	⊙	∠								
TOLERANCIAS	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,02	0				
RUGOSIDAD Ra																
Moldeo en Arena	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moldeo a la Cera Perdida			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moldeo en Coquilla			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moldeo a Presión			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Estampado en Caliente	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Laminado en Caliente	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Extrusión en Caliente	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Laminado en Frío			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Treflado en Frío			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Serrado			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Oxicorte	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Cepillado			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Fresado Acero rápido			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Fresado Acero Carburo					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Torneado de Desbaste	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Torneado de Acabado			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Torneado de Diamante								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Taladrado con Broca			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Mandrinado Hta. carburo					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Escarlado			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Mandrinado Diamante								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Brochado			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Tallado					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rectificado desbaste	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rectificado producción					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rectificado precisión								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Honing								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Lapping								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Pulido mecánico								█	█	█	█	█	█	█	█	█
Pulido electrolítico									█	█	█	█	█	█	█	█
Superacabado										█	█	█	█	█	█	█
Mecanizado electrolítico									█	█	█	█	█	█	█	█
Acabado con rodillos									█	█	█	█	█	█	█	█
Acabado en Tonel										█	█	█	█	█	█	█

POSIBLES

ECONÓMICOS

Figura A. 5. Compatibilidad procesos-tolerancias

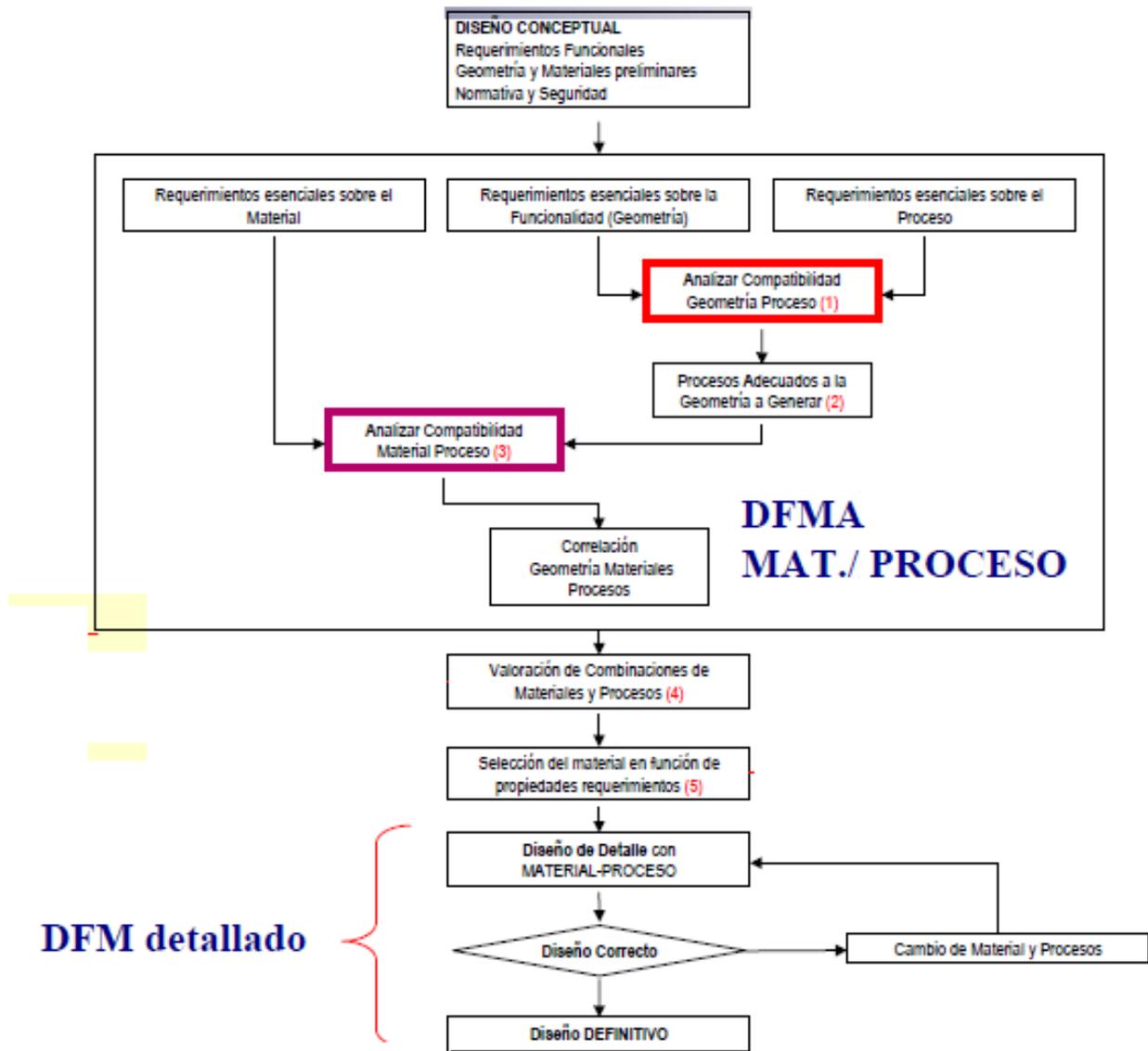


Figura A. 6. Diagrama de bloques para la selección sistemática de procesos y materiales

El desarrollo de procedimientos basados en computadoras para la selección de procesos y materiales en los atributos generales de las partes puede tener un impacto significativo en el diseño temprano del producto, y se han aplicado varios enfoques a este problema

A2.3.1 Selección primaria de procesos-materiales

Existen programas en los que se define; el tipo de pieza y las dimensiones totales. Entonces, seleccionando un proceso se indican que materiales son compatibles y cuales incompatibles.

En estos programas se indican todas las combinaciones de procesos y materiales que no son adecuadas, o para las cuales la geometría de la pieza puede estar fuera de los límites del procesamiento normal.

Por ejemplo, para una parte estructural, la resistencia a la deformación será claramente un requisito importante. Sin embargo, el valor límite de elasticidad admisible mínimo dependerá del grosor de la pared de la pieza, que a su vez dependerá de la combinación de proceso/material a utilizar.

Teniendo esto en cuenta, el primer paso consiste en la definición del tipo de pieza en general y las dimensiones de la misma, incluyendo el grosor de la pared. Posteriormente, se procede a la selección de un proceso, y luego se indican los materiales compatibles en diferentes colores (rojo para incompatible, verde para materiales compatibles y amarillo para materiales compatibles, pero con limitaciones).

A2.3.2 Selector de secuencia de procesos experto

El hecho de que se seleccione una combinación de proceso/material apropiada sin considerar secuencias viables de operaciones, puede conducir a la omisión de algunas combinaciones aptas de ambos. Para ello, se ha investigado un experto generador de secuencia de procesamiento para mejorar este aspecto de la selección de materiales y procesos.

Con este procedimiento, el usuario clasifica la geometría y especifica las restricciones de material para la pieza. El resultado es una lista de secuencias viables de procesos y materiales compatibles. El procedimiento se divide en cuatro pasos: entrada de geometría, selección de proceso, selección de material y actualización del sistema. La geometría de la pieza se clasifica primero según su tamaño, forma, sección transversal y características. Utilizando reglas de concordancia de patrones, se seleccionan los procesos que forman la geometría de la pieza. La selección de materiales utiliza materiales de teoría de conjuntos, como se describió anteriormente. La clasificación geométrica de una parte se refiere a las siguientes características [2]:

1. El tamaño total.
2. La forma básica.
3. La precisión y el acabado superficial.
4. La sección transversal.
5. Características funcionales: proyecciones, depresiones, etc.

Los procesos se clasifican como primarios, primarios/secundarios o terciarios para aprovechar el orden natural de los procesos en una secuencia. Las reglas, formuladas a partir del conocimiento sobre procesos y materiales, se utilizan para seleccionar secuencias de procesos y materiales para la fabricación de piezas.

Para la selección del proceso primitivo, las condiciones son restricciones sobre el tamaño de la envolvente, la forma, y la descripción transversal de la pieza. La acción es la selección de un candidato proceso primario. Si una parte satisface las restricciones, entonces el proceso se elige como un proceso primario candidato. Otras reglas de la misma forma evalúan qué características de la parte pueden ser formadas por el proceso primitivo. Las condiciones para estas reglas son restricciones en los descriptores de las características y la acción es concluir que el proceso primario puede formar la característica [2].

Las reglas de selección de proceso están mejor combinadas con funciones de pertenencia a la lógica difusa para modelar la transición progresiva de "fácil" a "difícil o imposible" de fabricar por el proceso seleccionado.

A continuación, se busca la base de datos de material para el proceso primitivo seleccionado y se utiliza el enfoque de lógica difusa descrito anteriormente para elegir los materiales candidatos. Dado que las propiedades de un material están relacionadas con la forma en que se procesa el material, cada proceso tiene su propia base de datos de materiales y se seleccionan asignando la entrada del usuario a las propiedades del material [2].

Los procesos primarios y primarios/secundarios se seleccionan de manera similar para formar cualquier característica de la parte que no puede ser formada por el proceso primario. De manera similar, los procesos terciarios se seleccionan para satisfacer los requisitos materiales que el material candidato no podría cumplir.

Si no se puede encontrar un proceso o material adecuado para formar las características requeridas o satisfacer los requisitos de material, entonces el procedimiento retrocede para la elección otro proceso primario, lo mismo ocurriría si se llegase a lo mismo con un proceso terciario.

Una característica de este enfoque para la selección de material y proceso es que a medida que crece la lista de atributos de la parte que se van a cumplir, el número de secuencias posibles también aumentará. Esto difiere del procedimiento para seleccionar combinaciones primarias de proceso/material, en que la lista de posibles combinaciones generalmente disminuye, a medida que la especificación de la parte se vuelve más precisa [2].

En la Figura A. 7, se ilustra el procedimiento seguido para la selección más adecuada de materiales y procesos, que se corresponde con la explicación expuesta en el presente apartado.

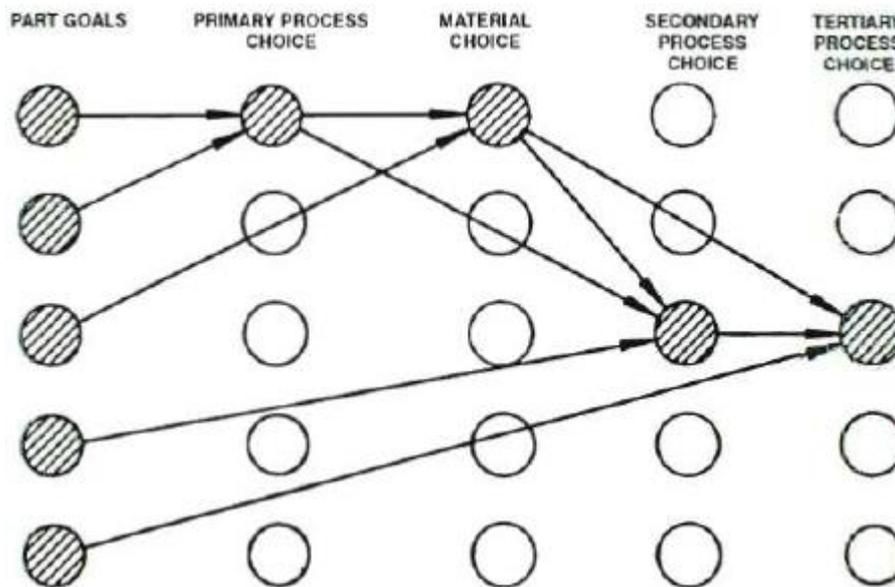


Figura A. 7. Procedimiento para la selección de la secuencia adecuada de materiales y procesos

A2.3.3 Clasificación económica de procesos

Las combinaciones de materiales y procesos compatibles determinadas por los procedimientos de selección descritos anteriormente requieren una evaluación de cuál es la más adecuada, usualmente calculando cuál será la más económica. Esto requiere la disponibilidad de procedimientos para evaluar de manera realista los costes de fabricación a principios del proceso de diseño. En este proyecto se simplificarán los procedimientos de estimación de costes para varios procesos. Sin embargo, en las primeras etapas de diseño pueden usarse métodos más simples para la evaluación de costes para la clasificación de combinaciones alternativas de materiales y procesos.

Para hacer unas primeras estimaciones de costes para un proceso en particular, por ejemplo el mecanizado, la información requerida puede dividirse en tres partes [2];

1. Datos de la pieza y de la producción.
2. Factores que afectan los costos no productivos.
3. Factores que afectan a los costos de mecanizado.

Tal y como se indica en la Figura A. 8, las piezas comunes se pueden clasificar en siete categorías básicas. Otros elementos de este primer encabezado incluyen: el material, la forma del material (tamaño estándar o formacercana a la red), las dimensiones de la pieza de trabajo, el coste por unidad peso, la velocidad media de la máquina y del operador y el tamaño del lote por configuración.

El conocimiento de los datos de la pieza y de la producción no sólo permite estimar el coste de la pieza de trabajo, sino que también predecir las magnitudes probables de los elementos restantes necesarios para las estimaciones de costes no productivos y costes de mecanizado.

Se procesa un ejemplo de calculo de coste total para el componente de la Figura A. 9, obteniéndose un valor de 24,32\$, que se obtiene a partir del conocimiento del material de trabajo, su categoría general de forma y tamaño y su coste por unidad de volumen. Un cálculo de coste para este componente basado en sus características mecanizadas reales y usando ecuaciones aproximadas, resulta en un coste total de 22,83\$, que está dentro del 6% y una estimación más detallada obtenida usando métodos más tradicionales de estimación de costes da un coste total de 22,95\$. Este ejemplo ilustra la posibilidad de obtener estimaciones de coste fiables, las cuales están basadas en condiciones de diseño general, pudiendo ser cada vez más refinada con la disponibilidad de otra información detallada de diseño.

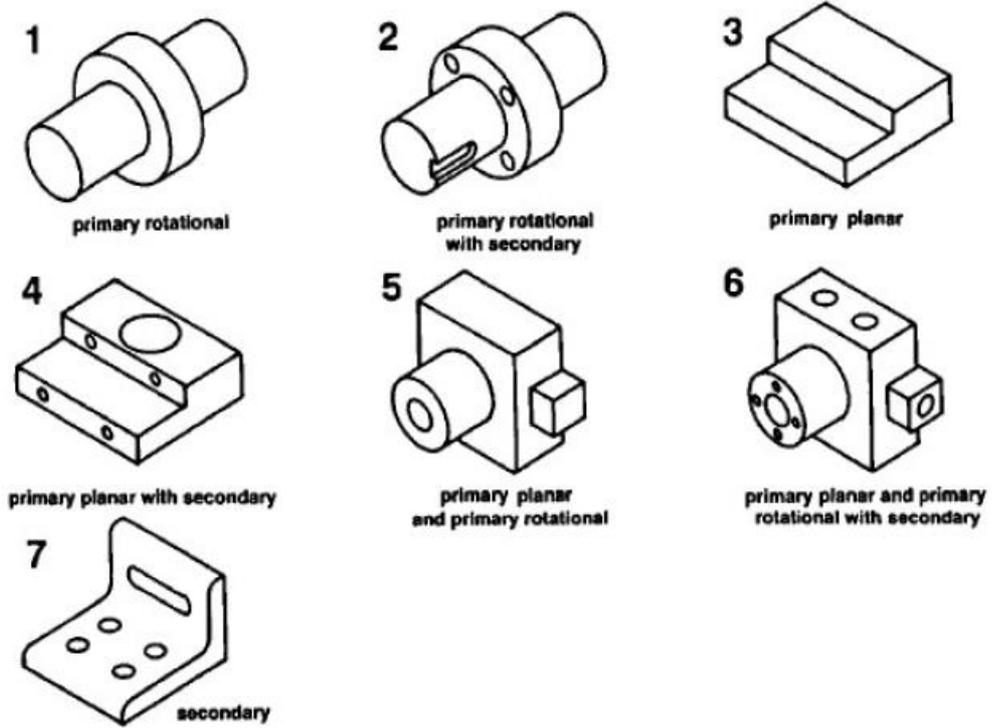


Figura A. 8. Categorías básicas de componentes de las máquinas

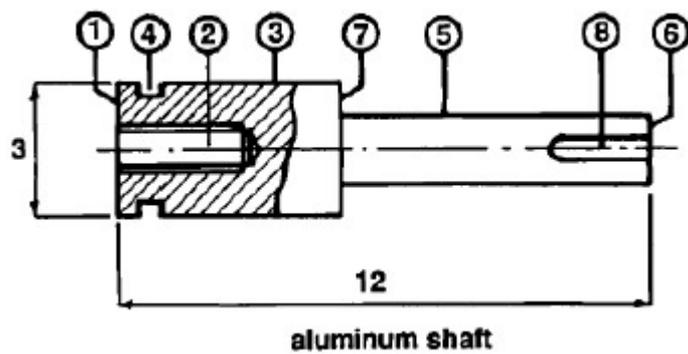


Figura A. 9. Pieza utilizada como ejemplo para la estimación del coste total

A3. Procesos de mecanizado

El concepto “mecanizado” puede ser definido como la eliminación de material de una determinada forma hasta alcanzar la forma deseada. Este proceso de eliminación de material puede considerarse como “inútil” ya que podría tratar de buscarse la manera de diseñar componentes sin necesidad de que se requiera dicha eliminación de material, y por tanto el mecanizado.

Aunque actualmente no sea realista la visión de que “el mecanizado tiene que evitarse”, se está pronunciando la tendencia hacia el uso de procesos que dejan la pieza de trabajo cerca de la forma deseada, llegando a ser éste concepto de gran importancia cuando se tratan de producir grandes volúmenes de componentes.

En el presente capítulo se expondrán los procesos de mecanizado más comunes, considerando por una parte las estrategias de desbaste de material, así como los que tienen el fin de dotar de unas determinadas características de acabado a la superficie de las piezas obtenidas.

De esta manera, una clasificación general de los procesos de mecanizado puede hacerse considerando, por una parte, los procesos con herramientas con filos definidos, los procesos abrasivos y otra clasificación que abarca a los métodos convencionales [23].

A3.1.Mecanizado con filos definidos

Las operaciones de mecanizado con filos definidos pueden clasificarse en dos grandes grupos. Por una parte, se encuentran las operaciones que emplean herramientas que interactúan con la pieza de trabajo mediante un solo punto, mientras que por otra se tienen operaciones en las que múltiples puntos de dicha herramienta entran en contacto con la pieza.

En ésta sección se hará un breve repaso de ambos grupos, catalogando las tipologías de procesos encontradas en cada uno.

A3.1.1 Mecanizado con herramientas de filo único

El proceso más importante y extendido dentro de éste grupo es el torneado, cuyas operaciones pueden desglosarse en; tronzado, mandrinado, roscado y refrentado.

Torneado:

Consiste en una operación de mecanizado para piezas de revolución. Entre las ventajas de éste proceso pueden encontrarse (Ver Figura A. 10) [23]:

- Alta precisión y buen acabado superficial.
- Puede aplicarse a piezas de diversos tamaños y lotes de producción (desde unitarias hasta largas series).
- Pueden aplicarse en el mecanizado de diferentes materiales (limitación en materiales duros).

Por el contrario, algunas de las limitaciones de éste proceso son [23]:

- Proceso caro.
- Limitado para piezas de revolución.

La pieza de trabajo se sujeta mediante un mandril o mediante una placa frontal montada en el extremo del eje principal de la máquina. La rotación de la pieza de trabajo es proporcionada por un motor eléctrico que acciona el husillo principal a través de una serie de engranajes. La herramienta de corte puede ser accionada de forma paralela o normal al eje de rotación de la pieza que se está mecanizando [2].

En cuanto a los movimientos relativos del sistema, puede diferenciarse entre dos movimientos diferentes:

- Movimiento principal o de corte: Consistente en el giro de la pieza, el cual requiere un elevado consumo de potencia y cuya velocidad es mucho mayor que el movimiento de avance.
- Movimiento de avance: Consistente en la traslación de la herramienta, requiriendo un menor consumo de potencia y una velocidad menor a la corte.

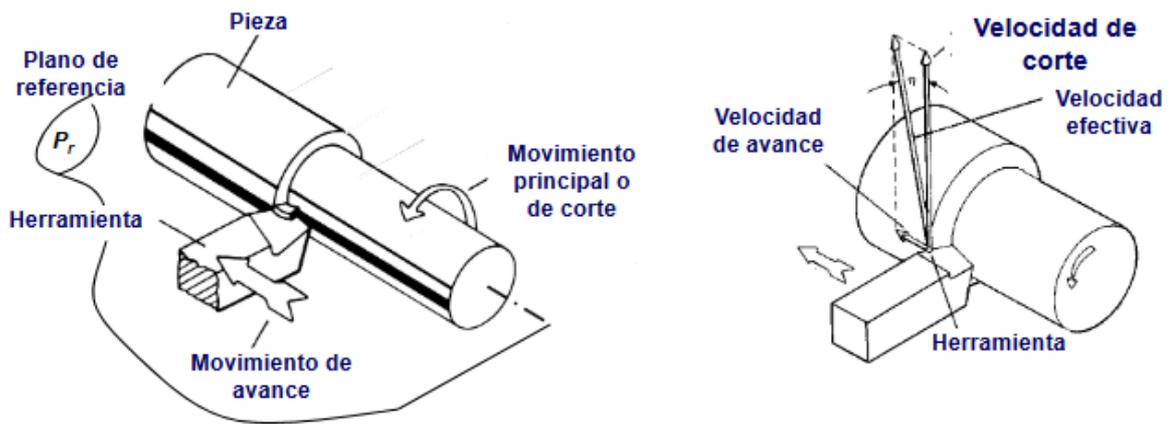


Figura A. 10. Operación de torneado; descripción del proceso [23]

Las principales operaciones de torneado son 5, las cuales se introducirán de forma resumida a continuación;

- Cilindrado: Operación para reducir el diámetro de la pieza de trabajo, a lo largo de toda su sección longitudinal. Pueden clasificarse en operaciones de desbaste o acabado. El objetivo de la primera consiste en eliminar la máxima cantidad de material, mientras que las operaciones de acabado persiguen la máxima precisión y acabado.
- Tronzado o ranurado: Consiste en el mecanizado de una ranura interior de la pieza. En el caso límite, la pieza se puede cortar, lo que se denomina tronzado.
- Mandrinado: Genera superficies cilíndricas internas, y solo se puede usar para agrandar huecos ya existentes. El mandrinado vertical (orientación del husillo que proporciona el movimiento de corte) sirve para piezas grandes, y, al igual que un torno, gira la pieza de trabajo. El mandrinado horizontal se necesita mayormente para piezas pesadas y de geometría no cilíndrica. Como principal característica, la pieza permanece quieta durante el mecanizado, y es la herramienta la que, montada en una barra unida al husillo, sufre todos los movimientos.
- Roscado: Consiste en la generación de una rosca interior o exterior en la superficie de la pieza de trabajo, mediante la realización de pasadas sucesivas. Ajustando la velocidad de giro de la pieza y la alimentación de la herramienta se simula la hélice sobre la superficie de la pieza, la cual se traduce en la rosca mencionada.
- Refrentado: Se trata de una operación en la que se mecaniza una superficie perpendicular al eje de giro de la pieza, y donde la velocidad de corte es variable.

En la Figura A. 11 se representan gráficamente cada una de las operaciones de torneado mencionadas.

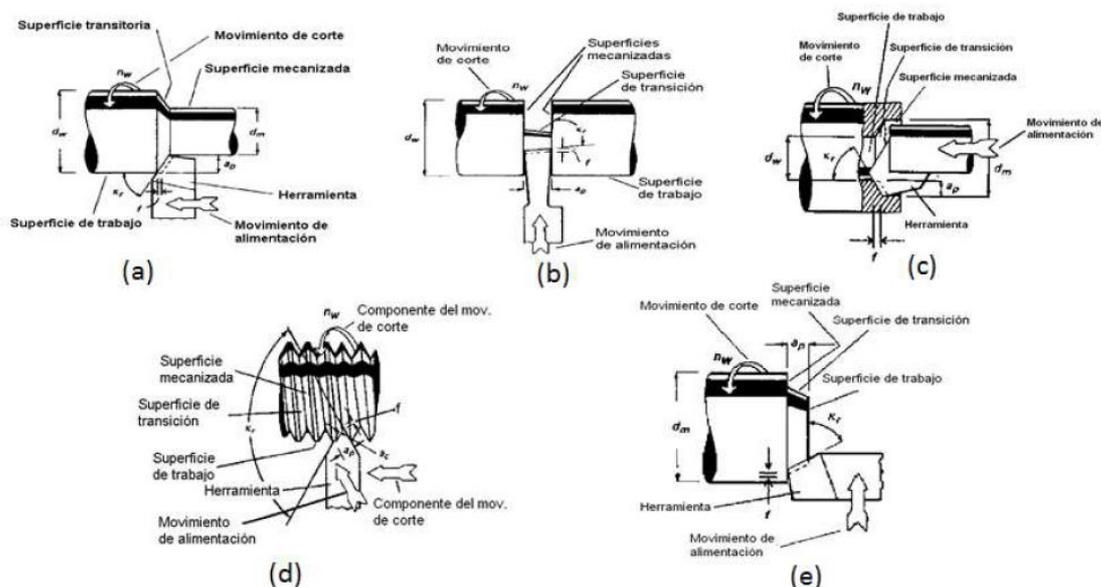


Figura A. 11. Clasificación de operaciones de torneado: a) cilindrado; b) tronzado; c) mandrinado; d) roscado; e) referentado [2]

A3.1.2 Mecanizado con herramientas de varios puntos

Los procesos más importantes y extendidos dentro del grupo de procesos que usan herramientas de varios puntos son; el fresado, taladrado y brochado.

Fresado:

Proceso de mecanizado por arranque de viruta muy común. Se realiza empleando una máquina herramienta llamada fresadora. En este caso, el corte de material se realiza con una herramienta rotativa, llamada fresa, que tiene forma circular y está provista en su perímetro exterior de múltiples filos de corte.

En el fresado, el arranque de material se lleva a cabo por la combinación del movimiento de giro de la herramienta de corte con el desplazamiento, que puede ser de la herramienta de corte o de la pieza a mecanizar (Ver la Figura A. 12) [24].

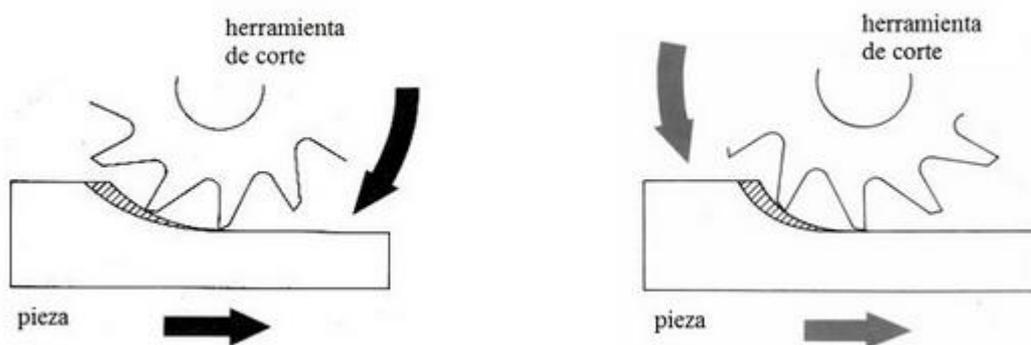


Figura A. 12. Operación de fresado; en discordancia (izquierda) y en concordancia (derecha)

En una fresadora, la herramienta de corte queda fijada al cabezal de la máquina y está provista de desplazamiento lineal en las tres direcciones (X-Y-Z). La pieza a mecanizar está fijada a la mesa de la máquina por el procedimiento de fijación que se elija, y el desplazamiento en estas 3 direcciones es lo que se denomina los ejes de la máquina. El diseño de la máquina fresadora hará que el movimiento de desplazamiento lo pueda realizar la herramienta de corte, la pieza o una combinación de ambos simultáneamente, dando lugar a distintos tipos de máquinas fresadoras [24].

Cuando el eje de la fresa está dispuesto paralelamente a la superficie de la pieza a mecanizar, el fresado se denomina cilíndrico. En este caso, la fresa puede girar en sentido contrario al avance, denominándose fresado en discordancia o normal, o bien girar en el mismo sentido del avance, denominándose fresado en concordancia. Cuando el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de la pieza que se mecaniza, el fresado se denomina frontal. Ambos tipos de fresado se representan en la Figura A. 13.



Figura A. 13. Fresado cilíndrico normal (izquierda) y fresado frontal (derecha)

Actualmente, las fresadoras tienen un campo de aplicación para el mecanizado principalmente de piezas pequeñas casi ilimitado. Además, las máquinas fresadoras ofrecen un mejor rendimiento que otras máquinas herramientas para el mismo trabajo, debido a que la herramienta de corte, la fresa, dispone de multitud de dientes o filos de corte que no están en contacto con la pieza al mismo tiempo durante el mecanizado, por lo que sufren menos fatiga, tienen un menor desgaste y trabajan a una temperatura inferior que las cuchillas de los tornos, por ejemplo, aumentando así su durabilidad [24].

La velocidad de corte a la que gire la fresa depende del tipo de material de la pieza a mecanizar. Generalmente, los materiales más blandos se cortan a velocidades más altas de giro, y los materiales duros se cortan típicamente a un ritmo más lento.

Las máquinas fresadoras ofrecen una versatilidad inmensa, debido a que tienen un movimiento adicional más que el torno, de manera que pueden realizar cualquier tipo de mecanizado, aunque su costo y productividad dependerá en cada caso del tipo de trabajo, la serie a producir y tamaño de la pieza.

Taladrado:

El taladrado es quizás el procedimiento de mecanizado más repetido en la industria, y se realiza con una máquina herramienta llamada taladradora, cuyos elementos principales son el husillo donde se aloja la broca y la mesa donde se sujeta la pieza. [24].

La operación más común realizada en esta máquina es la perforación con un taladro de torsión para generar una superficie cilíndrica interna. Un taladro de torsión tiene dos filos de corte, cada uno de los cuales elimina su parte del material de trabajo (Ver Figura A. 14) [2].

Para llevar a cabo los trabajos de taladrado, la pieza deberá permanecer fija en la mesa de trabajo de la máquina taladradora, mientras que la herramienta de corte (conocida como broca) girará y se desplazará longitudinalmente realizando los taladros en la pieza.

En el taladrado se producen virutas en grandes cantidades que deben manejarse siempre con seguridad. Por la gran potencia que ejercen las máquinas taladradoras, tienen que emplearse dispositivos especiales para la asegurar la correcta sujeción de la pieza que se vaya a taladrar a la mesa de trabajo.

Al taladrar metales se produce siempre una fricción muy grande entra la herramienta de corte (broca) y la pieza, por lo que en las operaciones de taladrado (al igual que en los demás procesos de mecanizado) es recomendable refrigerar la herramienta de corte con taladrina mientras dura el proceso, mediante el uso de taladrina.

Con la prensa pueden realizarse otro tipo de operaciones [2]:

- Centrado; Se usa para generar un agujero cónico y de poca profundidad, que hará de guía para evitar una desviación de la herramienta en una operación de taladrado posterior.
- Escariado; Se trata de una operación de acabado, en la que se procesan pequeñas cantidades de material, pero mejoran la precisión y el acado superficial.
- Abocardado: Generación de una superficie plana alrededor de la entrada del agujero, lo que puede ser útil para el acomodado de tuercas y arandelas.

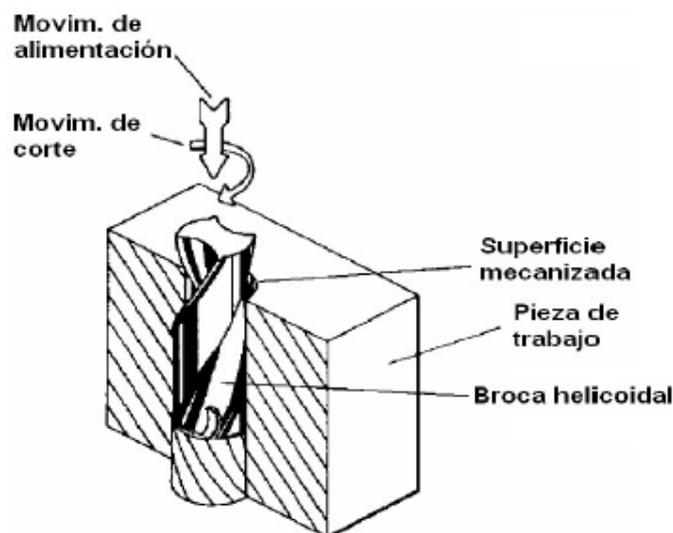


Figura A. 14. Operación de taladrado

Brochado:

El brochado consiste en pasar una herramienta de corte con forma rectilínea y provista de filos múltiples, llamada brocha, sobre la superficie a tallar de una pieza, ya sea por el exterior o por su interior, con objeto de darle una forma determinada (Ver la Figura A. 15) [24].

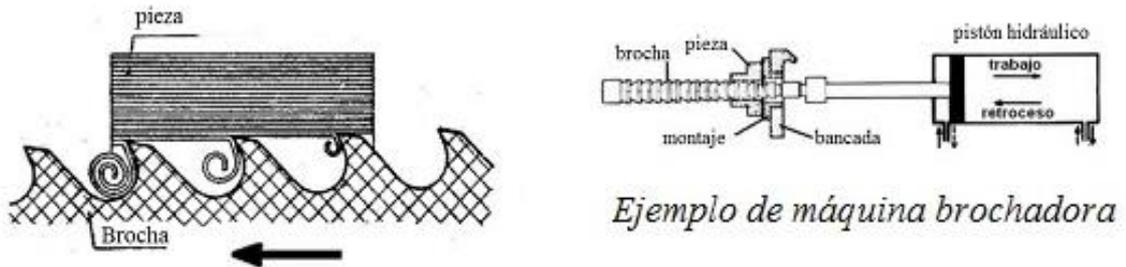


Figura A. 15. Operación de brochado y representación de máquina brochadora

El brochado se realiza normalmente de una sola pasada mediante el avance continuo de la brocha, la cual retrocede a su punto de partida después de completar su recorrido. La brocha trabaja por arranque progresivo de material mediante el escalonamiento racional de los dientes, determinado por la forma cónica de la herramienta de corte.

El movimiento de corte lo produce la brocha al avanzar, mientras que la pieza permanece fija. Por otro lado, la profundidad de pasada la proporciona la propia herramienta debido al posicionamiento escalonado de los dientes de corte.

La brochadora es una máquina herramienta relativamente moderna que es bastante cara, por lo que su uso resulta rentable sólo cuando se necesiten producir series largas de piezas.

Es una máquina que resulta especialmente útil para realizar entallas o chavetas en todo tipo de piezas; piñones dentados, poleas, engranajes, etc. También se puede utilizar como prensa para enderezar, desatracar piezas oxidadas, montar y desmontar cojinetes, rodamientos, etc.

A3.2.Mecanizado con abrasivos

El mecanizado por abrasión se basa en la eliminación de material desgastando la pieza en pequeñas cantidades, desprendiéndose partículas en forma de viruta. En este tipo de mecanizado la eliminación de material se lleva a cabo mediante una herramienta sin filo definido. Este tipo de proceso de mecanizado requiere una fuerza menor y en términos de precisión y acabados superficiales se obtienen muy buenos resultados, aunque los tiempos de mecanizado sean más prolongados. [25].

De esta forma es posible clasificar las principales operaciones de mecanizado abrasivo tal y como indica la Figura A. 16:

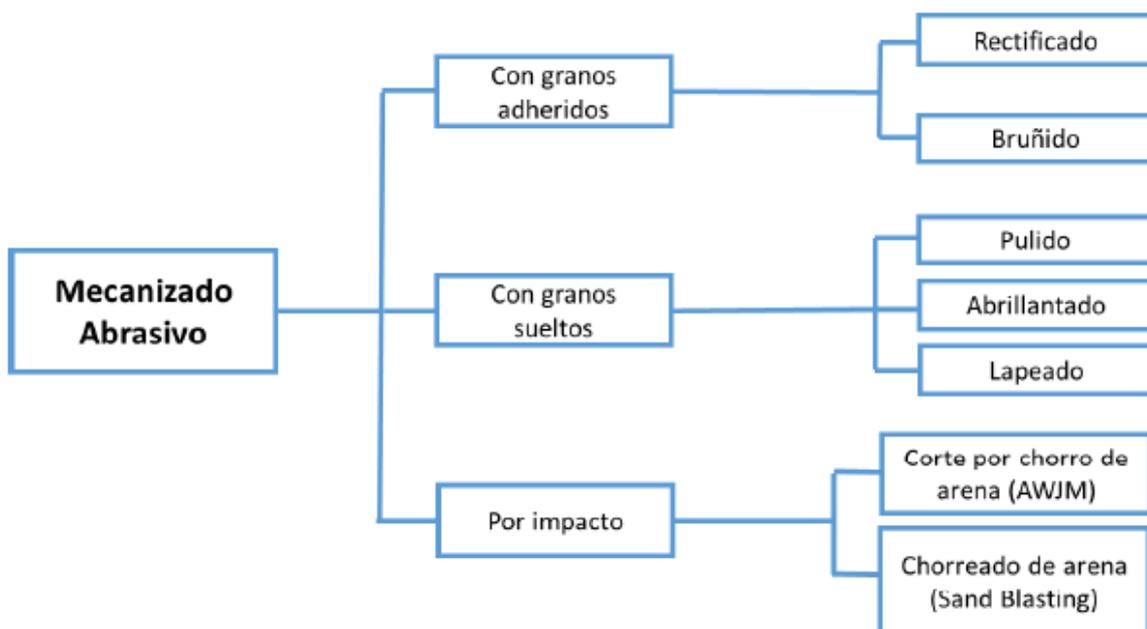


Figura A. 16. Clasificación de las principales operaciones abrasivas [25]

Las muelas abrasivas son generalmente cilíndricas, en forma de disco o copa, y se montan en unas máquinas conocidas como rectificadoras. Se utilizan a veces para el arranque de material, pero más comúnmente son utilizadas en operaciones de acabado. Al contrario de lo que ocurre con herramientas de corte de metales, el movimiento primario de éste tipo de procesos es siempre la rotación de la muela, aunque a menudo se aplican dos o más movimientos de generación (alimentación) a la pieza de trabajo para producir la forma deseada [2].

Rectificado: En el rectificado cilíndrico la pieza está apoyada en sus dos extremos y posee un movimiento de corte lento y uno transversal que se lo imprime la mesa. El husillo de la herramienta es horizontal y se le puede dar un movimiento de alimentación perpendicular al eje de rotación de la pieza. En el rectificado interno se tiene un movimiento transversal de la herramienta, paralelo al eje del husillo, la herramienta gira a gran velocidad, aunque la pieza de trabajo también tiene movimiento de giro.

Bruñido: Operación empleada para mejorar el acabado superficial obtenido con procesos como el mandrinado, taladrado y rectificado de interiores. La herramienta de bruñido se basa en un juego de varillas abrasivas adheridas, conocidas generalmente como piedras. Dichas piedras, se montan sobre un mandril giratorio, el cual alcanza velocidades entre 45-90 m/min y aplican una fuerza radial hacia el exterior sobre la superficie del barreno. Además, la herramienta presenta un movimiento radial recíproco en forma de cruz [25]

Pulido: A partir de esta operación se obtiene un acabado superficial liso y lustroso. El mecanismo básico consiste en el ablandamiento y extendido de las capas superficiales debido al calentamiento por fricción, produciéndose una eliminación de material a una escala muy fina. Las piezas sometidas al pulido muestran una apariencia brillante, debido a la acción de extendido. Esta operación emplea abrasivos libres o sueltos. Además, el abrasivo se encuentra sujeto a una almohadilla de tejido suave. Esto permite que los granos abrasivos recorran los contornos de la superficie de la pieza, evitando la penetración de dichos granos sobre la misma.

Abrillantado: En los procesos de abrillantado suelen emplearse granos abrasivos más finos que en el pulido, obteniéndose de esta forma un acabado superficial aún más brillante y suave. Dichos granos son generalmente fabricados de tela o cuero. En la mayoría de los casos, el proceso se lleva a cabo con una pulidora. Esta operación es muy recomendable si se pretende igualar el brillo de diferentes piezas.

Lapeado: Esta operación se utiliza para mejorar el acabado superficial de superficies planas, cilíndricas o curvadas. La herramienta de lapeado es relativamente blanda y porosa. Se fabrica de hierro fundido, cobre, piel o tela. En esta operación, se introducen abrasivos sueltos entre una herramienta circular (rodillo), el cual podría ser una placa de hierro fundido, y la superficie de la pieza. Los abrasivos libres se encuentran suspendidos en un medio líquido (aceite), el cual hace de lubricante y ayuda a transportar el abrasivo.

A4. Macros para la tabulación de costes de material en función del grupo

En el presente anexo se recogen las macros creadas para la representación de las tablas de coste de material, desglosadas para los diferentes grupos formados para la estimación del coste medio por kilogramo.

Estas tablas, han sido ilustradas en el capítulo de resultados (Capítulo 7) y, como se mencionó en éste, las tablas han sido creadas a partir de varias macros.

Para crear tablas referidas a otros parámetros estudiados en el futuro, las estructuras de las macros recogidas aquí son perfectamente reutilizables, donde solo será necesario el ajuste de algunas variables de tipo rango o la definición de nuevos criterios de clasificación.

A4.1. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y la tipología de la preforma

En esta macro se emplean una serie de vectores y matrices para el cálculo y tabulación de los costes en función del material y la tipología de la preforma. Dicha macro se encuentra representada en la Figura A. 17.

```
Sub Tabular_Precios_Tod_Preformas()  
Dim WS As Worksheet  
Dim WB As Object  
Dim MatrixPrice() As Variant  
  
    archivo_o = ThisWorkbook.Name  
  
    Set WS = ThisWorkbook.Worksheets("Todas_Preformas")  
    WS.Activate  
  
    Col = WS.Cells(1, Columns.Count).End(xlToLeft).Column - 2  
    Fil = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
    ReDim MatrixPrice(Fil - 1, Col - 1)  
  
    j = 4: z = 2  
    For i = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        MatrixPrice(0, i) = Cells(1, j)  
        j = j + 1  
    Next i  
  
    For m = 1 To UBound(MatrixPrice, 1)  
        MatrixPrice(m, 0) = Cells(z, 2)  
        z = z + 1  
    Next m  
    |  
    ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
    If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
    uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
  
    For k = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        For p = 1 To UBound(MatrixPrice, 1)  
            Suma = Application.WorksheetFunction.SumIfs( _  
                Range("O2:O" & uf), Range("Q2:Q" & uf), _  
                MatrixPrice(0, k), Range("R2:R" & uf), MatrixPrice(p, 0))  
            Registros = Application.WorksheetFunction.CountIfs( _  
                Range("Q2:Q" & uf), MatrixPrice(0, k), Range("R2:R" & uf), _  
                MatrixPrice(p, 0))  
            If Suma = 0 Then  
                MatrixPrice(p, k) = 0  
            Else  
                MatrixPrice(p, k) = Suma / Registros  
            End If  
        Next p  
    Next k  
  
    WS.Select  
    w = 4: v = 2  
    For x = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 1)  
            Cells(v, w).Value = MatrixPrice(y, x)  
            v = v + 1  
        Next y  
        v = 2: w = w + 1  
    Next x  
End Sub
```

Figura A. 17. Macro para la tabulación de costes de materiales en función de la tipología de la preforma

A4.2. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y del tipo de barra

En esta macro se emplean una serie de vectores y matrices para el cálculo y tabulación de costes en función del material y el tipo de barra. Dicha macro se encuentra recogida en la Figura A. 18.

```
Sub Tabular_Precios_Tipo_Barra()  
Dim WS As Worksheet  
Dim WB As Object  
Dim MatrixPrice() As Variant  
  
    archivo_o = ThisWorkbook.Name  
  
    Set WS = ThisWorkbook.Worksheets("Tipo_Barra")  
    WS.Activate  
    Col = WS.Cells(1, Columns.Count).End(xlToLeft).Column - 2  
    ReDim MatrixPrice(3, Col - 1)  
    j = 4  
    For i = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        MatrixPrice(0, i) = Cells(1, j)  
        j = j + 1  
    Next i  
    MatrixPrice(1, 0) = "Profiles Bar"  
    MatrixPrice(2, 0) = "Solid Bar"  
    MatrixPrice(3, 0) = "Hollow Bar"  
  
    ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
    If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
    uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
  
    For k = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        For p = 1 To UBound(MatrixPrice, 1)  
            Suma = Application.WorksheetFunction.SumIifs(Range("O2:O" & uf), _  
                Range("Q2:Q" & uf), MatrixPrice(0, k), Range("S2:S" & uf), MatrixPrice(p, 0))  
            Registros = Application.WorksheetFunction.CountIifs(Range("Q2:Q" & uf), _  
                MatrixPrice(0, k), Range("S2:S" & uf), MatrixPrice(p, 0))  
            If Suma = 0 Then  
                MatrixPrice(p, k) = 0  
            Else  
                MatrixPrice(p, k) = Suma / Registros  
            End If  
        Next p  
    Next k  
  
    WS.Select  
    w = 4  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(2, w).Value = MatrixPrice(1, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
    w = 4  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(7, w).Value = MatrixPrice(2, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
    w = 4  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(13, w).Value = MatrixPrice(3, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
  
End Sub
```

Figura A. 18. Macro para la tabulación de lo coste de material en función del tipo de barra

A4.3. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material y de los grupos “Barras” y “Chapas”

En esta macro se emplean una serie de vectores y matrices para el cálculo y tabulación de costes en función del material y para los grupos “Barras” y “Chapas”. El código se representa en la Figura A. 19.

```
Sub Tabular_Precios_ElementoBarrayPlano()  
Dim WS As Worksheet  
Dim WB As Object  
Dim MatrixPrice() As Variant  
  
    archivo_o = ThisWorkbook.Name  
  
    Set WS = ThisWorkbook.Worksheets("Elemento_Barra_Plano")  
    WS.Activate  
    Col = WS.Cells(1, Columns.Count).End(xlToLeft).Column - 2  
    ReDim MatrixPrice(2, Col - 1)  
    j = 4  
    For i = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        MatrixPrice(0, i) = Cells(1, j)  
        j = j + 1  
    Next i  
    MatrixPrice(1, 0) = "Bar Element"  
    MatrixPrice(2, 0) = "Plane Element"  
  
    ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
    If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
    uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
  
    For k = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        For p = 1 To UBound(MatrixPrice, 1)  
            Suma = Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range("O2:O" & uf), _  
                Range("Q2:Q" & uf), MatrixPrice(0, k), Range("T2:T" & uf), MatrixPrice(p, 0))  
            Registros = Application.WorksheetFunction.CountIfs(Range("Q2:Q" & uf), _  
                MatrixPrice(0, k), Range("T2:T" & uf), MatrixPrice(p, 0))  
            If Suma = 0 Then  
                MatrixPrice(p, k) = 0  
            Else  
                MatrixPrice(p, k) = Suma / Registros  
            End If  
        Next p  
    Next k  
  
    WS.Select  
    w = 4  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(2, w).Value = MatrixPrice(1, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
    w = 4  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(16, w).Value = MatrixPrice(2, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
  
End Sub
```

Figura A. 19. Macro para la tabulación del coste de material en función de los grupos “Barras” y “Chapas”

A4.4. Tabulación del coste medio por kilogramo en función del material e independientemente de la tipología de la preforma (“Tocho”)

En esta macro se emplean una serie de vectores y matrices para el cálculo y tabulación de costes en función del material e independientemente de la tipología de preforma (“Tocho”). Esta macro se representa en la Figura A. 20.

```
Sub Tabular_Precio_ElementoTocho()  
Dim WS As Worksheet  
Dim WB As Object  
Dim MatrixPrice() As Variant  
  
    archivo_o = ThisWorkbook.Name  
  
    Set WS = ThisWorkbook.Worksheets("Elemento_Tocho")  
    WS.Activate  
    Col = WS.Cells(1, Columns.Count).End(xlToLeft).Column - 1  
    ReDim MatrixPrice(1, Col - 1)  
    j = 2  
    For i = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        MatrixPrice(0, i) = Cells(1, j)  
        j = j + 1  
    Next i  
    ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos").Select  
    If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData  
    uf = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row  
  
    For k = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Suma = Application.WorksheetFunction.SumIfs(Range("O2:O" & uf), _  
            Range("Q2:Q" & uf), MatrixPrice(0, k))  
        Registros = Application.WorksheetFunction.CountIfs(Range _  
            ("Q2:Q" & uf), MatrixPrice(0, k))  
        If Suma = 0 Then  
            MatrixPrice(1, k) = 0  
        Else  
            MatrixPrice(1, k) = Suma / Registros  
        End If  
    Next k  
  
    WS.Select  
    w = 2  
    For y = 1 To UBound(MatrixPrice, 2)  
        Cells(2, w).Value = MatrixPrice(1, y)  
        w = w + 1  
    Next y  
End Sub
```

Figura A. 20. Macro para la tabulación del coste de material independientemente del tipo de la preforma (“Tocho”)