

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
SISTEMÁTICA DE MUELAS DE  
RECTIFICADO***

**Alumno/Alumna:** Garcia-Aguirrebeitia Sanchez, Diego

**Director/Directora:** Pombo Rodilla, Iñigo

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** <Bilbao, 25, junio, 2019>

## RESUMEN

### Castellano

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar el comportamiento de un par pieza-muela para procesos de rectificado. Para ello, se llevarán a cabo distintos ensayos en las máquinas rectificadoras BLOHM ORBIT 36 y DANOBAT FG600S, ensayos planos y cilíndricos respectivamente. Ambas máquinas propiedad de la Universidad del País Vasco.

En estos ensayos se evaluará un rango de condiciones que abarque el funcionamiento normal de un par pieza-muela en condiciones industriales de trabajo, donde se tendrá en cuenta, el tipo de muela utilizado, el tipo de diamantador, el material rectificado, así como las condiciones de lubricación. Se variarán los parámetros en cada ensayo para así poder definir el comportamiento en su totalidad.

Para la caracterización del comportamiento, será necesario establecer un protocolo de ensayos. Se han definido dos protocolos distintos. Se trabajará primero con uno y después con el otro con el fin de establecer cuál de los dos es más completo, es decir, cual caracteriza mejor el comportamiento del par pieza-muela. Además del comportamiento en rectificado, también se buscará caracterizar el desgaste que sufre la muela durante los ensayos realizados.

Se emplearán distintos instrumentos de medida para la obtención de datos del proceso, tales como potencia, profundidad de pasada. Asimismo, se generará un programa informático de software libre, que nos permita analizar el desgaste del proceso a partir de las fotos obtenidas durante los ensayos con el microscopio Dino-Lite.

Finalmente, con los resultados obtenidos de los ensayos, obtendremos conclusiones acerca de la validez de los protocolos y se estudiará si se ha conseguido caracterizar el comportamiento del par pieza-muela, y si se podría caracterizar cualquier otro par de la misma manera.

## **EUSKERA**

Lan honen helburua, artezketa prozesuetan pieza-errotarri bikote baten portaera karakterizatzea da. Horretarako, entsegu ezberdinak egin dira bi artezketa makinetan, BLOHM ORBIT 36 eta DANOBAT FG600S, artezketa laua eta zilindrikorako hurrenez hurren. Bi makinak, Euskal Herriko Unibersitatearen ondasunak dira.

Entsegu hauetan, baldintza tarte bat ebaluatuko da. Tarte honek, industrian normalean erabilitako kondizioak barne hartuko ditu. Gainera, zenbait alderdi kontuan izango ditu: Artezketa errotarri mota, diamante mota, piezaren materiala baita lubrikazio baldintzak. Parametroak ezberdinak erabiliko dira entsegu bakoitzean, portaera guztiz definitzeko.

Bikotearen portaera karakterizatzeko, entsegu protokolo bat ezarri behar da. Beraz, bi protokolo ezberdin sortu dira. Lehenik, protokolo bat erabiliko da, eta ondoren bestea, horrela ikus daiteke bietatik zein den hobeto karakterizatzen duena. Artezketa prozesuan portaera ikusteaz gain, errotarriaren higadura ere aztertuko da entseguetan.

Tresna ezberdinak erabiliko dira prozesuari buruzko informazioa jasotzeko, potentzia eta iraganaldi sakonera esate baterako. Halaber, programa informatiko bat egingo da software libre batekin. Programa, higadura aztertzeko erabiliko da, Dino-Lite mikroskopioarekin ateratako argazkiak erabiliz.

Azkenik, entseguetatik lortutako emaitzekin, protokoloei buruzko ondorioak aterako dira. Bikotearen portaeraren karakterizazioa lortu den ala ez aztertuko da eta beste bikoteentzako balioetasuna aztertuko da.

## ENGLISH

The main objective of this paper is characterising the performance of a wheel-workpiece pair in grinding processes. In order to achieve it, different tests will be carried out with the grinding machines BLOHM ORBIT 36 and DANOBAT FG600S, for surface and cylindrical grinding respectively. Both machines are property of the University of the Basque Country.

In this tests, a set of conditions will be assessed so they cover the typical industrial operation conditions for grinding on the wheel-workpiece pair. Several points will be taken into account, such as wheel and diamond dresser typology, workpiece material and lubrication conditions. Parametres will be varied in every test to get the performance of the wheel-workpiece pair totally determined.

For the characterisation of the performance, establishing a test protocol will be required. Two different protocols have been defined. Both will be carried out at separate times in order to establish which one is the most complete. That is to say, the one that better characterises the wheel-workpiece pair performance. As well as the grinding performance, wheel wear generated during the test will be characterised too.

Various measurement instruments will be used for the process data acquisition, including power consumption and depth of cut. Additionally, a freely available software informatic program will be developed. It will allow analysing the Wear Flat generated in the process, based on the photos obtained through the Dino-Lite microscope during the tests.

Finally, and having obtained the tests results, conclusions will be held about the validity of the protocols. The achievement of the wheel-workpiece pair performance characterisation will be studied. In addition, the possibility of extrapolating the same characterisation system to any other wheel-workpiece pair will be analysed.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
SISTEMÁTICA DE MUELAS DE  
RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 1 - ÍNDICE***

**Alumno/Alumna:** Garcia-Aguirrebeitia Sanchez, Diego

**Director/Directora:** Pombo Rodilla, Iñigo

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** <Bilbao, 25, junio, 2019>

1. INDICE.....	5
2. LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS.....	8
2.1.    Lista de figuras.....	10
2.2.    Lista de tablas.....	12
2.3.    Lista de gráficas.....	13
3. MEMORIA.....	14
3.1.    Introducción.....	16
3.2.    Contexto.....	16
3.3.    Objetivos y alcance del trabajo.....	17
3.4.    Beneficios que aporta el trabajo.....	18
3.5.    Descripción de requerimientos y descripción del estado del arte.....	18
3.5.1.    Tipo de piezas.....	18
3.5.2.    Tipo de procesos.....	19
3.5.3.    Herramienta – Muela abrasiva.....	22
3.5.4.    Fluido de corte.....	23
3.5.5.    Diamante.....	24
3.5.6.    Parámetros.....	27
3.5.7.    Problemática del trabajo.....	29
3.6.    Descripción de la solución propuesta.....	30
3.7.    Metodología seguida en el desarrollo del trabajo.....	30
3.7.1.    Descripción de tareas, fases o procedimientos.....	30
3.7.2.    Diagrama de Gantt.....	34
3.7.3.    Definición de protocolos.....	35
3.7.4.    Equipos.....	43
3.7.5.    Cálculos.....	50
3.7.6.    Descripción de resultados.....	55
3.8.    Aspectos económicos.....	64
3.8.1.    Desglose detallado.....	64
3.8.2.    Presupuesto total de ejecución del proyecto.....	66
3.9.    Conclusiones.....	66
3.10.   Bibliografía.....	67
3.10.1.  Libros y artículos.....	67

3.10.2.	Programas informáticos .....	67
3.10.3.	Normas.....	67
3.10.4.	Catálogos.....	68
3.10.5.	Fotos.....	68
4.	ANEXOS.....	69
	ANEXO I: PROGRAMACIÓN PYTHON .....	71
	ANEXO II: FICHAS TECNICAS .....	77
	ANEXO III: RESULTADOS.....	80
	ANEXO IV: PLANOS .....	88

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
SISTEMÁTICA DE MUELAS DE  
RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 2 – LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS***

**Alumno/Alumna:** Garcia-Aguirrebeitia Sanchez, Diego

**Director/Directora:** Pombo Rodilla, Iñigo

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** <Bilbao, 25, junio, 2019>



2. LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS .....	8
2.1. Lista de figuras .....	10
2.2. Lista de tablas .....	12
2.3. Lista de gráficas.....	13

## **2.1. Lista de figuras**

Figura 1. IK4-IDEKO S. Coop. en Elgoibar .....	16
Figura 2. Digital Grinding Innovation Hub .....	17
Figura 3. Ejemplo de piezas rectificadas.....	19
Figura 4. Esquema rectificado plano tangencial.....	20
Figura 5. Esquema de plongée .....	20
Figura 6. Esquema de vaivén .....	21
Figura 7. Esquema de rectificado sin centros .....	21
Figura 8. Muelas convencionales.....	22
Figura 9. Muelas de superabrasivos .....	22
Figura 10. Contacto teórico grano-pieza.....	23
Figura 11. Diferentes desgastes de muela .....	25
Figura 12. Clasificación de diamantadores.....	26
Figura 13. Diamantadores estáticos y moleta.....	26
Figura 14. Acabado superficial a diferentes $q_s$ .....	27
Figura 15. Esquema general de las tareas realizadas .....	31
Figura 16. Dimensiones de la pieza a ensayar protocolo preliminar.....	35
Figura 17. Esquema de trabajo del protocolo preliminar de ensayos.....	38
Figura 18. Dimensiones (mm) de las piezas a ensayar protocolo industrial .....	39
Figura 19. Piezas a ensayar protocolo industrial.....	39
Figura 20. Esquema de trabajo del protocolo industrial de ensayos .....	42
Figura 21. BLOHM ORBIT 36 .....	43
Figura 22. DANOBAT FG600S .....	43
Figura 23. Mitutoyo 543 ID-C125XB y brazo articulado .....	44
Figura 24. Tarjeta de medición de potencias UPC-230 (Load Controls Inc.) .....	44
Figura 25. Tarjeta de adquisición de datos USB-6008 (National Instruments) .....	45
Figura 26. Muela protocolo preliminar .....	45
Figura 27. Muelas protocolo industrial .....	46
Figura 28. Diamante loseta SG1A 6A MC1 .....	47
Figura 29. Utillaje con y sin diamante .....	47
Figura 30. Kondia B-700.....	48

Figura 31. Taladro Fortex BF 35 TC R+L .....	48
Figura 32. Bloque de grafito.....	48
Figura 33. Microscopio Dino-Lite.....	49
Figura 34. Amarre de piezas para ensayos en cilíndrico.....	49
Figura 35. Display de Inicio SWGreat (Power analysis) .....	50
Figura 36. Ejemplos de análisis de potencia.....	51
Figura 37. Esquema del volumen perdido de muela .....	52
Figura 38. Display de inicio SWGreat (Wear Flat analysis) .....	53
Figura 39. Procesado de imágenes mediante SWGreat.....	54

## 2.2. Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros básicos del rectificado plano tangencial.....	20
Tabla 2. Parámetros básicos del rectificado cilíndrico.....	21
Tabla 3. Parámetros básicos del diamantado .....	26
Tabla 4. Valores teóricos de $Q_w'$ .....	27
Tabla 5. Valores orientativos $q_s$ .....	27
Tabla 6. Diagrama de Gantt .....	34
Tabla 7. Características y propiedades GG30.....	35
Tabla 8. Batería de ensayos protocolo preliminar .....	36
Tabla 9. Parámetros diamantado protocolo preliminar.....	37
Tabla 10. Composición química F-522.....	39
Tabla 11. Batería de ensayos en rectificado cilíndrico protocolo industrial .....	40
Tabla 12. Batería de ensayos en rectificado plano protocolo industrial.....	41
Tabla 13. Parámetros de diamantado protocolo industrial .....	42
Tabla 14. Características de la muela protocolo preliminar .....	45
Tabla 15. Características de las muelas protocolo industrial.....	46
Tabla 16. Características loseta SG1A 6A MC1.....	47
Tabla 17. Resultados de la batería de ensayos del protocolo preliminar.....	55
Tabla 18. Resultados batería de ensayos plano del protocolo industrial.....	57
Tabla 19. Resultados batería de ensayos cilíndrico del protocolo industrial.....	59
Tabla 20. Resultados desgaste volumétrico.....	62
Tabla 21. Resultados de generación de Wear Flat.....	63
Tabla 22. Presupuesto pormenorizado de recursos humanos .....	64
Tabla 23. Presupuesto pormenorizado de recursos material fungibles .....	65
Tabla 24. Presupuesto pormenorizado de recursos materiales amortizables.....	65
Tabla 25. Presupuesto pormenorizado de recursos informáticos amortizables.....	65

### 2.3. Lista de Gráficas

Gráfica 1. $e_c$ vs $h_{eq}$ protocolo preliminar .....	56
Gráfica 2. $e_c$ vs $G_{ch}$ protocolo preliminar .....	56
Gráfica 3. $e_c$ vs Agresividad protocolo preliminar.....	57
Gráfica 4. $e_c$ vs Agresividad protocolo industrial ensayos en plano .....	58
Gráfica 5. $e_c$ vs $G_{ch}$ protocolo industrial ensayos en plano .....	58
Gráfica 6. $e_c$ vs Agresividad protocolo industrial ensayos en cilíndrico .....	60
Gráfica 7. $e_c$ vs $G_{ch}$ protocolo industrial ensayos en cilíndrico.....	60
Gráfica 8. Comparativa del comportamiento plano/cilíndrico I.....	61
Gráfica 9. Comparativa del comportamiento plano/cilíndrico II .....	61
Gráfica 10. G (Razón de rectificado) a 18m/s 40000mm/min .....	62
Gráfica 11. G (Razón de rectificado) a 26m/s 30000mm/min .....	62
Gráfica 12. Generación de Wear Flat 18m/s 40000mm/min.....	63
Gráfica 13. Generación de Wear Flat 26m/s 30000mm/min.....	64

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
SISTEMÁTICA DE MUELAS DE  
RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 3 - MEMORIA***

**Alumno/Alumna:** Garcia-Aguirrebeitia Sanchez, Diego

**Director/Directora:** Pombo Rodilla, Iñigo

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** <Bilbao, 25, junio, 2019>

3. MEMORIA .....	14
3.1. Introducción .....	16
3.2. Contexto .....	16
3.3. Objetivos y alcance del trabajo .....	17
3.4. Beneficios que aporta el trabajo .....	18
3.5. Descripción de requerimientos y descripción del estado del arte.....	18
3.5.1. Tipo de piezas.....	18
3.5.2. Tipo de procesos.....	19
3.5.3. Herramienta – Muela abrasiva .....	22
3.5.4. Fluido de corte.....	23
3.5.5. Diamante .....	24
3.5.6. Parámetros.....	27
3.5.7. Problemática del trabajo.....	29
3.6. Descripción de la solución propuesta.....	30
3.7. Metodología seguida en el desarrollo del trabajo .....	30
3.7.1. Descripción de tareas, fases o procedimientos.....	30
3.7.2. Diagrama de Gantt.....	34
3.7.3. Definición de protocolos.....	35
3.7.4. Equipos .....	43
3.7.5. Cálculos.....	50
3.7.6. Descripción de resultados.....	55
3.8. Aspectos económicos.....	64
3.8.1. Desglose detallado .....	64
3.8.2. Presupuesto total de ejecución del proyecto .....	66
3.9. Conclusiones.....	66
3.10. Bibliografía .....	67
3.10.1. Libros y artículos.....	67
3.10.2. Programas informáticos .....	67
3.10.3. Normas.....	67
3.10.4. Catálogos.....	68
3.10.5. Fotos.....	68

### 3.1. Introducción

El presente proyecto, pretende a través de la definición de un protocolo de trabajo lograr la caracterización simple y sencilla de un par pieza-muela y su comportamiento en el rectificado, con el fin de mejorar el proceso y obtener un aumento del rendimiento y la productividad en la industria. En este documento, se explica cuál es el contexto en el que se desarrolla el trabajo, los objetivos que se pretenden cumplir y el alcance del mismo, los beneficios que puede aportar a la industria, el estado del arte en el ámbito del rectificado, un análisis de las distintas alternativas y un desarrollo más completo de la solución escogida. Se definirá también cual va a ser la metodología de trabajo y cuáles serán las pruebas a realizar, además de la instrumentación necesaria para realizar las mediciones y cuáles han sido los resultados tras los ensayos.

### 3.2. Contexto

Este trabajo se realiza en cooperación educativa junto a la empresa IK4-IDEKO S. Coop., perteneciente a DANOBATGROUP, es un centro tecnológico especializado en tecnologías de fabricación y producción industrial. El cual se encuentra ubicado en el polígono industrial de Arriaga en Elgoibar (ver Figura 1).



*Figura 1. IK4-IDEKO S. Coop. en Elgoibar (14).*

IK4-IDEKO S. Coop. es especialista en la investigación de nuevas tecnologías de fabricación y producción. Su actividad se comprende desde la identificación y el análisis de oportunidades, pasando por el diseño y desarrollo tecnológico de productos, líneas de negocio y procesos productivos, y hasta la resolución de problemas mediante la prestación de servicios tecnológicos tales como consultoría técnica y facilitación de equipamiento.

El departamento de investigación y desarrollo se divide en 4 grupos de investigación: Dinámica y control, Diseño e ingeniería de precisión, TICs y automatización y Procesos de fabricación. Es este último departamento el



encargado de innovar para elevar la eficiencia del proceso de fabricación y su productividad. Se encarga de introducir las últimas tecnologías y las soluciones más avanzadas en los distintos procesos. Entre los diferentes procesos de mecanizado se encuentran el fresado, torneado, procesos de láser y rectificado. En lo referente al rectificado, el centro tecnológico cuenta con un nuevo espacio dirigido al desarrollo de tecnologías digitales y soluciones de rectificado de elevada precisión, Digital Grinding Innovation Hub (DGIH) (ver Figura 2), el cual constituye un espacio colaborativo y centrado en la experimentación, demostración y validación de proyectos de investigación dirigidos a la digitalización industrial y a la tecnología de rectificado, tal y como es el caso del siguiente proyecto.



*Figura 2. Digital Grinding Innovation Hub (15).*

Las distintas actividades a realizar durante dicho proyecto, aun siendo realizado en cooperación con IK4-IDEKO S. Coop., se desarrollarán en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería de Bilbao (EIB), más concretamente en los talleres mecánicos del edificio B y C, los cuales cuentan con una máquina rectificadora plana y una cilíndrica respectivamente.

### **3.3. Objetivos y alcance de trabajo**

El objetivo principal que abordará el presente trabajo es el siguiente:

- Caracterizar el comportamiento del par pieza-muela en procesos de rectificado

Como objetivos secundarios se presentan los siguientes:

- Definir un protocolo de ensayos que sirva como medio para el análisis y caracterización del par pieza-muela.

- Definir unos parámetros indicadores del proceso que permitan caracterizar el comportamiento del mismo.
- Generar una herramienta que permita predecir el comportamiento del proceso a partir de los datos obtenidos.

### 3.4. Beneficios que aporta el trabajo

Los principales beneficios que aportará el trabajo realizado en este TFG son los siguientes:

- Estandarización del análisis del par muela-pieza para una determinada aplicación.
- Posibilidad de recogida masiva de datos para predecir el comportamiento del proceso.
- Minimización del tiempo de puesta a punto del proceso en nuevas aplicaciones.
- Posibilidad de implantar la sensórica de monitorización en máquinas reales para el análisis del proceso durante su ejecución industrial.

### 3.5. Descripción de requerimientos y descripción del estado del arte

El rectificado es un proceso de mecanizado que utiliza partículas abrasivas como medio de corte. A diferencia de otros procesos, en el rectificado el arranque de material se realiza por abrasión lo que permite obtener un acabado fino y gran precisión.

#### 3.5.1. Tipo de piezas

Debido a la gran precisión del proceso, el rectificado es considerado como óptimo para la obtención de piezas con altas exigencias en cuanto a acabados superficiales y tolerancias dimensionales. Es por esa razón que el rectificado se sitúa entre las etapas finales del proceso de fabricación, otorgando un alto valor añadido a las piezas obtenidas. Asimismo, el rectificado se emplea en el mecanizado de materiales de extrema dureza o fragilidad que no pueden ser mecanizados mediante otros procesos.

Se pueden encontrar ejemplos de piezas rectificadas en gran parte de los sectores industriales: aeronáutica, electrónica, fabricación de herramientas de corte, automoción o salud (ver Figura 3).



Figura 3. Ejemplo de piezas rectificadas (16-19).

### 3.5.2. Tipo de procesos

En función de las piezas y geometrías a rectificar y la disposición constructiva de las máquinas, se puede dividir el rectificado en tres grandes tipos: rectificado plano, rectificado cilíndrico, y rectificado sin centros.

#### *RECTIFICADO PLANO*

Se emplea generalmente para el planeado de piezas, aunque también puede usarse para el perfilado de las mismas. Existen dos tipos diferenciados de rectificado plano:

- Rectificado frontal: La muela gira en torno al eje del husillo, y es la cara plana de la muela la que trabaja, desplazándose con un movimiento rectilíneo. En general se utiliza para una rápida eliminación de material (desbaste).
- Rectificado tangencial: La muela gira en torno al eje del husillo, y es su cara circular la que está en contacto con la pieza y que trabaja arrancando material. Se utiliza para obtener una alta precisión y para obtener geometrías.

En ambos casos es generalmente la pieza, la cual está amarrada a la mesa, la que se desplaza tanto longitudinal como circularmente.

En la Figura 4 se puede observar un caso de rectificado tangencial en el que la muela gira en torno al eje z, y la mesa avanza en dirección perpendicular a este. El rectificado puede ser en oposición o en concordancia en función del sentido de la velocidad de avance  $v_w$ .

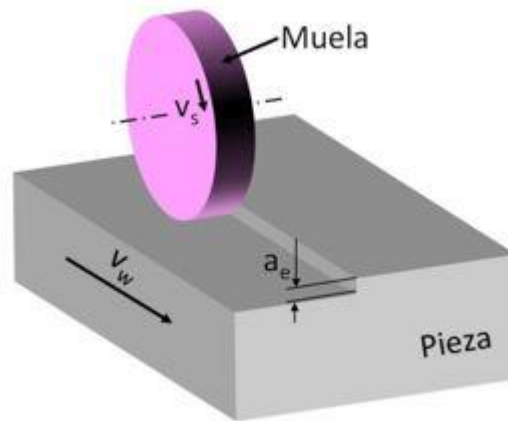


Figura 4. Esquema rectificado plano tangencial (20).

Parámetro	Descripción	Unidades
$a_e$	Profundidad de pasada	mm
$v_w$	Velocidad de avance	m/min
$v_s$	Velocidad de corte (muela)	m/s
$b_w$	Ancho de pasada	mm

Tabla 1. Parámetros básicos del rectificado plano tangencial.

### RECTIFICADO CILÍNDRICO

Se emplea en general para realizar el acabado de piezas de revolución que han pasado previamente por un proceso de torneado. Existen procesos de rectificado cilíndrico de interiores y de exteriores. Se diferencian dos tipos de operaciones:

- Plongée o penetración: La muela avanza en perpendicular al eje de giro.

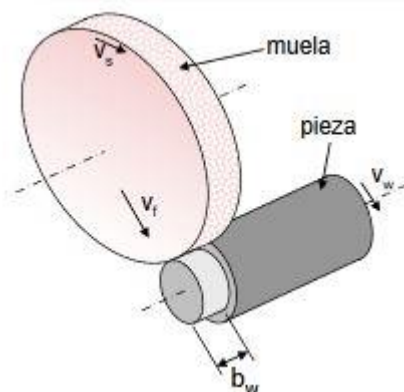


Figura 5. Esquema de plongée (13).

- Traverse o vaivén: El movimiento se produce en sentido paralelo a los ejes.

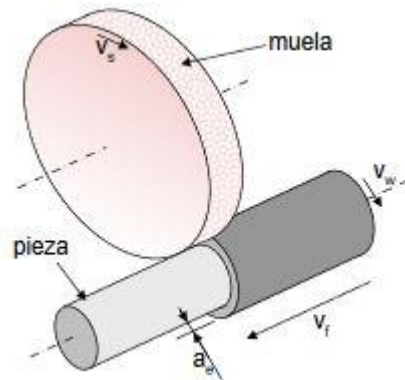


Figura 6. Esquema de vaivén (13).

Parámetro	Descripción	Unidades
$a_e$	Profundidad de pasada	mm
$v_w$	Velocidad de pieza	rpm
$v_s$	Velocidad de corte (muela)	m/s
$b_w$	Ancho de pasada	mm
$v_f$	Velocidad de avance	mm/min

Tabla 2. Parámetros básicos del rectificado cilíndrico.

### RECTIFICADO SIN CENTROS

Se emplea para el rectificado de pequeñas piezas de revolución que no pueden ser sujetadas por los utillajes, piezas de gran esbeltez y para largas tiradas. Se incluyen la muela reguladora y la regla de apoyo. Estos dos elementos ayudan a guiar la pieza desde la entrada hasta la salida mientras la muela rectificadora acaba la pieza. Como ventajas, minimiza los tiempos de amarre, posee alta precisión (sin errores de centrado) y es de fácil automatización.

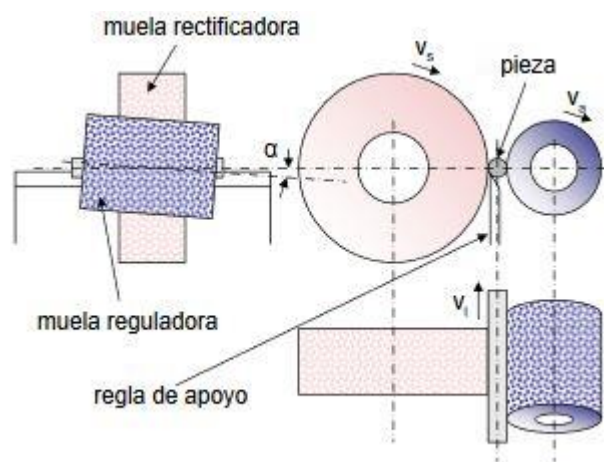


Figura 7. Esquema rectificado sin centros (13).

### 3.5.3. Herramienta - muela abrasiva

Es la herramienta utilizada en rectificado, es la principal característica y lo que lo diferencia del resto de procesos de mecanizado. Las muelas en general, están compuestas por granos abrasivos y material de unión, denominado aglomerante. También existen poros, en los que a lo largo del proceso se alojará la viruta produciendo el fenómeno de embotamiento.

La muela puede estar compuesta por diferentes materiales. La primera clasificación divide el conjunto de muelas en dos: abrasivos convencionales y superabrasivos.

Dentro de los abrasivos convencionales se encuentran dos tipos destacados:

- Alúmina ( $Al_2O_3$ ). Enfocada al rectificado de materiales férricos y con velocidades de corte medias.
- Carburo de Silicio (SiC). Para el rectificado de materiales cerámicos, carbonados y no férricos.



*Figura 8. Muelas convencionales (22).*

En el caso de los superabrasivos se encuentran otros dos:

- Diamante. Rectificado a altas velocidades de cerámicas y metal duro.
- CBN (Nitruro de Boro Cúbico): Rectificado de materiales férricos de extrema dureza y aleaciones termoresistentes.



*Figura 9. Muelas de superabrasivo (21).*

Las muelas de abrasivos convencionales están formadas en general, solo por material abrasivo y aglomerante. A diferencia de estas, las muelas de superabrasivo, poseen un núcleo metálico. Esto se debe a las altas velocidades de giro a las que se ven sometidas, las cuales podrán hacer explotar una muela íntegramente hecha de material abrasivo. Además, el núcleo metálico facilita la evacuación del calor generado en el proceso a altas temperaturas.

El proceso de arranque de material es llevado a cabo por los granos abrasivos que componen la muela, es decir, cada grano es una herramienta de corte microscópica. Sin embargo, muchos granos trabajan al mismo tiempo en el proceso de corte. Este hecho, provoca una gran dificultad a la hora de estudiar teóricamente el proceso de rectificado. Atendiendo a la Figura 10 se puede observar que se trata de una herramienta con un ángulo de desprendimiento muy negativo y que posee un ángulo de incidencia prácticamente nulo. Lo que hace del rectificado un proceso poco eficiente en lo referente al consumo de energía por volumen de material arrancado.

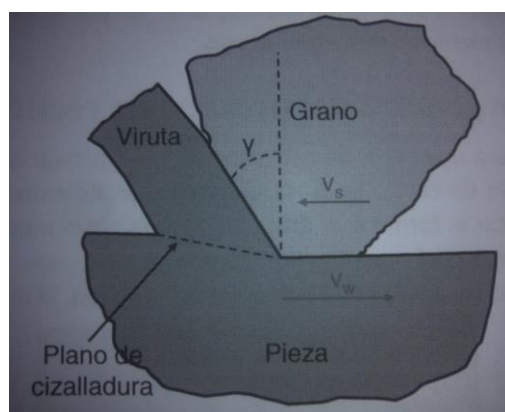


Figura 10. Contacto teórico grano-pieza (1).

### 3.5.4. Fluido de corte

#### *FUNCIONES DEL FLUIDO DE CORTE*

El fluido de corte es un elemento común muy importante en los procesos de mecanizado, sin ser el rectificado una excepción. Cumple las siguientes funciones durante el proceso de rectificado:

- Refrigeración: El fluido de corte se encarga de evacuar el calor generado debido a las altas temperaturas tanto en la zona de contacto como en el resto de la pieza. De esta manera, se evitan posibles daños térmicos y la generación involuntaria de tratamientos térmicos en la pieza que pueden aumentar o disminuir su dureza, e incluso cambiar su composición.
- Lubricación: La correcta lubricación de la pieza consigue reducir el rozamiento entre los granos y la pieza, disminuyendo la rugosidad superficial de la pieza y permitiendo reducir las fuerzas generadas y por tanto la energía consumida y el calor generado.

-Limpieza: Es importante la evacuación de la viruta tanto de la pieza como de la muela, para evitar el embotamiento de la misma. Fenómeno que disminuye el rendimiento de proceso.

-Mejora de la superficie obtenida: El fluido de corte permite amortiguar pequeñas vibraciones generadas en el contacto muela-pieza. Esto provoca un aumento de la calidad superficial y una mayor facilidad para cumplir las tolerancias exigidas para dicha pieza.

-Generación de condiciones ambientales óptimas: El fluido de corte cubre la pieza durante el proceso, reduciendo su tiempo exposición a la atmosfera lo que permite reducir la oxidación de la superficie generada.

Para lograr que el fluido de corte cumpla sus funciones correctamente, es importante controlar el caudal, el ángulo de incidencia, la geometría de la tobera, presión, etc.

### *CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE CORTE*

Los fluidos de corte se clasifican de la siguiente manera según la norma DIN 51 385:

-Fluidos no solubles en agua:

Están compuestos en casi en su totalidad por hidrocarburos naturales o sintéticos. Estos fluidos generan una película en la superficie de la pieza, lo que hace que su función predominante sea la lubricación. Sin embargo, su alta inflamabilidad puede ser causa de accidentes debido a las virutas a altas temperaturas. Se trata por tanto de un tipo de fluido que permite obtener buenos acabados superficiales, pero con una mala capacidad de refrigeración.

-Fluidos solubles en agua:

Están compuestos por un aceite especial disuelto en agua. Suelen encontrarse con una concentración entre el 2 y el 6%, pudiendo alcanzar el 20% en casos muy específicos. Tienen buenas propiedades de refrigeración y lubricación, y presentan una peligrosidad menor. Sin embargo, son difíciles de reciclar y generan un gran impacto ambiental.

-WFC (Water Composite Fluids).

A los fluidos de corte se les añaden aditivos con el fin de mejorar sus propiedades: solubilidad, resistencia a la corrosión, capacidad de lubricación.

### 3.5.5. Diamante

Las muelas se desgatan a medida que aumenta su uso, existiendo distintos tipos de desgaste, los cuales van a empeorar el desempeño de la muela y van a reducir la productividad del proceso y la exactitud de los resultados esperados. Podemos observar los diferentes tipos de desgaste en la Figura 11.



- a) Pérdida de filo de grano (Wear Flat). Se generan caras planas en los granos, lo que conlleva una pérdida en la capacidad de arranque de material de la muela y, por tanto, un aumento de la potencia consumida.
- b) Fractura o rotura de grano. Este tipo de desgaste, se genera debido a que el rectificado es un proceso interrumpido. Los granos estarán sometidos a altas temperaturas y fuerzas durante unos breves instantes para luego enfriarse rápidamente con el fluido de corte. Estos cambios bruscos, derivan en tensiones que acaban rompiendo o fracturando el grano. Pudiendo diferenciar entre astillamiento microcristalino y desprendimiento parcial de grano en función del tamaño.
- c) Desgaste de aglomerante. Sucede cuando las fuerzas que soportan los granos son mayores que la fuerza de retención que el aglomerante ejerce sobre ellos. Es importante que el desgaste de grano y de aglomerante sean del mismo orden. Si el desgaste de grano es mayor, habrá granos sin filo de corte trabajando. Y en el caso de que el desgaste de aglomerante sea mayor, se perderán granos útiles.
- d) Embotamiento de la muela. Cuando una muela se embota, no se desgasta, pero si pierde en gran medida su capacidad de corte. Este fenómeno sucede cuando el polvo del material rectificado no se evacúa correctamente y se aloja en los poros de la muela. Deriva en un aumento de las fuerzas implicadas y en el consumo de potencia, además de favorecer el daño térmico de las piezas.

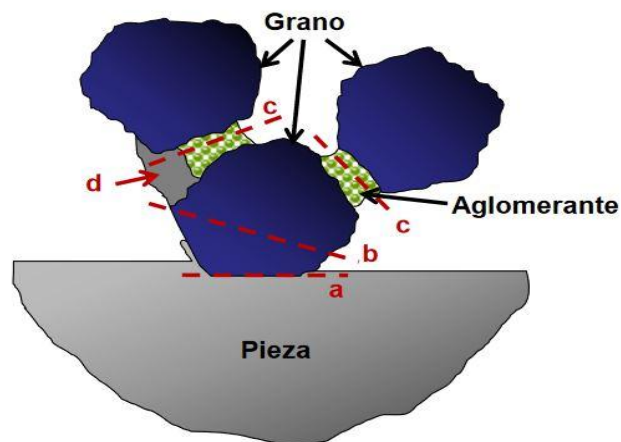


Figura 11. Diferentes desgastes de muela (13).

El diamantado es un proceso mediante el cual se consigue que la muela recupere las características geométricas y capacidad abrasiva que tenía al comienzo de su vida útil.

Los objetivos del diamantado son:

- Regeneración de la capacidad abrasiva: Mediante la microrrotura de granos para crear nuevos filos, y la eliminación del material embotado.
- Recuperación de la geometría de la muela.
- Generar nuevas geometrías en la muela que nos permitan realizar operaciones especiales.
- Eliminación del salto radial en el montaje de la muela.

En la industria se pueden clasificar los diamantes en dos grandes grupos: diamantes estáticos y móviles.

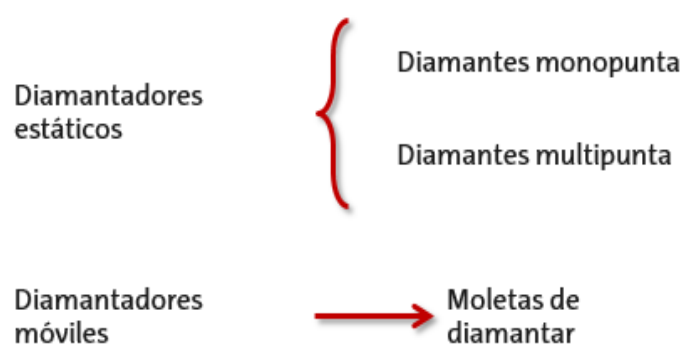


Figura 12. Clasificación de diamantadores



Figura 13. Diamantadores estáticos (izq.) (22) y moleta (dch.) (24).

En el diamantado podemos encontrar los siguientes parámetros:

Nombre	Descripción	Unidades
$V_s$	Velocidad periférica de la muela	m/s
$V_{fad}$	Velocidad de avance de la muela	mm/min
$a_d$	Profundidad de pasada en diamantado	$\mu\text{m}$
$U_d$	Ratio de diamantado	----
$w_m$	Velocidad de giro de la moleta	rpm
$S_d$	Avance del diamante	mm/rev

Tabla 3. Parámetros básicos del diamantado.

### 3.5.6. Parámetros

Los parámetros presentados en el apartado de los tipos de rectificado hacen referencia a los parámetros básicos de los movimientos de corte. Sin embargo, en la práctica industrial se utilizan otros parámetros por ser más representativos del comportamiento del proceso. Se definen los siguientes.

- Caudal específico de viruta,  $Q_w'$

Es el volumen de material rectificado por segundo por cada mm de anchura de muela abrasiva.

$$Q_w = \frac{b \cdot v_w \cdot a_e}{60} \rightarrow Q_w' = \frac{v_w \cdot a_e}{60} \quad \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{mm} \cdot \text{s}} \right] \quad (1)$$

Donde:

$Q_w$ , Caudal de viruta [ $\text{mm}^3/\text{s}$ ]

$Q_w'$ , Caudal específico de viruta [ $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$ ]

$b$ , anchura de pasada [mm]

$a_e$ , profundidad de pasada [mm]

$v_w$ , velocidad de avance [mm/min]

$Q_w'$ [ $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$ ]	Tipo de operación
1,5	Acabado
2	Semiacabado
3	Semidesbaste
5	Desbaste
$\geq 10$	Rectificado de alto rendimiento

Tabla 4. Valores teóricos de  $Q_w'$

- Ratio de velocidades,  $q_s$

Es la relación entre la velocidad periférica de la muela y la velocidad de avance de la pieza. Se trata de un parámetro adimensional.

$$q_s = \frac{v_s}{v_w} \quad (2)$$

Donde:

$v_w$ , velocidad de avance

$v_s$ , velocidad periférica de la muela

$l_s'$ , longitud de contacto teórica

Valores orientativos	
Desbaste	60-80
Acabado	80-120
Procesos especiales	$>1000$

Tabla 5. Valores orientativos  $q_s$

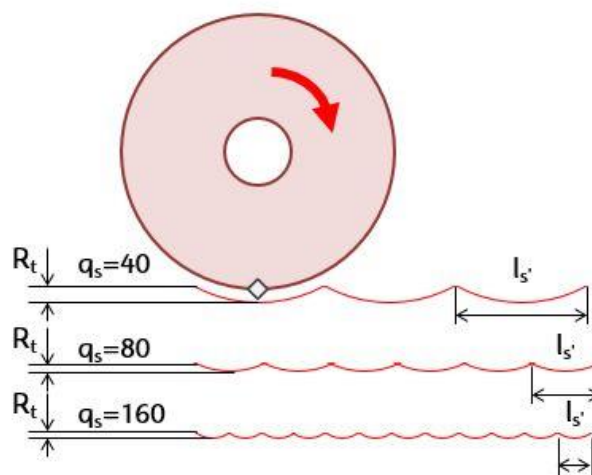


Figura 14. Acabado superficial a diferentes  $q_s$  (19).

- Espesor de viruta equivalente,  $h_{eq}$

Este parámetro se utiliza como medida de penetración de la muela en la pieza. Es un parámetro simplificado, pues no incluye el efecto del espaciado de grano. Es por esta razón que resulta muy útil para hacer cálculos y ensayos experimentales en condiciones conocidas. Sin embargo, no es válido para comparar casos distintos pues no varía en diferentes condiciones de uso.

$$h_{eq} = \frac{v_w}{v_s} \cdot a_e \quad [nm] \quad (3)$$

Donde:

$v_w$ , velocidad de avance [m/s]

$v_s$ , velocidad periférica de la muela [m/s]

$a_e$ , profundidad de pasada [m]

- Agresividad

Es considerado como un parámetro adimensional. Es un indicador de la agresividad del proceso, es decir, el volumen de material arrancado por segundo por ancho de pieza para una profundidad de pasada determinada.

$$Agresividad = \frac{Q_w'}{v_s \cdot \sqrt{d_s \cdot a_e}} \quad (4)$$

Donde:

$Q_w'$ , Caudal específico de viruta [ $mm^3/mm \cdot s$ ]

$a_e$ , profundidad de pasada [mm]

$v_s$ , velocidad periférica de la muela [m/s]

$d_s$ , diámetro de muela [mm]

- Factor de viruta,  $G_{ch}$

Es un parámetro que al igual que  $h_{eq}$ , depende de los principales parámetros de rectificado, solo que también incluye en su cálculo el diámetro de la muela. La expresión de dicho parámetro proviene de la aproximación del valor de la energía específica. Es un parámetro análogo a la agresividad.

$$e_c \propto \sqrt{\frac{v_s}{v_w} \cdot C \cdot r \sqrt{\frac{d_s}{a_e}}} \quad (5)$$

$$G_{ch} = \sqrt{\frac{v_w}{v_s} \cdot \sqrt{\frac{a_e}{d_s}}} \quad (6)$$

Donde:

$v_w$ , velocidad de avance [m/s]

$v_s$ , velocidad periférica de la muela [m/s]

$a_e$ , profundidad de pasada [mm]

$d_s$ , diámetro de muela [mm]

C, densidad de granos activos

r, factor de forma de grano

- Energía específica en el rectificado,  $e_c$

La energía específica mide el consumo de energía de un proceso dividido por la unidad de volumen de material rectificado. Es inverso a la eficiencia del proceso.

$$e_c = \frac{P}{Q_w} = \frac{F_t \cdot v_s}{b \cdot a_e \cdot v_w} \quad \left[ \frac{J}{mm^3} \right] \quad (7)$$

Donde:

P, consumo de potencia de la máquina [W]

$Q_w$ , Caudal de viruta [mm<sup>3</sup>/s]

$F_t$ , Fuerza tangencial [N]

$v_w$ , velocidad de avance [mm/s]

$v_s$ , velocidad periférica de la muela [m/s]

b, anchura de pasada [mm]

$a_e$ , profundidad de pasada [mm]

- Razón de rectificado, G

La razón de rectificado es la relación entre el volumen total rectificado y el volumen de muela perdido. Es un parámetro indicador del desgaste de muela. Se trata de un parámetro adimensional.

$$G = \frac{V_{rectificado}}{V_{perdido}} \quad (8)$$

### 3.5.7. Problemática del trabajo

Como ya se ha comentado con anterioridad, en el rectificado cada grano de la muela es una herramienta de corte microscópica. Esto hace que sea muy difícil conocer lo que está sucediendo en el punto de contacto pieza-muela y por tanto hace que el proceso sea muy complicado de caracterizar tanto térmica como mecánicamente.

En otros procesos de mecanizado, tales como el torneado o el fresado, la selección de parámetros y herramientas para la realización de un proceso concreto en un material específico es muy simple y se encuentra tabulado. En el rectificado, a diferencia de los anteriores, no existen indicaciones o fórmulas a seguir que permitan escoger una muela y los parámetros adecuados para rectificar un material concreto y obtener unos resultados específicos.

Tratándose como ya se ha explicado, de un proceso que se realiza en las últimas fases de la fabricación de piezas y que además otorga un alto valor añadido a los productos obtenidos, este TFG buscará caracterizar el comportamiento de un par pieza-muela en rectificado. Lo que facilitará el análisis y selección de muelas y parámetros. Con el fin de establecer una herramienta de trabajo, que nos permita predecir el comportamiento de procesos industriales de rectificado y también reducir los tiempos de puesta a punto en nuevas aplicaciones.

### **3.6. Descripción de la solución propuesta**

Con el fin de abordar la problemática previamente descrita y tras analizar las diferentes alternativas, se ha optado por la siguiente solución al problema. El trabajo se realizará en 2 fases. Durante la primera fase se va a establecer una batería de ensayos en rectificado plano, variando diferentes parámetros. Y de esta manera conocer las variables más influyentes del proceso y así analizar el comportamiento entre un par pieza-muela. Habiendo validado el protocolo de ensayos anterior, se hará una mejora del mismo a través de los resultados obtenidos. En esa segunda fase se incluirán ensayos en cilíndrico, buscando la analogía entre los ensayos en plano y en cilíndrico. Además, se introducirá la estimación del desgaste de la herramienta. De esa manera se tratará de conseguir un protocolo lo más completo posible que nos permita la caracterización del par pieza-muela y así poder optimizar distintos procesos de rectificado.

### **3.7. Metodología seguida en el desarrollo del trabajo**

En este apartado se describirán las diferentes partes que componen el desarrollo del trabajo y cómo se ha llevado a cabo. Se definirán los diferentes equipos utilizados para la realización de los ensayos y las mediciones, el método para el establecimiento de los parámetros de ensayo, el protocolo a seguir para el desarrollo de los mismos y los resultados obtenidos.

#### **3.7.1. Descripción de tareas, fases o procedimientos.**

El TFG se ha desarrollado en varias fases. En la Figura 15 se puede ver un esquema general del trabajo realizado y las fases en las que se ha dividido el mismo.

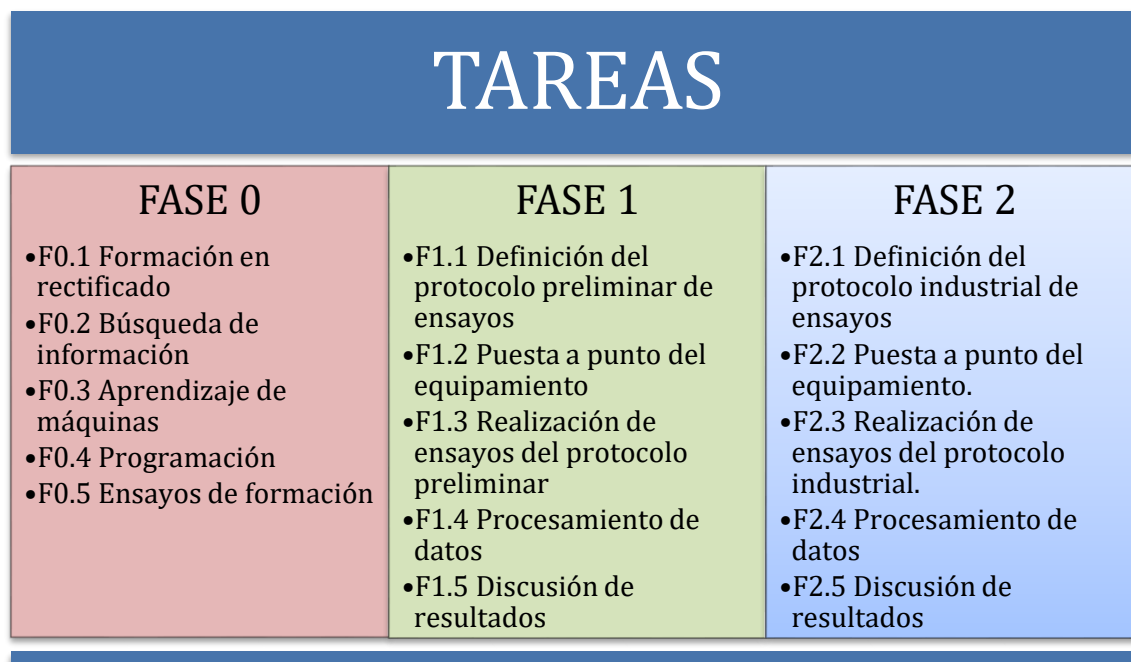


Figura 15. Esquema general de las tareas realizadas.

A continuación, se van a describir de manera pormenorizada las tareas que incluyen las distintas fases.

### **FASE 0**

#### **F0.1. FORMACIÓN EN RECTIFICADO**

Durante esta fase, se recibió un curso introductorio al rectificado. El curso, que fue impartido tanto por personal docente como por responsables de la empresa IDEKO, se componía de varias sesiones. En ellas, se explicó el rectificado con el fin de obtener nociones básicas acerca del proceso.

#### **F0.2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN**

Una vez decidido cuál sería el tema del TFG, se buscó información al respecto en distintas fuentes: artículos, libros, prensa del sector...

#### **F0.3. APRENDIZAJE DE MÁQUINAS**

Dado que se han llevado a cabo una serie de ensayos, ha sido necesario recibir formación acerca del uso de las diferentes máquinas rectificadoras disponibles. En este caso, se ha recibido formación tanto del método de uso como del mantenimiento para una máquina cilíndrica y también una planeadora.

#### **F0.4. PROGRAMACIÓN**

El trabajo planteado, ha requerido de un programa que permitiese procesar imágenes con el fin de obtener resultados. Es por ello, que se inició un proceso de aprendizaje autodidacta en programación con lenguaje Python. De esa manera, se alcanzó a desarrollar un programa informático de software libre que cubriese las

necesidades anteriormente explicadas. Podemos ver el código del programa creado en el Documento 4 ANEXO I.

#### **F0.5. ENSAYOS DE FORMACIÓN**

Con el objetivo de lograr confianza y mayor experiencia en el manejo de las máquinas, se realizaron una serie de ensayos ajenos al TFG. Dichos ensayos, seguían una metodología de trabajo similar a los planteados posteriormente, y permitieron una adaptación al método de trabajo y a los equipos disponibles.

### **FASE 1**

#### **F1.1. DEFINICIÓN DEL PROTOCOLO PRELIMINAR DE ENSAYOS**

Durante esta fase, se define el protocolo preliminar de ensayos. Se describen el material y geometría de pieza a ensayar, el criterio de selección de parámetros, la batería de ensayos establecida y el método de trabajo a seguir durante la realización de las pruebas. Esta fase, se encuentra explicada de manera detallada en el Apartado 3.7.3. Definición de protocolos.

#### **F1.2. PUESTA A PUNTO DEL EQUIPAMIENTO**

Una vez definido por completo cómo van a ser los ensayos del protocolo preliminar, los equipos y diferentes materiales han de ser puestos a punto. Esto incluye: la realización del mantenimiento de la maquinaria, el diamantado de la muela, realización de ceros del proceso y la conexión y preparación de los instrumentos de medida. También incluye la realización del pedido, y la recepción y validación del mismo. Los equipos serán explicados en mayor detalle en el Apartado 3.7.4. Equipos.

#### **F1.3. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DEL PROTOCOLO PRELIMINAR**

Tras haber preparado todo el equipamiento necesario para la realización de las pruebas, se comenzará con los ensayos. Para ello, se seguirán los pasos que aparecen en la Figura 17.

#### **F1.4. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Tras realizar todos los ensayos, será necesario tratar todos los datos obtenidos y así poder obtener los resultados que interesan. El procesamiento de datos se hará mediante el apoyo del programa informático SWGreat, y con ayuda de una hoja de cálculo para facilitar la carga matemática. Las diferentes que actividades que engloba el procesamiento de datos, serán más detalladamente explicadas en el Apartado 3.7.5. Cálculos.

#### **F1.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez procesados los datos, se obtienen los resultados de los diferentes ensayos. Dichos resultados, deberán ser discutidos con el fin de comprobar su validez y obtener conclusiones a partir de los mismos, acerca de la problemática asumida en este TFG. Los resultados serán discutidos en el Apartado 3.7.6 Descripción de resultados.



## **FASE 2**

### **F2.1. DEFINICIÓN DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL DE ENSAYOS**

Una vez discutidos los resultados del protocolo preliminar, se define el protocolo industrial de ensayos. Se describen el material y geometría de pieza a ensayar, el criterio de selección de parámetros, la batería de ensayos establecida y el método de trabajo a seguir durante la realización de las pruebas. Esta fase, se encuentra explicada de manera detallada en el Apartado 3.7.3. Definición de protocolos.

### **F2.2. PUESTA A PUNTO DEL EQUIPAMIENTO**

Una vez definido por completo cómo van a ser los ensayos del protocolo industrial, los equipos y diferentes materiales han de ser puestos a punto. Esto incluye: la realización del mantenimiento de la maquinaria, el diamantado de la muela, realización de ceros del proceso y la conexión y preparación de los distintos instrumentos de medida. Los equipos serán explicados en mayor detalle en el Apartado 3.7.4. Equipos.

### **F2.3. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL**

Tras haber preparado todo el equipamiento necesario para la realización de las pruebas, se comenzará con los ensayos. Para ello, se seguirán los pasos que aparecen en la Figura 20.

### **F2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Tras realizar todos los ensayos, será necesario tratar todos los datos obtenidos y así poder obtener los resultados que interesan. El procesamiento de datos se hará mediante el apoyo del programa informático SWGreat, y con ayuda de una hoja de cálculo para la facilitar la carga matemática. Las diferentes que actividades que engloba el procesamiento de datos, serán más detalladamente explicadas en el Apartado 3.7.5. Cálculos.

### **F2.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez procesados los datos, se obtienen los resultados de los diferentes ensayos. Dichos resultados, deberán ser discutidos con el fin de comprobar su validez y obtener conclusiones a partir de los mismos, acerca de la problemática asumida en este TFG. Los resultados serán discutidos en el Apartado 3.7.6. Descripción de resultados.

### 3.7.2. Diagrama de Gantt

A continuación, se muestra a través de un diagrama de Gantt la distribución en el tiempo de las tareas anteriormente mencionadas.

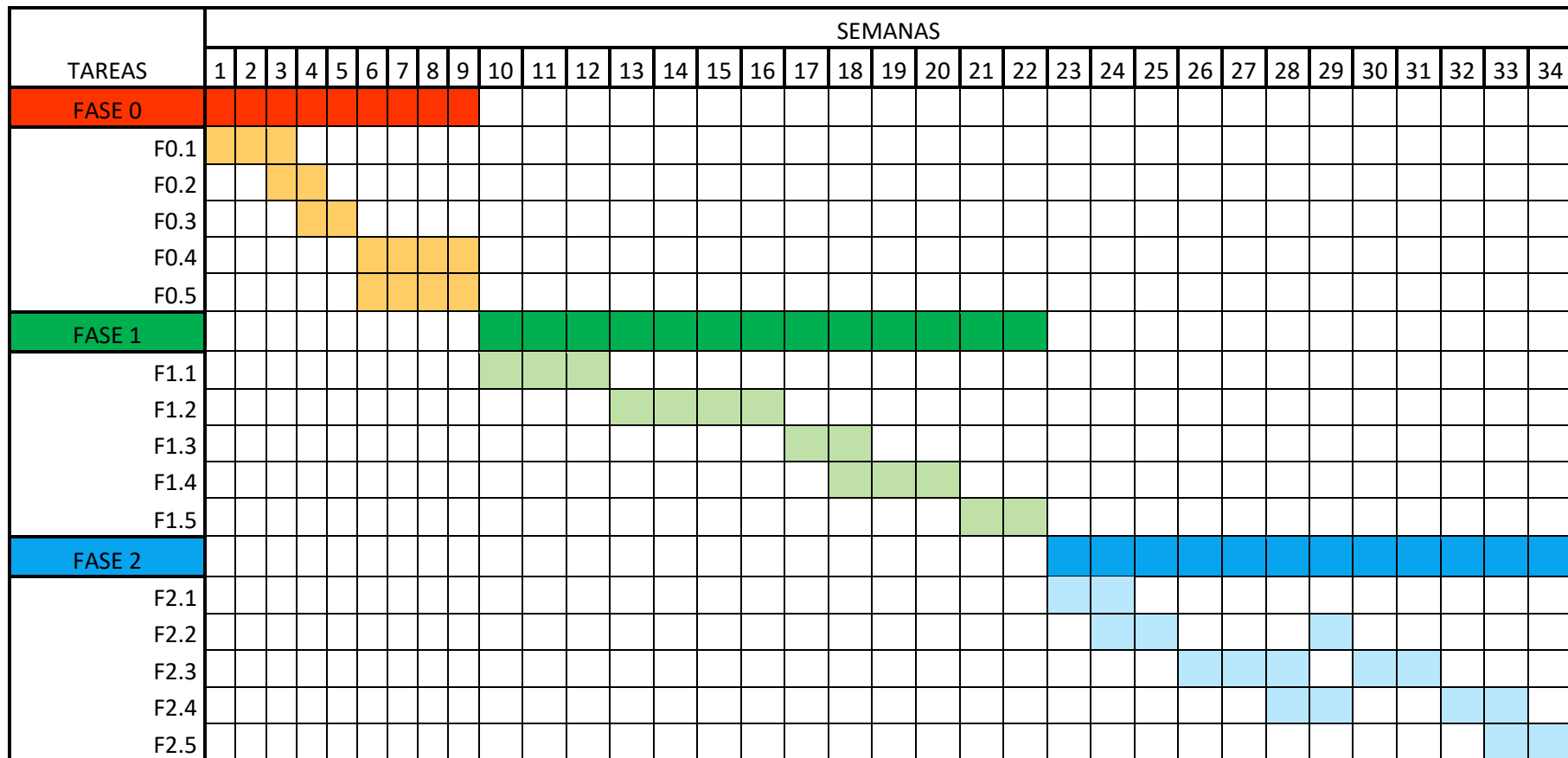


Tabla 6. Diagrama de Gantt.

### 3.7.3. Definición de los protocolos

#### PROTOCOLO PRELIMINAR

Se presenta la primera alternativa tomada para la realización de los ensayos que tienen el fin de establecer un protocolo preliminar que nos permita definir el comportamiento de un par pieza-muela. Se describen la geometría de la pieza, las pautas para la definición de parámetros, los ensayos establecidos y el método de realización.

En este caso, los ensayos se realizarán en la BLOHM ORBIT 36, es decir, serán en su totalidad ensayos en rectificado plano tangencial.

Para la definición de la pieza de trabajo se ha decidido que tendrá unas dimensiones 14x105x14 tal como muestra la Figura 16. De esta manera tendrá altura rectificable suficiente y evitaremos efectos de pandeo debido a la esbeltez de la pieza. El material de la misma deberá ser definido para cada caso concreto.

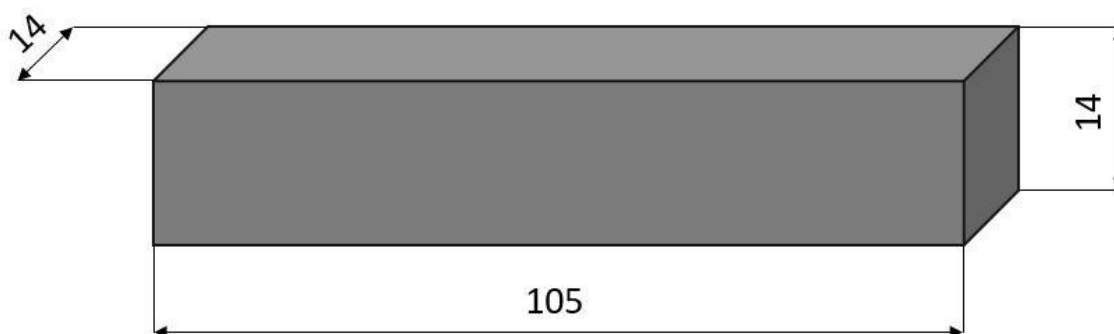


Figura 16. Dimensiones de la pieza a ensayar protocolo preliminar.

Para este caso en concreto, el material escogido para los ensayos ha sido GG-30 una fundición gris perlítica utilizada en series medias de producción en las que se requiera una alta resistencia al desgaste, es decir, en procesos con características similares al rectificado incluido este mismo (ver Tabla 7).

Información general					
Análisis tipo %	C	Si	Mn	S	P
	2,95-3,45	2,1-2,9	0,55-0,75	0,04-0,07	0,1-0,2
Propiedades físicas					
Resistencia a la compresión [N/mm <sup>2</sup> ]	900-1000	Módulo de elasticidad [kN/mm <sup>2</sup> ]			120-140
Dureza HB	200-250	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]			7,3
Coefficiente Poisson, $\nu$	0,26				

Tabla 7. Características y propiedades GG30.

Seguidamente, se muestran los criterios para la definición de las pruebas experimentales mínimas a realizar para la caracterización completa de una determinada muela:

- Se tomarán 3 velocidades de muela ( $v_s$ ), 3 velocidades de avance ( $v_w$ ) y 3 profundidades de pasada ( $a_e$ ) de tal manera que sean necesarias un total de 27 pruebas para la caracterización de un par pieza-muela.
- Se partirá de tres valores de  $v_s$  teniendo en cuenta que, para evitar problemas, el valor  $q_s$  ( $v_s/v_w$ ) se debe mantener entre 60 y 120 (rectificado convencional) o debe ser mayor que 1000 (Creep Feed Grinding). Para ello, para cada una de las  $v_s$  propuestas, se propondrán tres valores de  $v_w$ , una que mantenga  $q_s$  en el rango 60-90, otra que lo mantenga en el rango 90-120 y otra que lo haga mayor que 1000. De esta manera se cubren operaciones de desbaste, acabado y Creep Feed Grinding.
- Para cada valor de  $q_s$ , se propondrán 3 valores de  $a_e$ , de tal manera que se obtengan tres valores de  $Q_w'$ , el objetivo es que esos tres valores de  $Q_w'$  sean similares para todas las  $q_s$  planteadas.
- El ancho de la pieza rectificadora va a ser fijo de 14 mm y el diámetro de la muela se propone que sea de 350 mm.
- A partir de estos criterios, se plantean un total de 27 pruebas para la caracterización completa de un determinado par pieza-muela.

En la Tabla 8 se propone una batería de pruebas genérica para muelas convencionales con una velocidad periférica ( $v_s$ ) máxima de 35 m/s y valores de  $Q_w'$  máximos de 10-10,5 mm<sup>3</sup>/mm·s.

Ensayo	$a_e$ [mm]	$v_w$ [m/min]	$v_s$ [m/s]	$q_s$	$Q_w'$ [mm <sup>3</sup> /mm·s]	$h_{eq}$ [nm]	Factor de viruta ( $G_{ch}$ )
1	0,005	25	25	60	2,1	83	7,94E-03
2	0,015	25	25	60	6,3	250	1,04E-02
3	0,025	25	25	60	10,4	417	1,19E-02
4	0,005	25	30	72	2,1	69	7,25E-03
5	0,015	25	30	72	6,3	208	9,54E-03
6	0,025	25	30	72	10,4	347	1,08E-02
7	0,005	25	35	84	2,1	60	6,71E-03
8	0,015	25	35	84	6,3	179	8,83E-03
9	0,025	25	35	84	10,4	298	1,00E-02
10	0,01	15	25	100	2,5	100	7,31E-03
11	0,02	15	25	100	5,0	200	8,69E-03
12	0,04	15	25	100	10,0	400	1,03E-02
13	0,01	15	30	120	2,5	83	6,67E-03
14	0,02	15	30	120	5,0	167	7,94E-03
15	0,04	15	30	120	10,0	333	9,44E-03
16	0,01	15	35	140	2,5	71	6,18E-03
17	0,02	15	35	140	5,0	143	7,35E-03

18	0,04	15	35	140	10,0	286	8,74E-03
19	0,05	1,5	25	1000	1,3	50	3,46E-03
20	0,2	1,5	25	1000	5,0	200	4,89E-03
21	0,4	1,5	25	1000	10,0	400	5,81E-03
22	0,05	1,5	30	1200	1,3	42	3,16E-03
23	0,2	1,5	30	1200	5,0	167	4,46E-03
24	0,4	1,5	30	1200	10,0	333	5,31E-03
25	0,05	1,5	35	1400	1,3	36	2,92E-03
26	0,2	1,5	35	1400	5,0	143	4,13E-03
27	0,4	1,5	35	1400	10,0	286	4,91E-03

Tabla 8. Batería de ensayos protocolo preliminar.

Los parámetros han sido variados entre cada prueba con el fin de abarcar todos los rangos de aplicación en procesos de la vida industrial.

Se emplearán los siguientes parámetros de diamantado:

$v_s$ [m/s]	$v_{fd}$ [mm/min]	$a_d$ [ $\mu\text{m}$ ]
30	600	15

Tabla 9. Parámetros de diamantado protocolo preliminar.

En lo referente al método de trabajo se seguirán los siguientes pasos:

#### PASO 1

Se colocan los platos a la muela y se equilibra para evitar las vibraciones durante el proceso. Ésta se introduce en el husillo de la máquina. Se fijan los parámetros de diamantado establecidos y se reaviva la muela, dejándola lista para rectificar.

#### PASO 2

Se introducen en la máquina los parámetros correspondientes a la prueba.

#### PASO 3

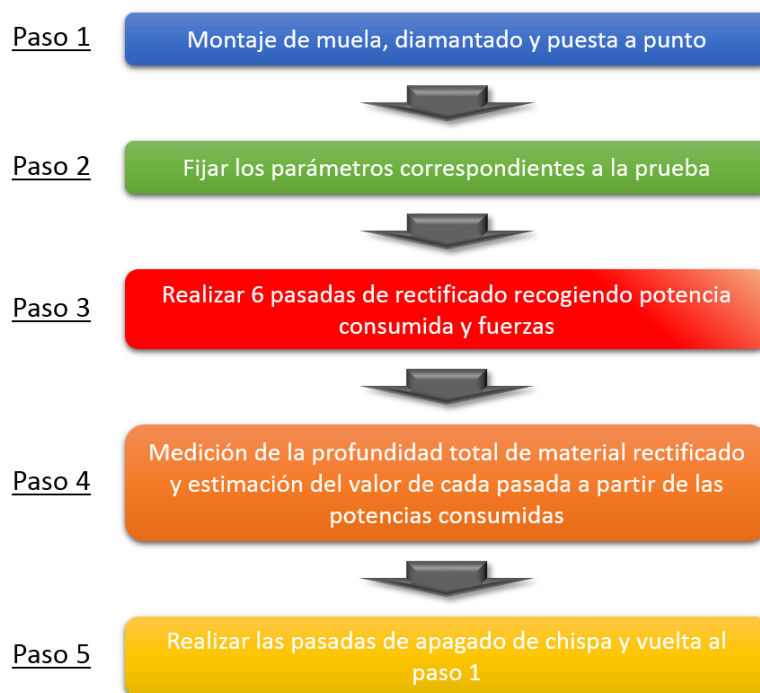
Se realizan 6 pasadas continuas, de modo que la  $a_e$  total debe ser teóricamente 6 veces mayor que la de la prueba. Durante el proceso se recogen potencias utilizando el software SW Great.

#### PASO 4

Una vez rectificado, se mide la  $a_e$  total mediante el reloj comparador. A partir de dicho valor y los picos de potencia consumida obtenidos en cada pasada, se obtiene el valor de  $a_e$  en cada una de las 6 pasadas. Con dichos valores se consigue la media que sirve como valor para el cálculo de los resultados.

#### PASO 5

El paso final consiste en realizar el apagado de chispa con el fin de dejar la superficie igualada para la siguiente prueba. A partir de aquí, se vuelve a diamantar y se introducen los parámetros de la siguiente prueba.



*Figura 17. Esquema de trabajo del protocolo preliminar de ensayos.*

### **PROTOCOLO INDUSTRIAL**

A partir de los resultados obtenidos del protocolo preliminar, se ha decidido generar un nuevo protocolo de ensayos más completo que permita suplir las deficiencias del anterior y de esa manera mejorar la caracterización del par pieza-muela. De esta manera se pretende desarrollar un protocolo industrial para caracterizar el comportamiento del par pieza-muela.

El primer cambio y el más importante, es la inclusión de ensayos en rectificado cilíndrico. Lo que va a permitir una caracterización más completa abarcando un mayor número de operaciones. Se utilizarán tanto la planeadora BLOHM ORBIT 36 como la máquina cilíndrica DANOBAT FG600S.

Además, se incluirá el análisis del desgaste de muela desde el punto de vista volumétrico y de Wear Flat.

Respecto a la geometría de las piezas, serán necesarios 2 tipos distintos, uno para cada máquina. Las dimensiones de las mismas serán las siguientes:

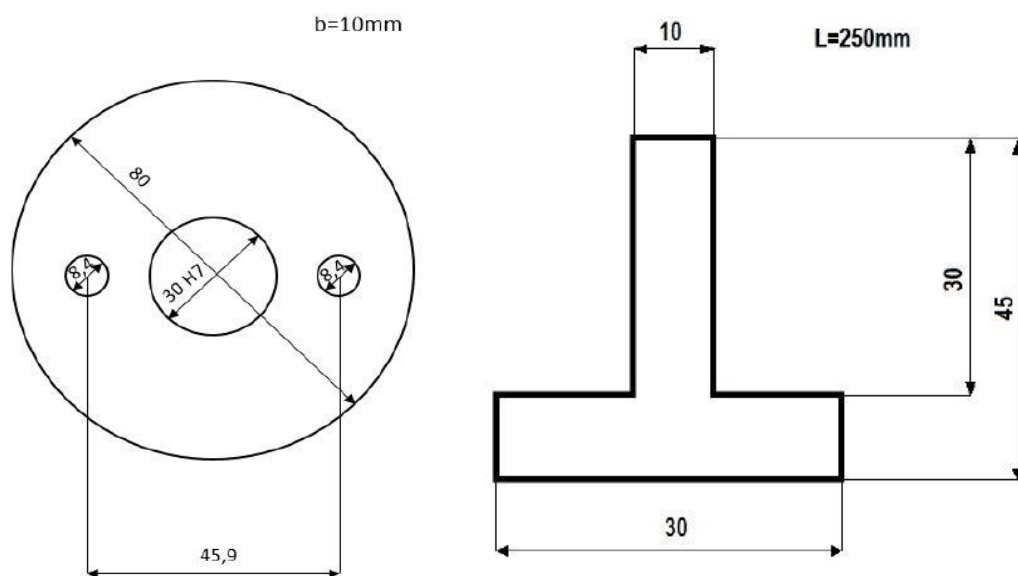


Figura 18. Dimensiones (mm) de las piezas a ensayar protocolo industrial.



Figura 19. Piezas a ensayar protocolo industrial.

El material a ensayar ha sido acero templado F-522. Su composición química se muestra a continuación en la siguiente tabla.

Información general				
Análisis tipo %	C	Mn	Cr	V
	0,8-1	1,8-2,1	0,3-0,55	0,1-0,15

Tabla 10. Composición química F-522.

En lo referente a los criterios para la definición del protocolo de ensayos se seguirán los diferentes pasos:

- Primeramente, se definirán los ensayos en rectificado cilíndrico, y a partir de estos, se extrapolarán los ensayos en rectificado plano con el fin de realizar pruebas análogas para ambos tipos del par pieza-muela y poder obtener resultados concluyentes del comportamiento en los dos casos.
- Se probarán 3  $Q_w'$  diferentes, las cuales cubrirán operaciones de acabado, semiacabado y desbaste. En todos los casos se rectificarán 10mm de ancho y un total de 0,48mm de profundidad de pasada.
- Para cada  $Q_w'$  se ensayarán 3 velocidades de muela diferentes. Además, para cada una de las velocidades se establecerán 3 valores de  $q_s$  (60,120 y 180), los cuales fijarán el valor de las velocidades de avance. Dando lugar a un total de 27 pruebas en rectificado cilíndrico.
- Al extrapolar las pruebas al rectificado plano, encontramos limitaciones en el banco de la máquina planeadora, pues no puede alcanzar velocidades de avance tan altas. Ante dicho problema, se ha decidido reducir dichas velocidades al máximo de la máquina (40000mm/min). Esta solución nos permite llevar a cabo los ensayos. Sin embargo, debido a los cambios realizados, se eliminan tres pruebas por repetición. Dando lugar a un total de 24 pruebas.
- Dado que tanto los ensayos en cilíndrico como los ensayos en plano deben ser análogos, las pruebas en cilíndrico también serán 24, y se reducirán las velocidades de avance donde corresponda.

A partir de los anteriores criterios se definen las siguientes baterías de ensayos tanto para cilíndrico como plano:

$Q_w'$ [mm <sup>3</sup> /mm.s]	$v_s$ [m/s]	$v_f$ [mm/min]	$q_s$	$v_w$ [mm/min]	$a_e$ [mm]	$a_{total}$
6	60	1,4	120	30000	0,012	0,48
6	60	1,4	180	20000	0,018	0,48
6	40	1,4	60	40000	0,009	0,48
6	45	1,4	120	22500	0,016	0,48
6	45	1,4	180	15000	0,024	0,48
6	30	1,4	60	30000	0,012	0,48
6	30	1,4	120	15000	0,024	0,48
6	30	1,4	180	10000	0,036	0,48
3	60	0,7	120	30000	0,006	0,48
3	60	0,7	180	20000	0,009	0,48
3	40	0,7	60	40000	0,0045	0,48
3	45	0,7	120	22500	0,008	0,48
3	45	0,7	180	15000	0,012	0,48
3	30	0,7	60	30000	0,006	0,48
3	30	0,7	120	15000	0,012	0,48



3	30	0,7	180	10000	0,018	0,48
1	60	0,2	120	30000	0,002	0,48
1	60	0,2	180	20000	0,003	0,48
1	40	0,2	60	40000	0,0015	0,48
1	45	0,2	120	22500	0,0027	0,48
1	45	0,2	180	15000	0,004	0,48
1	30	0,2	60	30000	0,002	0,48
1	30	0,2	120	15000	0,004	0,48
1	30	0,2	180	10000	0,006	0,48

Tabla 11. Batería de ensayos en rectificado cilíndrico protocolo industrial.

Qw' [mm <sup>3</sup> /mm.s]	vs [m/s]	qs	vw [mm/min]	ae [mm]	aetotal	Pasadas
6	26,4	53	30000	0,012	0,48	40
6	26,4	79	20000	0,018	0,48	27
6	17,6	26	40000	0,009	0,48	53
6	19,8	53	22500	0,016	0,48	30
6	19,8	79	15000	0,024	0,48	20
6	13,2	26	30000	0,012	0,48	40
6	13,2	53	15000	0,024	0,48	20
6	13,2	79	10000	0,036	0,48	13
3	26,4	53	30000	0,006	0,48	80
3	26,4	79	20000	0,009	0,48	53
3	17,6	26	40000	0,0045	0,48	107
3	19,8	53	22500	0,008	0,48	60
3	19,8	79	15000	0,012	0,48	40
3	13,2	26	30000	0,006	0,48	80
3	13,2	53	15000	0,012	0,48	40
3	13,2	79	10000	0,018	0,48	27
1	26,4	53	30000	0,002	0,48	240
1	26,4	79	20000	0,003	0,48	160
1	17,6	26	40000	0,0015	0,48	320
1	19,8	53	22500	0,0027	0,48	180
1	19,8	79	15000	0,004	0,48	120
1	13,2	26	30000	0,002	0,48	240
1	13,2	53	15000	0,004	0,48	120
1	13,2	79	10000	0,006	0,48	80

Tabla 12. Batería de ensayos en rectificado plano protocolo industrial.

Para la definición de los parámetros de diamantado, se ha escogido como condición que se mantenga la pasada y el avance por revolución. Con un valor de  $U_d=5$ . A partir de esta premisa los parámetros de diamantado serán los siguientes:

$U_d$	$a_{ed}$ ( $\mu\text{m}$ )	$v_s$ (m/s)	$v_{fad}$ (mm/min)
5	15	35	935

Tabla 13. Parámetros de diamantado protocolo industrial.

Se ha buscado mantener el número de pasadas lo más constante posible. Sin embargo, el requisito principal es diamantar la muela hasta que visualmente no se encuentre desgastada. De esta manera, los ensayos no influirán en los sucesivos.

En cuanto al método de trabajo los pasos a realizar han sido los siguientes:

#### PASO 1

Montaje de muela y pieza, realización de ceros del proceso, diamantado de la muela y puesta a punto del proceso.

#### PASO 2

Fijar en la máquina los parámetros correspondientes a la prueba.

#### PASO 3

Realizar las pasadas necesarias recogiendo los datos de potencia consumida.

#### PASO 4 (Únicamente para los ensayos en plano)

Sacar 4 fotos cada  $90^\circ$  en la muela. Rectificar el grafito y medir la diferencia de cotas en el surco que deja la muela.

#### PASO 5

Medir la profundidad de pasada total, y estimar el valor de cada pasada a través de las potencias obtenidas.

#### PASO 6

Realizar las pasadas de apagado de chispa, diamantar la muela y volver al Paso 2.

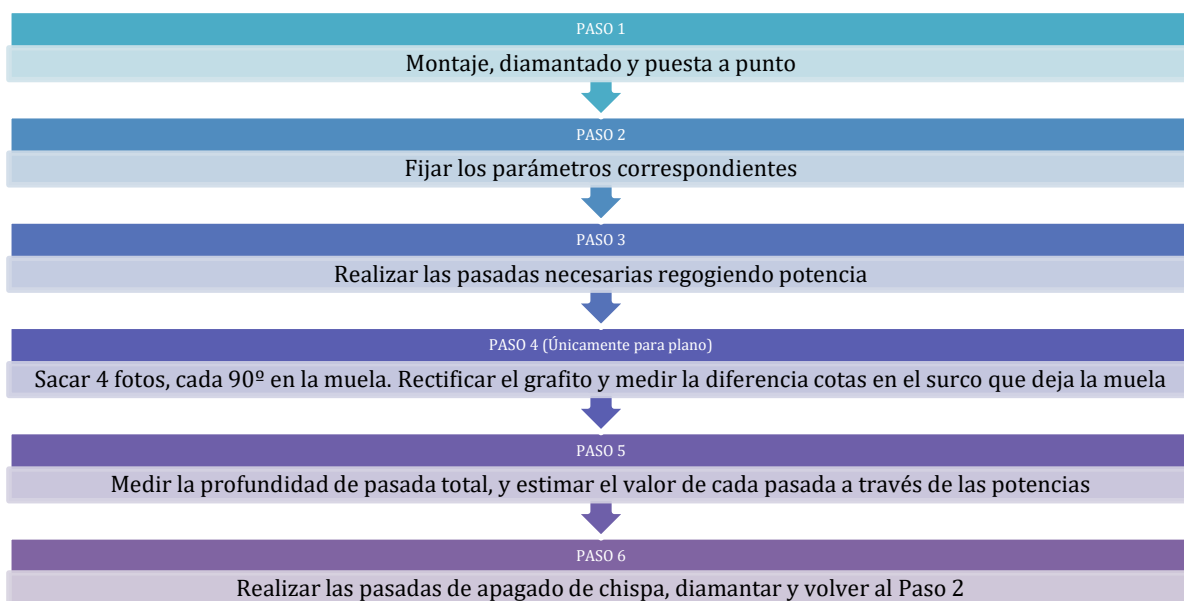


Figura 20. Esquema de trabajo del protocolo industrial de ensayos.

### 3.7.4. Equipos

En este apartado se definirán los diferentes equipos, instrumentos de medición y maquinaria utilizados durante el desarrollo del TFG.

#### *RECTIFICADORA PLANA TANGENCIAL*

La máquina que se va a utilizar para la realización de los ensayos es una rectificadora planeadora BLOHM ORBIT 36 para rectificado plano tangencial convencional con una potencia de 8kW.



*Figura 21. BLOHM ORBIT 36 (25).*

#### *RECTIFICADORA CILÍNDRICA*

La máquina que se va a utilizar para la realización de ensayos en rectificado cilíndrico es la DANOBAT FG600S, una rectificadora cilíndrica de 15 kW.



*Figura 22. DANOBAT FG600S (26).*

### **RELOJ COMPARADOR**

Se utilizará un reloj comparador de la marca Mitutoyo modelo 543 ID-C125XB sujeto a un brazo articulado con base imantada.



*Figura 23. Mitutoyo 543 ID-C125XB y brazo articulado.*

### **TARJETA DE ADQUISICIÓN DE POTENCIA**

Para la medición de potencia se utilizará el dispositivo UPC-230 de la marca Load Controls Inc. Conectada al motor del cabezal de la máquina. La recogida de datos en el ordenador se llevará a cabo mediante una tarjeta de adquisición de National Instruments modelo USB-6008 y un software de desarrollo propio. La velocidad de adquisición de datos será de 100 Hz.



*Figura 24. Tarjeta medición de potencias UPC-230 (Load Controls Inc.).*



Figura 25. Tarjeta adquisición de datos USB-6008 (National Instruments).

## MUELAS

Para los ensayos del protocolo preliminar se ha optado por usar una muela marca UNESA 4MBEA 48.2G18V489P24P de tipo convencional.



Figura 26. Muela protocolo preliminar.

Características muela Alternativa I	
Material de grano	Alúmina
Tamaño de grano	60
Grado	G (Blanda)
Estructura	18
Aglomerante	V (Vítreo)
$\varnothing_{ext}$	350 [mm]
$\varnothing_{int}$	127 [mm]
B	40 [mm]
$V_{smax}$	35 [m/s]

Tabla 14. Características de la muela protocolo preliminar.

Para los ensayos del protocolo industrial se ha optado por utilizar la misma muela de marca UNESA 5MBA 80.2IJ8V489 con dos diámetros diferentes 350mm y 450mm para plano y cilíndrico respectivamente.



*Figura 27. Muelas protocolo industrial.*

Características muela Alternativa II	
Material de grano	Alúmina
Tamaño de grano	80
Grado	IJ (Media)
Estructura	8
Aglomerante	V (Vítreo)
$\varnothing_{ext}$	350 [mm] / 450 [mm]
$\varnothing_{int}$	127 [mm] / 203,2 [mm]
b	30 [mm] / 20 [mm]
V <sub>smax</sub>	60 [m/s]

*Tabla 15. Características de las muelas protocolo industrial.*

Todas las muelas cumplen con la normativa EN 12413 “Requisitos de seguridad para los productos abrasivos aglomerados.”

### DIAMANTADOR

Se utilizará un único diamante tanto para las pruebas en plano como para las de cilíndrico. Se utilizará un diamante estático de loseta marca NORTON modelo SG1A 6A MC1.



Figura 28. Diamante loseta SG1A 6A MC1.

Características loseta	
Tipo	Conglomerado (loseta)
Normalización	SG1A 6A MC1
Fabricante	Norton
Numero inicial de diamantes	74/69
Dimensiones	20x7 [mm]

Tabla 16. Características loseta SG1A 6A MC1

Ha sido necesario fabricar un utillaje para poder adaptar el diamante estático a la FG600S. Se ha fabricado a partir de un tocho de acero simple. Para ello la pieza ha pasado por varios procesos: fresado, taladrado y limado. El diamante se ha introducido con apriete para sujetarlo además de con el pasador. Se puede ver el plano en el Documento 4 ANEXO IV.

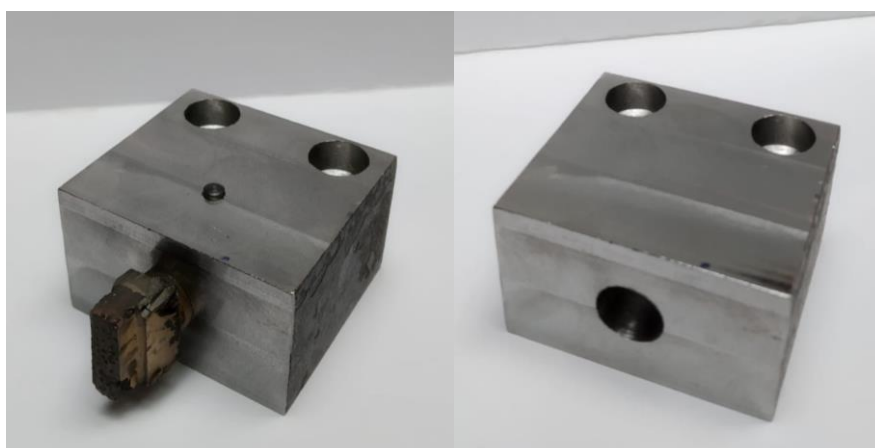


Figura 29. Utillaje con y sin diamante.

La fresadora utilizada es una Kondia B-700 con control CNC.



*Figura 30. Kondia B-700.*

Para los agujeros se empleará un taladro de columna marca Fortex modelo BF 35 TC R+L.



*Figura 31. Taladro Fortex BF 35 TC R+L.*

### **GRAFITO**

Se utilizará un bloque de grafito para la medición del desgaste volumétrico de las muelas en rectificado plano. Se sujetará mediante una mordaza a la mesa magnética.

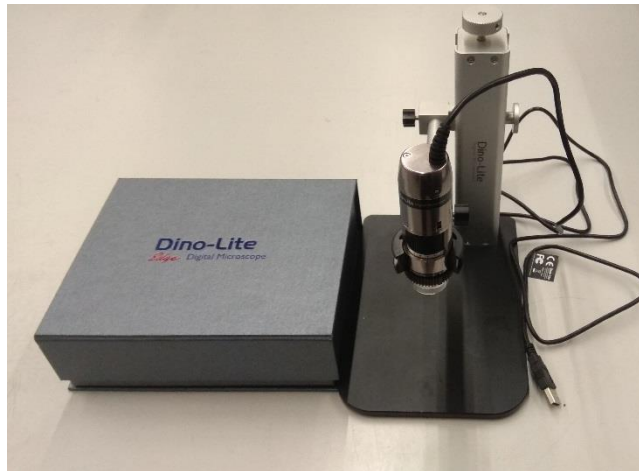


*Figura 32. Bloque de grafito.*



### *MICROSCOPIO*

Se utilizará un microscopio digital Dino-Lite modelo AM7115MZT-EDGE para obtener fotos de la muela, y luego procesarlas mediante el SWGreat para obtener datos del desgaste de la muela de tipo Wear Flat.



*Figura 33. Microscopio Dino-Lite.*

### **AMARRE PIEZAS**

Para poder rectificar las piezas en la FG600S será necesario utilizar un eje especial. Dicho eje irá sujeto entre el punto y el contrapunto, y transmitirá el giro a la pieza mediante dos tornillos. Se puede ver el plano de la pieza en el Documento 4 ANEXO IV.



*Figura 34. Amarre de piezas para ensayos en cilíndrico.*

### 3.7.5. Cálculos

Para la obtención de la profundidad de pasada real, el método a seguir es el siguiente:

- 1.- Se mide la profundidad total rectificada mediante el reloj comparador.
- 2.- Se carga y analiza la potencia obtenida en el módulo de “Power analysis” del programa SWGreat.
  - 2.1.- Se establece el valor de filtrado y se filtra la señal de potencia.
  - 2.2.- Se establece el “Trigger”. El valor a partir del cual vamos a cortar la gráfica de la señal de potencia.
  - 2.3.- Se establece el “Offset”. El valor de la potencia mínima de consumo de la máquina por estar encendida.

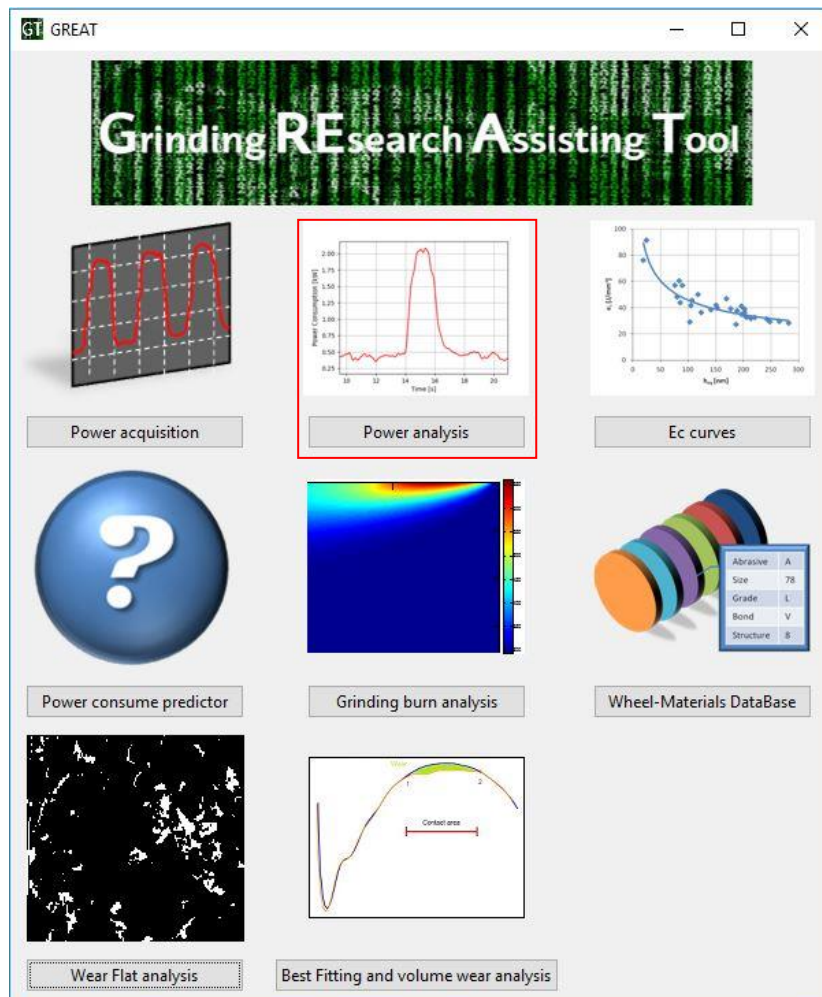


Figura 35. Display de inicio SWGreat (Power analysis).

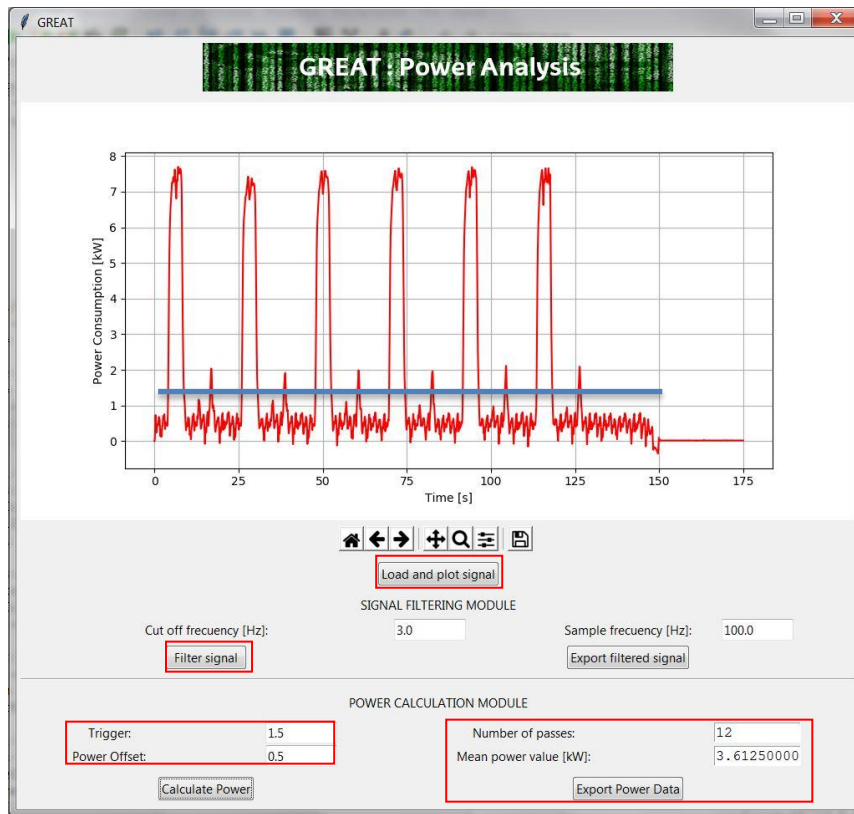


Figura 36. Ejemplo de análisis de potencia.

3.- Se calcula el número de pasadas y la potencia media consumida. Es necesario contabilizar los chispeos, pues también se consume potencia y se arranca material.

4.- Se exportan los datos a una hoja de cálculo donde serán tratados de la siguiente manera:

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (9)$$

$$a_{e1} = \frac{P_1 * a_{e_{tot}}}{P_{tot}} \quad (10)$$

$$a_{e_{med}} = \frac{a_{e1} + a_{e3} + \dots + a_{e_{n-1}}}{n} \quad (11)$$

5.- Así se obtiene la potencia consumida en cada pasada y la  $a_e$  real en cada una. A partir de las profundidades de pasada de las pasadas que no son chispeo, obtendremos la  $a_e$  media de cada ensayo.

Para el cálculo del volumen perdido de muela al rectificar y la obtención del parámetro G, se ha seguido la siguiente metodología:

1.- Medir la diferencia de cotas en el grafito mediante el reloj comparador. Éste nos mostrará el surco que se ha generado en la muela después de cada ensayo.

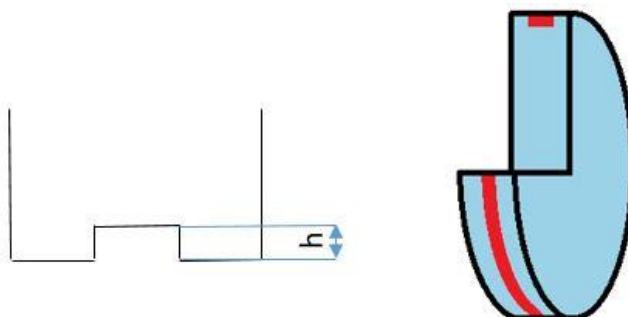


Figura 37. Esquema del volumen perdido de muela.

2.- A partir de dicha altura de surco y los diámetros inicial y final, se conoce el volumen desgastado de muela.

3.- Una vez calculado éste y sabiendo que el volumen de material rectificado es teóricamente igual y constante para todas las pruebas. Siguiendo las ecuaciones mostradas a continuación, se obtienen los resultados deseados. No obstante, el volumen rectificado real varía debido a que la profundidad de pasada real no se ajusta a la teórica.

$$V_{perd} = b * h * \pi * d_{med} \quad (12)$$

$$d_{med} = \frac{d_f + d_i}{2} = d_i - h \quad (13)$$

$$V_{rect} = 0,48 * 250 * 10 = 1200 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

$$G = \frac{V_{rect}}{V_{perd}} \quad (15)$$

Para la estimación de la generación de Wear Flat durante los ensayos realizados se ha seguido la siguiente metodología:

1.- Sacar 4 fotos cada 90° en la periferia de la muela tras rectificar. Para obtener las fotos se utiliza el microscopio Dino-Lite.

2.- Una vez obtenidas las fotos, se procesan mediante el programa de cálculo de Wear Flat mediante procesamiento de imágenes que hemos desarrollado nosotros mismos. Se puede ver el código en el Documento 4 ANEXO I. El funcionamiento es el siguiente:

- Se carga la foto que se desea procesar (formato .png).
- Se selecciona con el ratón un pixel en el que se observe el cambio de color debido al tercer cuerpo adherido a las caras planas.
- Utilizando el código de colores RGB, se extiende el color del pixel a un rango ampliado del mismo.

- Se introducen los valores de los filtros de apertura y cierre.
- El programa nos devuelve una imagen dónde se muestra el tercer cuerpo en blanco y el resto en negro, la cual se utiliza para comparar con la imagen original.
- Si la imagen no concuerda, se puede elegir un nuevo color y/o cambiar los valores de los filtros.
- Si la imagen concuerda, nos devuelve el porcentaje de área que representa el tercer cuerpo o Wear Flat en la muela.



Figura 38. Display de inicio SWGreat (WearFlat analysis).

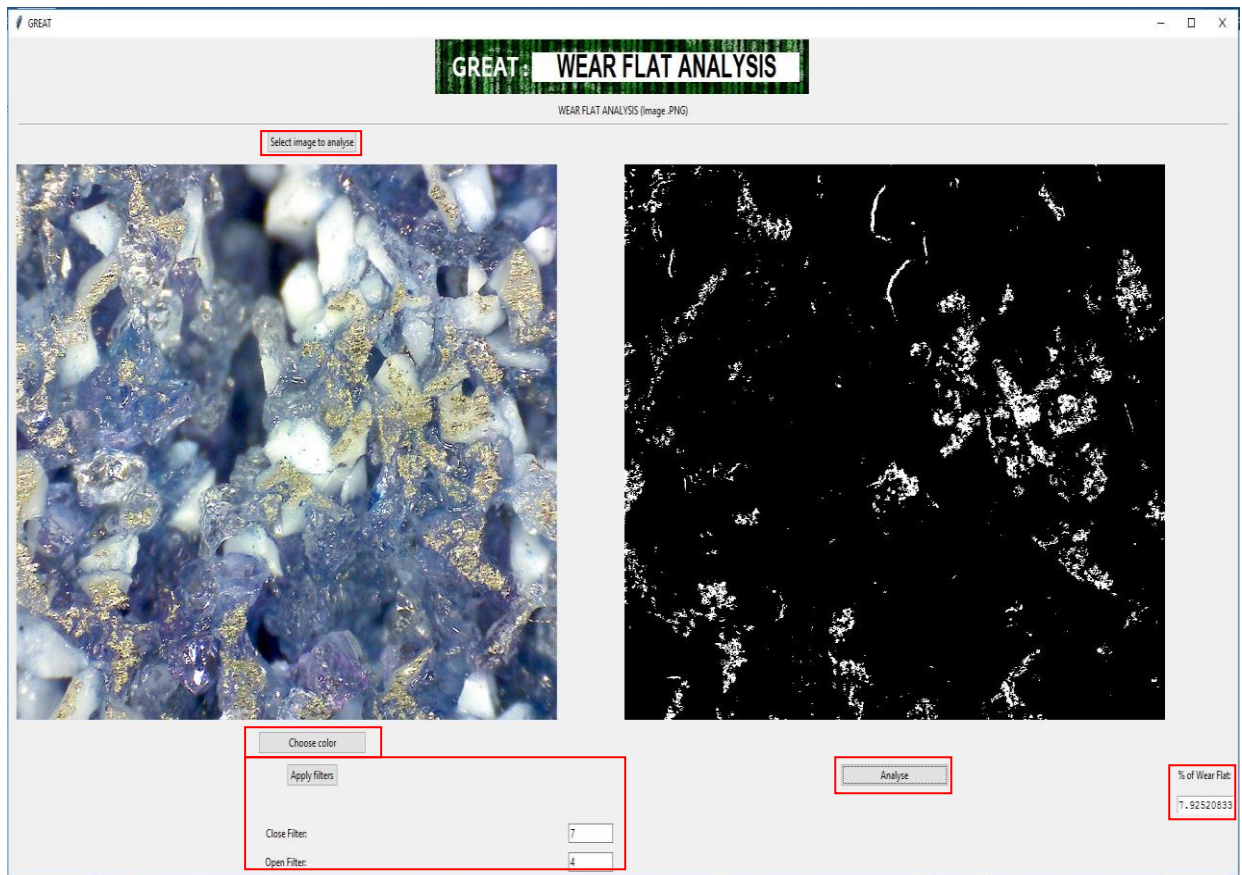


Figura 39. Procesado de imágenes mediante SWGreat.

3.- Se obtienen los valores de generación de Wear Flat en la muela para cada foto y se agrupan con ensayos, de manera que obtenemos una media del desgaste de caras planas en cada ensayo.

Para el cálculo de la velocidad de avance del diamante  $V_{fd}$ , a partir del ratio de diamantado  $U_d$ , se ha seguido el siguiente procedimiento:

$$v_{fd} = b_d \frac{n_s}{U_d} \quad (16)$$

$$b_d = a_d \cdot 0,35 = 2,45 \text{ mm} \quad (17)$$

$$n_s = \frac{v_s \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot \varnothing_m} = 1910 \text{ rpm} \quad (18)$$

$$v_{fd} = 2,45 \frac{1910}{5} = 935 \text{ mm/min} \quad (16)$$

Donde:

$a_d$ , ancho de diamante [mm]

$v_s$ , velocidad de corte de la muela [m/s]

$\varnothing_m$ , diámetro de muela [mm]

### 3.7.6. Descripción de resultados

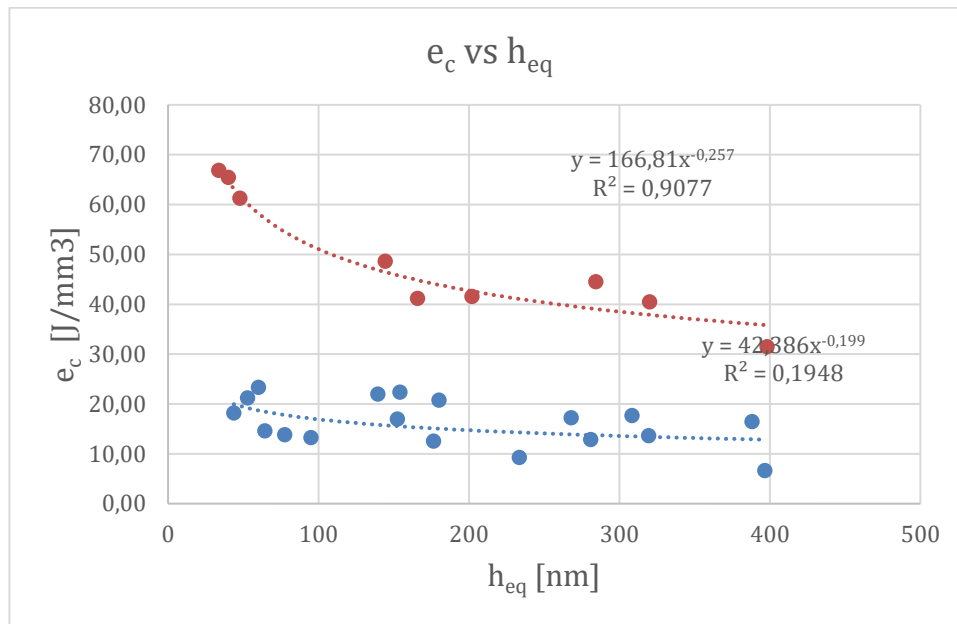
#### PROTOCOLO PRELIMINAR

Una vez realizados los ensayos, y habiendo obtenido los diferentes valores medios de la profundidad de pasada y potencia de cada una de las pruebas, se calculan los diferentes parámetros representativos del proceso:  $Q_w'$ ,  $h_{eq}$ ,  $G_{ch}$ , Agresividad y  $e_c$ . Podemos observar dichos resultados ordenados en la siguiente tabla.

Ensayo nº	$v_s$ [m/s]	$v_w$ [m/min]	$a_{teórica}$ [mm]	$a_e$ [mm]	$d_s$ [mm]	$b$ [mm]	$q_s$	$Q_w'$ [mm <sup>3</sup> /mm·s]	$h_{eq}$ [nm]	$G_{ch}$	Agresividad	$P_{medida}$ [kW]	$e_c$ [J/mm <sup>3</sup> ]
1	25	25	0,005	0,006	350	14	60	2,375	95	8,20E-03	67,3	0,44	13,23
2	25	25	0,015	0,014	350	14	60	5,83	233	1,03E-02	105,4	0,76	9,31
3	25	25	0,025	0,024	350	14	60	9,92	397	1,17E-02	137,4	0,93	6,66
4	30	25	0,005	0,004	350	14	72	1,58	53	6,76E-03	45,8	0,47	21,20
5	30	25	0,015	0,013	350	14	72	5,29	176	9,15E-03	83,7	0,93	12,55
6	30	25	0,025	0,023	350	14	72	9,58	319	1,06E-02	112,6	1,83	13,64
7	35	25	0,005	0,004	350	14	84	1,53	44	6,21E-03	38,5	0,39	18,22
8	35	25	0,015	0,013	350	14	84	5,33	152	8,48E-03	72,0	1,27	17,01
9	35	25	0,025	0,024	350	14	84	9,83	281	9,89E-03	97,8	1,77	12,86
10	25	15	0,01	0,006	350	14	100	1,5	60	6,43E-03	41,4	0,49	23,33
11	25	15	0,02	0,018	350	14	100	4,5	180	8,47E-03	71,7	1,31	20,79
12	25	15	0,04	0,039	350	14	100	9,7	388	1,03E-02	105,3	2,24	16,49
13	30	15	0,01	0,009	350	14	120	2,33	78	6,55E-03	43,0	0,45	13,82
14	30	15	0,02	0,019	350	14	120	4,63	154	7,78E-03	60,6	1,45	22,39
15	30	15	0,04	0,037	350	14	120	9,25	308	9,26E-03	85,7	2,29	17,68
16	35	15	0,01	0,009	350	14	140	2,25	64	6,02E-03	36,2	0,46	14,60
17	35	15	0,02	0,020	350	14	140	4,88	139	7,30E-03	53,3	1,5	21,98
18	35	15	0,04	0,038	350	14	140	9,38	268	8,60E-03	73,9	2,26	17,22
19	25	1,5	0,05	0,048	350	14	1000	1,20	48	3,42E-03	11,7	1,03	61,27
20	25	1,5	0,2	0,202	350	14	1000	5,05	202	4,90E-03	24,0	2,94	41,58
21	25	1,5	0,4	0,398	350	14	1000	9,95	398	5,81E-03	33,7	4,39	31,51
22	30	1,5	0,05	0,048	350	14	1200	1,2	40	3,12E-03	9,8	1,1	65,48
23	30	1,5	0,2	0,199	350	14	1200	4,98	166	4,46E-03	19,9	2,87	41,21
24	30	1,5	0,4	0,384	350	14	1200	9,6	320	5,25E-03	27,6	5,44	40,48
25	35	1,5	0,05	0,047	350	14	1400	1,18	34	2,88E-03	8,3	1,1	66,87
26	35	1,5	0,2	0,202	350	14	1400	5,05	144	4,14E-03	17,2	3,44	48,66
27	35	1,5	0,4	0,398	350	14	1400	9,95	284	4,91E-03	24,1	6,2	44,51

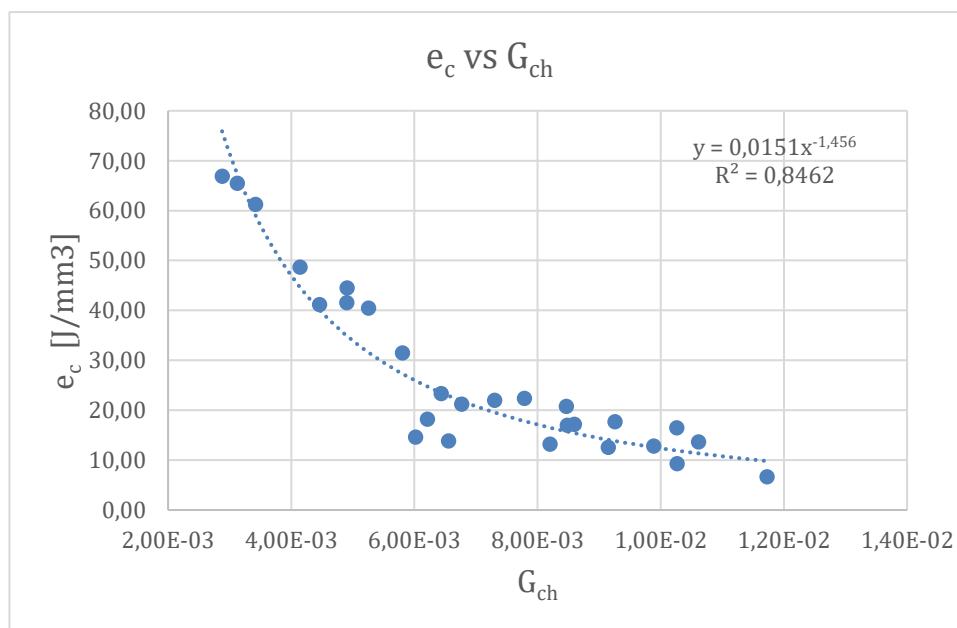
Tabla 17. Resultados de la batería de ensayos del protocolo preliminar.

A partir de los resultados de la batería de ensayos se han obtenido curvas de la energía específica en rectificado en función de los diferentes parámetros. De esta manera se puede obtener datos acerca de la eficiencia del proceso. Utilizando parámetros variados, que pasan desde el acabado hasta el Creep Feed Grinding, de manera que permitan observar el comportamiento del par pieza-muela y obtener modelos matemáticos sencillos para la caracterización del mismo. A continuación, se muestra la energía específica graficada en función de los parámetros más representativos del proceso.



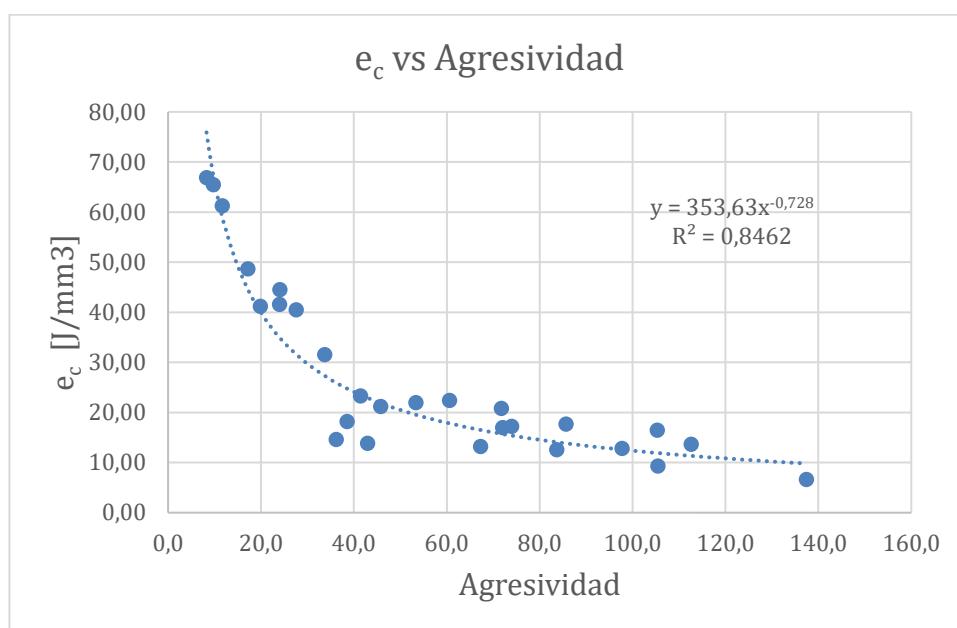
Gráfica 1.  $e_c$  vs  $h_{eq}$  protocolo preliminar.

Dentro de la nube de puntos de la Gráfica 1, se puede observar cómo se han generado dos tendencias para los puntos agrupándose en dos curvas. Esta agrupación se da en función de la  $v_w$  de la prueba, lo que hace a las curvas dependientes de este parámetro. Sólo se observan dos curvas cuando debería haber 3, igual que el número de velocidades de avance ensayadas. Esto se debe a la escala, y es que vemos las curvas de 15 y 25 m/s agrupadas y la de 1,5 m/s encima de ellas. Esta última es unas 10 veces menor que las otras, lo que hace esa diferencia más evidente. Este factor de dependencia, obliga a obtener ecuaciones para iterar entre las distintas curvas de  $v_w$ , lo que complica la caracterización del par pieza-muela a partir del parámetro  $h_{eq}$ .



Gráfica 2.  $e_c$  vs  $G_{ch}$  protocolo preliminar.





Gráfica 3.  $e_c$  vs Agresividad protocolo preliminar.

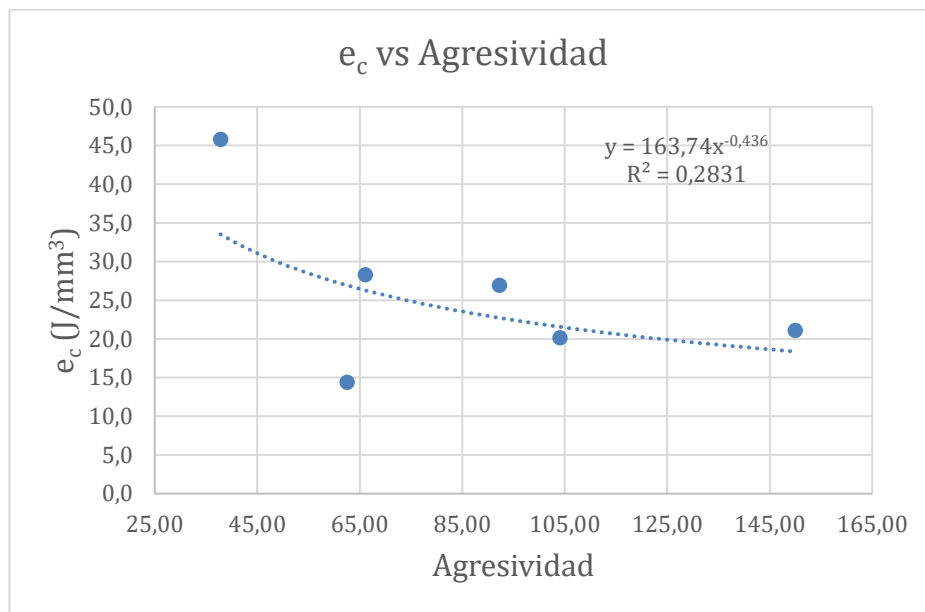
Las Gráficas 2 y 3 sin embargo, no presentan dicho problema. Los puntos se encuentran agrupados en una única nube de la que se puede extraer una curva de sencilla expresión y con un parámetro  $R^2$  bastante bueno en ambos casos. Además, se puede observar, cómo la distribución de puntos en ambas gráficas es igual. La forma de la curva cambia debido a la escala de los valores de  $G_{ch}$  y Agresividad. Lo que quiere decir que ambos parámetros son análogos entre sí. El hecho de que se agrupen en una misma curva permite una buena caracterización del par pieza-muela sin tener dependencia de ningún parámetro del proceso.

### PROTOCOLO INDUSTRIAL

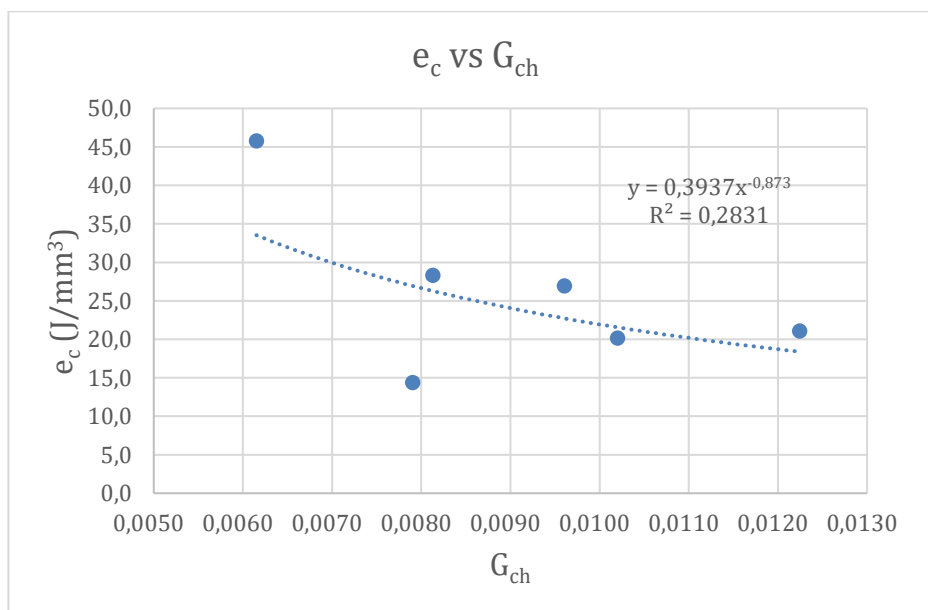
En lo referente a los ensayos en plano, únicamente ha sido posible obtener resultados de 6 de los 24 ensayos debido a que la máquina planeadora se encuentra fuera de servicio. Se analizan los datos obtenidos y se muestran a continuación los resultados de los ensayos. Al igual que en el protocolo preliminar, los parámetros más representativos han sido calculados, y la energía específica graficada en función de ellos.

Ensayo nº	$v_s$ [m/s]	$v_w$ [mm/min]	$a_{teórica}$ [mm]	$a_e$ [mm]	$d_s$ [mm]	$b$ [mm]	$q_s$	$Q_w'$ [mm³/mms]	$G_{ch}$	Agresividad	$P_{medida}$ [kW]	$e_c$ [J/mm³]
1	18	40000	0,009	0,006	350	10	26	3,82	0,0122	149,96	0,81	21,1
2			0,0045	0,003			26	1,84	0,0102	104,08	0,37	20,2
3			0,0015	0,001			26	0,66	0,0079	62,51	0,1	14,4
4	26	30000	0,012	0,008			53	4,03	0,0096	92,26	1,1	27
5			0,006	0,004			53	2,07	0,0081	66,10	0,59	28,3
6			0,002	0,001			53	0,68	0,0062	37,84	0,31	45,8

Tabla 18. Resultados batería de ensayos plano del protocolo industrial.



Gráfica 4.  $e_c$  vs Agresividad protocolo industrial ensayos en plano.



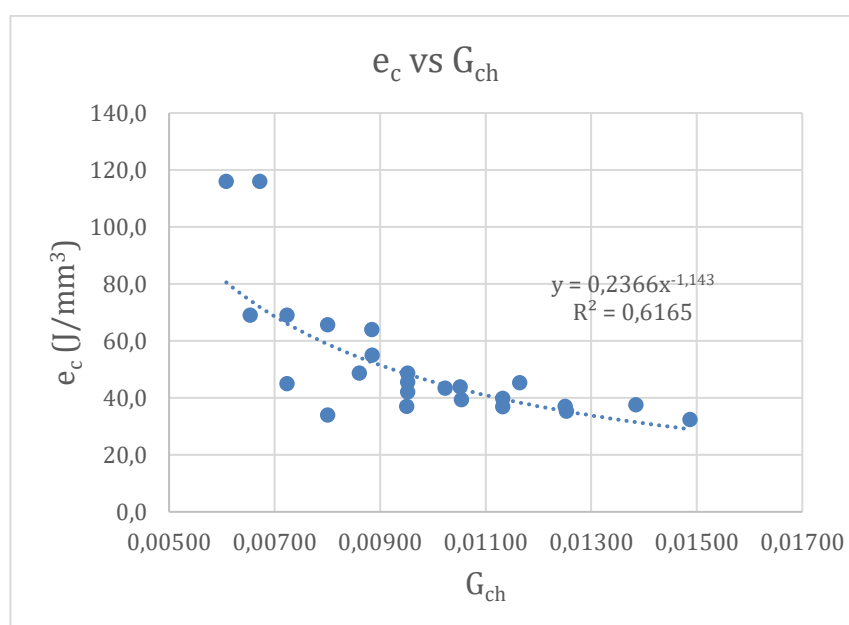
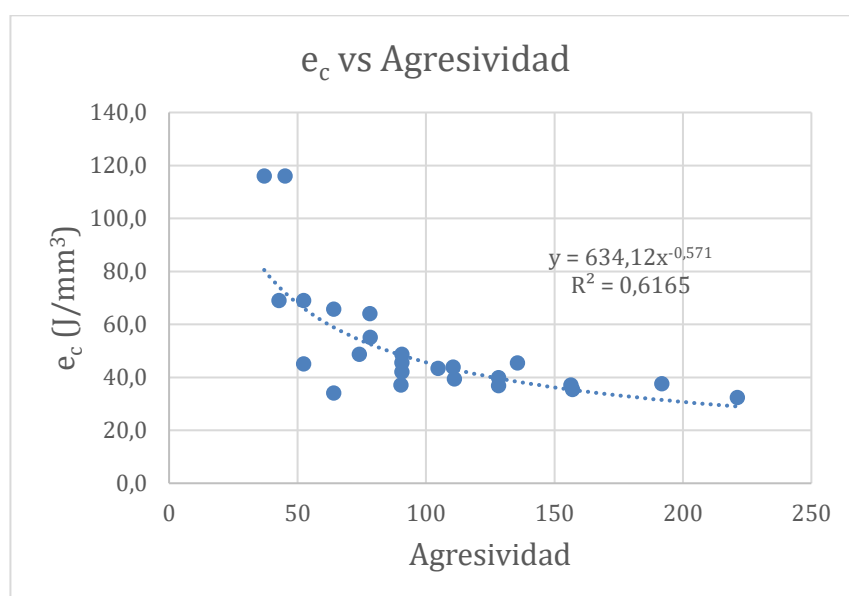
Gráfica 5.  $e_c$  vs  $G_{ch}$  protocolo industrial ensayos en plano.

Siendo evidente la falta de datos, las curvas obtenidas a partir de la nube de puntos, se asemejan a las obtenidas en el anterior protocolo. Dichas curvas son las que van a permitir predecir el comportamiento del par pieza-muela y las que nos van a llevar a la caracterización del mismo.

A continuación, se muestran recogidos en una tabla los resultados de los ensayos en cilíndrico del protocolo industrial.

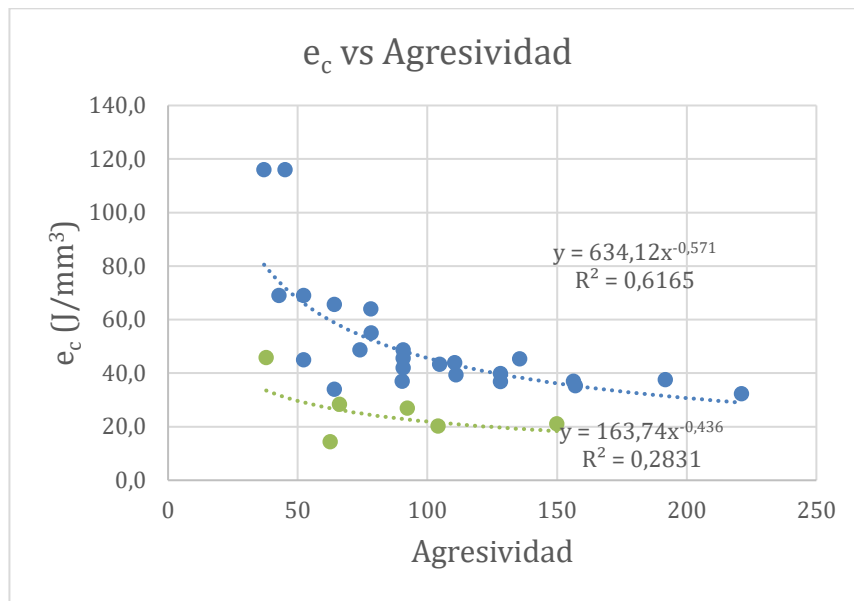
$Q_w'$ [mm <sup>3</sup> /mm.s]	$v_s$ [m/s]	$v_f$ [mm/min]	$w_w$ [rpm]	$D_{pieza}$ [mm]	$D_{muela}$ [mm]	$d_{eq}$ [mm]	$v_w$ [m/min]	$q_s$	Prof. Teórica [mm]	Prof. Real [mm]	$a_e$ [mm]	$P_{med}$ [kW]	$P_{max}$ [kW]	$e_c$ [J/mm <sup>3</sup> ]	$G_{ch}$	Agresividad
6	60	1,4	119,0	80,0	450,0	67,9	29,9	120	0,48	0,477	0,012	2,63	2,88	43,8	0,01052	111
	60		80,0				20,1	180		0,476	0,018	2,73	2,97	45,5	0,00952	91
	40		159,0				40,0	60		0,476	0,009	2,25	2,3	37,5	0,01385	192
	45		90,0				22,6	120		0,474	0,016	2,39	2,55	39,8	0,01132	128
	45		60,0				15,1	180		0,483	0,024	2,6	2,72	43,3	0,01023	105
	30		119,0				29,9	60		0,479	0,012	1,94	2,09	32,3	0,01487	221
	30		60,0				15,1	120		0,467	0,024	2,12	2,19	35,3	0,01253	157
	30		40,0				10,1	180		0,465	0,036	2,21	2,25	36,8	0,01132	128
	3		60				0,7	119,0		80,0	450,0	67,9	29,9	120	0,48	0,475
60		80,0	20,1	180	0,477	0,009		1,97	2,06				65,7	0,00801		64
40		159,0	40,0	60	0,468	0,005		1,36	1,48				45,3	0,01164		136
45		90,0	22,6	120	0,483	0,008		1,46	1,56				48,7	0,00952		91
45		60,0	15,1	180	0,480	0,012		1,46	1,61				48,7	0,00860		74
30		119,0	29,9	60	0,476	0,006		1,11	1,22				37,0	0,01251		156
30		60,0	15,1	120	0,477	0,012		1,18	1,3				39,3	0,01054		111
30		40,0	10,1	180	0,469	0,018		1,26	1,35				42,0	0,00952		91
1		60	0,2	119,0	80,0	450,0		67,9	29,9				120	0,48		0,472
	60	80,0		20,1			180		0,479	0,003	1,16	1,22	116,0		0,00608	37
	40	159,0		40,0			60		0,477	0,002	0,55	0,74	55,0		0,00885	78
	45	90,0		22,6			120		0,480	0,003	0,69	0,84	69,0		0,00724	52
	45	60,0		15,1			180		0,479	0,004	0,69	0,88	69,0		0,00654	43
	30	119,0		29,9			60		0,478	0,002	0,37	0,52	37,0		0,00950	90
	30	60,0		15,1			120		0,480	0,004	0,34	0,54	34,0		0,00801	64
	30	40,0		10,1			180		0,477	0,006	0,45	0,53	45,0		0,00724	52

Tabla 19. Resultados batería de ensayos cilíndrico del protocolo industrial.

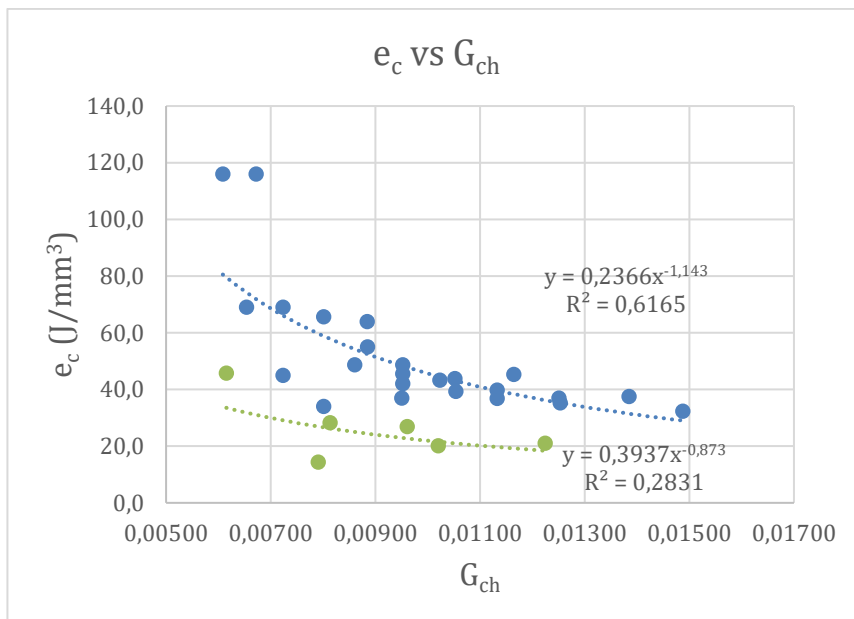


Se puede observar cómo la nube de puntos representada en ambas gráficas es la misma, pero con diferente escala. En ellas, podemos observar el comportamiento del par pieza-muela en rectificado cilíndrico resumido en una única ecuación. A partir de ello se puede predecir el consumo de potencia y cuál será el resultado de un proceso con dicho par.

Seguidamente, observamos las curvas de comportamiento tanto para plano como para cilíndrico superpuestas en una única gráfica.



Gráfica 8. Comparativa del comportamiento plano/cilíndrico I.



Gráfica 9. Comparativa del comportamiento plano/cilíndrico II.

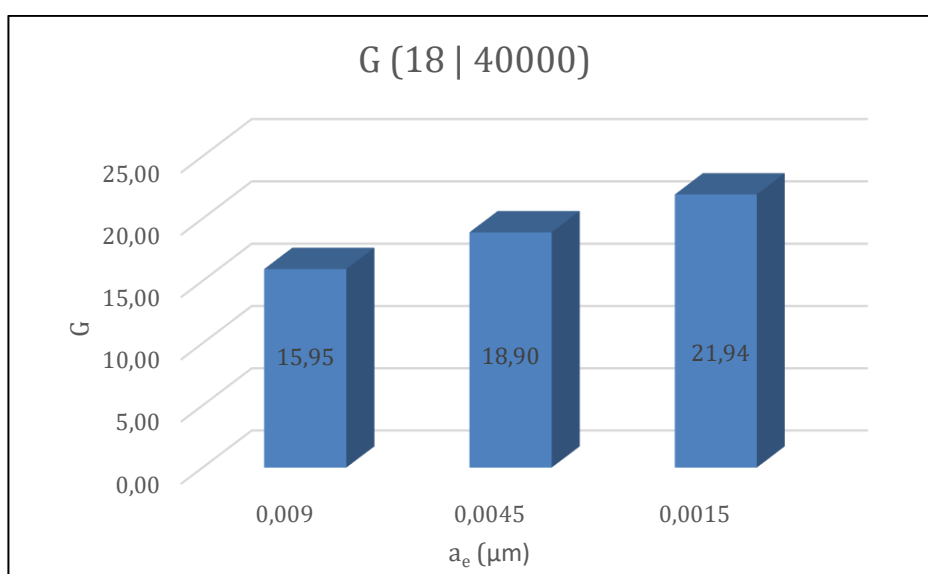
Analizando ambas gráficas, se puede ver a simple vista como el consumo de energía por unidad de volumen arrancado es menor en el caso del rectificado plano. Si bien es cierto que únicamente ha sido posible realizar 6 de los 24 ensayos, la tendencia general de las curvas de comportamiento plano es la de mantenerse por debajo de las de cilíndrico. Sería interesante finalizar dicha parte del protocolo con el fin de confirmar esta afirmación.

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas de desgaste volumétrico realizadas sobre el grafito.

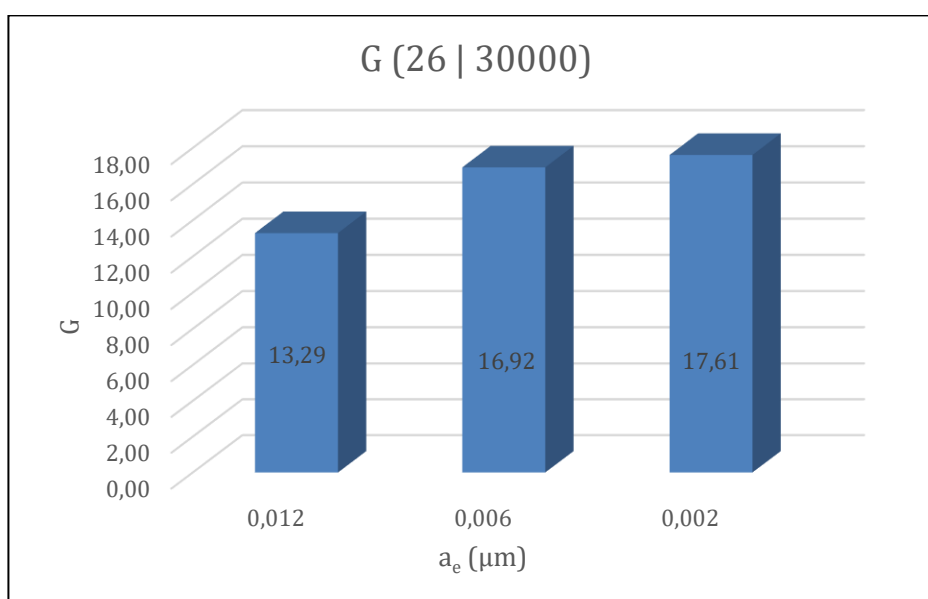
Ensayo nº	$v_s$	$v_w$	$a_{teórica}$	$b$	$h_{med}$	$d_i$	$d_{med}$	$V_{rect}$	$V_{perd}$	$G$
1	18	40000	0,009	10	0,0068	347,5	347,493	1175,625	73,7	15,95
2	18	40000	0,0045	10	0,0058	347,5	347,494	1186,25	62,8	18,90
3	18	40000	0,0015	10	0,0050	347,5	347,495	1197,5	54,6	21,94
4	26	30000	0,012	10	0,0083	347,5	347,492	1196,875	90,1	13,29
5	26	30000	0,006	10	0,0065	347,5	347,494	1200,625	71,0	16,92
6	26	30000	0,002	10	0,0063	347,5	347,494	1201,25	68,2	17,61

Tabla 20. Resultados desgaste volumétrico.

A partir de dichos resultados se han obtenido gráficas del parámetro G para cada prueba y profundidad de pasada.



Gráfica 10. G (Razón de rectificado) a 18m/s 40000mm/min.



Gráfica 11. G (Razón de rectificado) a 26m/s 30000mm/min.

Se puede observar como el proceso de corte es más eficiente desde el punto de vista volumétrico cuando la profundidad de pasada es menor.

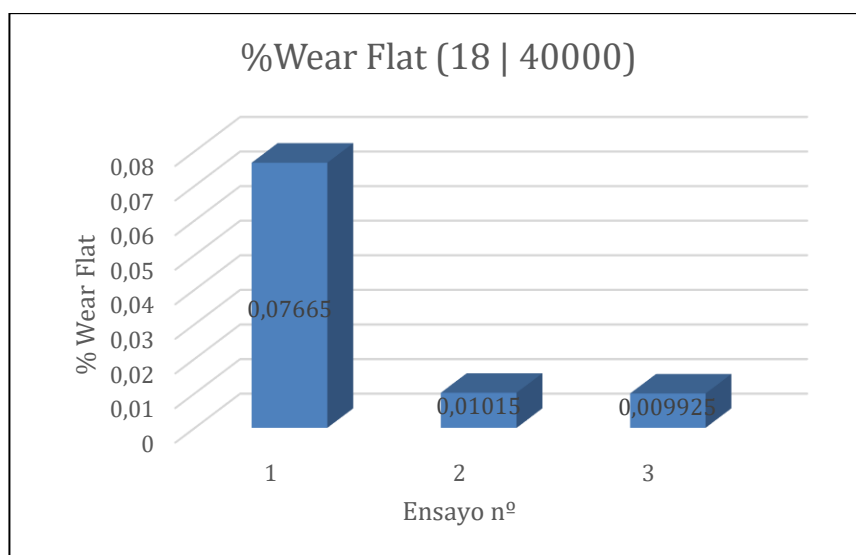
También se puede observar como el proceso resulta más eficiente con una velocidad de corte menor y una velocidad de avance mayor. No obstante, habría que obtener los resultados del resto de pruebas para poder afirmarlo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las fotografías de la muela en referencia al desgaste de tipo Wear Flat. Los valores corresponden al porcentaje de área afectado por el desgaste de caras planas.

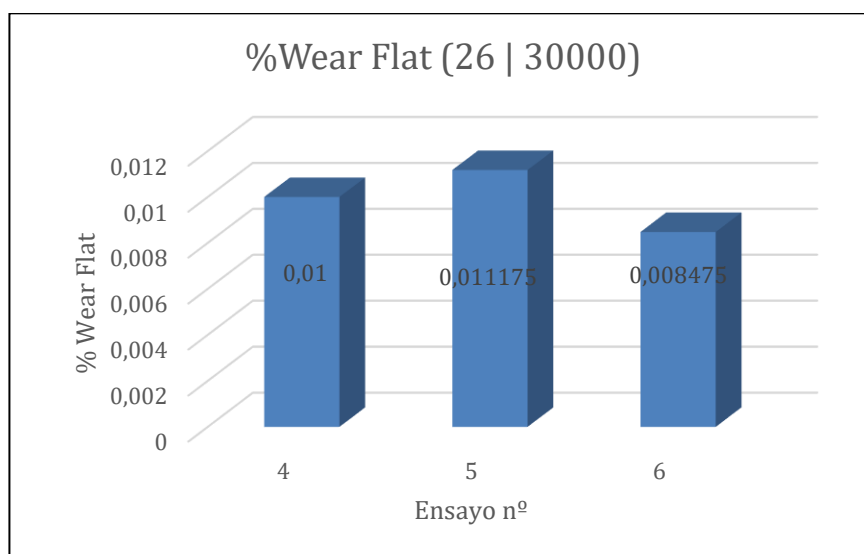
ENSAYO	SECTOR				MEDIA
	I	II	III	IV	
1	0,12	0,018	0,0786	0,09	0,07665
2	0,01	0,0056	0,013	0,012	0,01015
3	0,014	0,011	0,006	0,0087	0,009925
4	0,007	0,013	0,009	0,011	0,01
5	0,021	0,0045	0,01	0,0092	0,011175
6	0,01	0,0087	0,0062	0,009	0,008475

Tabla 21. Resultados de generación de Wear Flat.

Como se puede observar las tasas de generación de Wear Flat son muy pequeñas. La media del ensayo 1 es demasiado alta en comparación con los demás. Esto es debido a la cantidad de luz al tomar la foto en el primer sector. La cantidad de luz provoca que el color de la zona con caras planas sea muy parecido al de la viruta alojada en la muela, y por ello el porcentaje de área teóricamente afectado es tan alto.



Gráfica 12. Generación de Wear Flat a 18m/s 40000mm/min.



Gráfica 13. Generación de Wear Flat 26m/s 30000mm/min

En las gráficas se puede observar como la generación de Wear Flat es muy parecida en todos los ensayos, exceptuando el primero. Por lo que, no se observa relación entre las distintas velocidades y profundidades de pasada.

Unas tasas tan bajas de generación de caras planas dejan claro que el protocolo establecido no es el correcto para estimar el desgaste de tipo Wear Flat del par pieza-muela. Sería necesario generar un protocolo específico con el fin de estimar el comportamiento de desgaste de las muelas para un par pieza-muela concreto.

### 3.8. Aspectos económicos

#### 3.8.1. Desglose detallado

En este apartado se muestran los diferentes elementos que componen el presupuesto del trabajo desarrollado. Dichos elementos se clasifican en 4 tipos diferentes: recursos humanos, recursos materiales fungibles, recursos materiales amortizables y recursos informáticos amortizables. Seguidamente se muestran ordenados y pormenorizados.

#### RECURSOS HUMANOS

Descripción	Horas	Precio unitario [€/h]	Total [€]
Trabajo en máquina	107	13	1.391
Desarrollo del programa	40	13	520
Desarrollo de los protocolos	50	13	650
Procesado de datos	140	13	1.820
Maestro de taller	40	45	1.800
Trabajo del ingeniero director de proyecto	24	55	1.320
<b>PRECIO TOTAL</b>			<b>7.501</b>

Tabla 22. Presupuesto pormenorizado de recursos humanos.

**Total del presupuesto de recursos humanos.....7.501 €**



RECURSOS MATERIALES FUNGIBLES

Descripción	Unidad	Precio unitario [€/u]	Total [€]
Diamante SG1A 6A MC1	1	150	150
Muela 4MBA 48.2G18V489P24P	1	180	180
Muela 5MBA 80.2IJ8V489 Ø350	2	190	380
Muela 5MBA 80.2IJ8V489 Ø450	2	200	400
Probeta protocolo preliminar	2	150	300
Probeta ensayos cilíndrico	7	150	1.050
Probeta ensayos plano	9	200	1.800
Sistema refrigeración (Aceites y taladrinas)	100h	2,5	250
Bloque de grafito	1	50	50
Material oficina	-	-	80
PRECIO TOTAL			4.640

Tabla 23. Presupuesto pormenorizado de recursos materiales fungibles.

**Total del presupuesto de recursos materiales fungibles .....4.640 €**

RECURSOS MATERIALES AMORTIZABLES

Descripción	Horas	Precio unitario [€/h]	Total [€]
Rectificadora DANOBAT FG600S	40	65	2.600
Rectificadora BLOHM ORBIT 36	65	60	3.900
Fresadora Kondia B-700	2	60	120
Microscopio Dino-Lite	2	40	80
Instrumentos de medida	20	25	500
Ordenador Personal	230	4	920
PRECIO TOTAL			8.120

Tabla 24. Presupuesto pormenorizado de recursos materiales amortizables.

**Total del presupuesto de recursos materiales amortizables .....8.120 €**

RECURSOS INFORMÁTICOS AMORTIZABLES

Descripción	Horas	Precio unitario [€/h]	Total [€]
Software DinoCapture 2.0	3	15	45
Microsoft Office 2016	160	2	320
PRECIO TOTAL			365

Tabla 25. Presupuesto pormenorizado de recursos materiales amortizables.

**Total del presupuesto de recursos informáticos amortizables .....365 €**

### 3.8.2. Presupuesto total de ejecución del proyecto

Recursos humanos.....	7.501 €
Recursos materiales fungibles.....	4.640 €
Recursos materiales amortizables.....	8.120 €
Recursos informáticos amortizables.....	365 €
TOTAL.....	20.626 €
21% IVA.....	4.331,46 €
PRESUPUESTO TOTAL.....	24.957,46 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE PROYECTO.....</b>	<b>24.957,46 €</b>

### 3.9. Conclusiones

Dado que no se han realizado todos los ensayos, los resultados son parciales y, por tanto, las conclusiones estarán limitadas.

- Comparando ambos protocolos, el protocolo industrial aporta una mejor caracterización del comportamiento del par pieza-muela, debido principalmente a la combinación de ensayos tanto en plano como en cilíndrico. Además, incluye la caracterización de dos de los principales desgastes en condiciones normales de rectificado, desgaste volumétrico y desgaste de caras planas. Asimismo, el protocolo, aunque incluye un mayor número de ensayos, puede ser llevado a cabo en un tiempo aproximado de 48 horas. Esto, permite reducir los tiempos de puesta a punto de nuevos procesos y conocer el punto óptimo de funcionamiento de nuevas muelas.
- A partir de los resultados obtenidos en lo referente a los parámetros representativos del proceso tales como potencia consumida,  $G_{ch}$  y Agresividad, se puede concluir que el protocolo es adecuado para la caracterización del comportamiento del par. Sin embargo, los resultados del desgaste de tipo Wear Flat son poco significativos. Sería necesario definir y establecer un protocolo específico para conocer en detalle el comportamiento del desgaste de caras planas de cualquier par. Esto podría ser llevado a cabo en un trabajo complementario posterior y ayudaría a obtener el comportamiento de cualquier par en todos los ámbitos del rectificado.
- En lo referente al desgaste de tipo volumétrico, se pueden observar dos tendencias a partir de los resultados obtenidos. Primero, que el proceso de corte es más eficiente desde el punto de vista volumétrico cuando la profundidad de pasada es menor. Y también, que el proceso resulta más eficiente con una velocidad de corte menor y una velocidad de avance mayor. No obstante, sería interesante observar si esta tendencia se mantiene en todos los procesos de aplicación del par, es decir, si se mantiene a lo largo de

todo el protocolo industrial de ensayos. Para ello, sería de gran interés incluir un método para introducir el rectificado del grafito en cilíndrico y poder obtener datos del desgaste volumétrico y compararlos con los de plano para obtener mayor información.

- Las curvas obtenidas de  $e_c$  en función de  $G_{ch}$  y Agresividad nos aportan mucha información acerca del comportamiento del par, y son las que van a permitir generar una base de datos. Dicha base de datos se compondrá de un modelo matemático que, a partir de las ecuaciones de comportamiento obtenidas de todos los pares estudiados en un futuro, podrá ser empleada como una herramienta muy útil en los procesos de rectificado. Tal herramienta, permitirá a partir de los datos almacenados en ella, predecir el comportamiento y escoger la muela y los parámetros más adecuados para cada proceso específico de rectificado. Lo que se traduciría en una reducción muy importante de los tiempos de puesta a punto del proceso, lo que deriva en un gran beneficio económico.

### 3.10. Bibliografía

#### 3.10.1. Libros y artículos

- 1- Iñigo Pombo Rodilla, Borja Izquierdo Aranburu, Maira Ortega Rodríguez, Soraya Plaza Pascual, José Antonio Sánchez Galíndez. CRC Press (2011). Monografía docente: Fabricación de Alto Rendimiento: Rectificado.
- 2- Handbook of Machinig with Grinding Wheels: Ioan D. Marinescu, Mike Hitchiner, Eckart Uhlmann, W. Brian Rowe, Ichiro Inasaki.
- 3- Tribology of Abrasive Machining Processes: Ioan D. Marinescu, W. Brian Rowe, Boris Dimitrov, Ichiro Inasaki. Publicado: William Andrew, Inc.
- 4- Lindsay, R. P. (1986). Principles of grinding. In R. I. King, & R. S. Hahn (Eds.), Handbook of modern grinding technology (pp. 3071). Boston, MA, Chapter 2.

#### 3.10.2. Programas informáticos

- 5- SW Great
- 6- DinoCapture 2.0
- 7- Spyder – Python
- 8- Autodesk Inventor Professional

#### 3.10.3. Normas

- 9- DIN 51 385 (2013), Lubricantes – Fluidos de procesamiento para conformado y mecanizado de materiales - Términos.

10-EN 12413 (2018), Requisitos de seguridad para los productos abrasivos aglomerados.

#### 3.10.4. Catálogos

11-Quality Bronces (2016), Hierro fundido en colada continua y stick perlítica.

12-Agorrosin, S.L. Matricería Agorrosin (2017), Fabricación de moldes para sinterizado, útiles de metal duro y mecanizados de precisión.

#### 3.10.5. Fotos

13-[http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/1017\\_ca.pdf](http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/1017_ca.pdf)

14-<http://news.cision.com/ifs/r/technology-center-ik4-ideko-selects-ifs-to-improve-complex-project-management,c9219781>

15-<https://www.tulankide.com/es/ik4-ideko-registra-unos-ingresos-de-9-5-millones-de-euros-en-2017>

16-<https://www.danobatgroup.com/es/rotores-de-turbina-de-gas>

17-<https://www.ms-motorservice.es/productos-catalogos/productos/cigueenales/>

18-3

19-<http://www.metalmecanica.com/temas/Fabricante-de-herramientas-de-corte-One-Stop-Shop+115355>

20-Departamento ingeniería mecánica EIB

21-<https://www.diprotex.com/-Mueles-de-Diamante-y-CBN-con->

22-<http://www.suministrosalbisu.com/mueles.html>

23-<https://www.conitecabrasivos.com.ar/rectificadores--det--A0026--imp-->

24-<https://www.meister-abrasives.com/en>

25-<http://galika.ru/products/shlifoval-ny-e-stanki-blohm-orbit/>

26-<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18380/Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
SISTEMÁTICA DE MUELAS DE  
RECTIFICADO**

**DOCUMENTO 4 – ANEXOS**

**Alumno/Alumna:** Garcia-Aguirrebeitia Sanchez, Diego

**Director/Directora:** Pombo Rodilla, Iñigo

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** <Bilbao, 25, junio, 2019>

## DOCUMENTO 4 – ANEXOS

ANEXO I: PROGRAMACIÓN PYTHON

ANEXO II: FICHAS TECNICAS

ANEXO III: RESULTADOS

ANEXO IV: PLANOS

## ANEXO I: PROGRAMACIÓN PYTHON

## SW GREAT: MAIN

```

1 import tkinter as tk
2 from tkinter import *
3 from tkinter import ttk
4 import PowAc
5 import PowAn
6 import EcCurves
7 import PowCon
8 import GridBur
9 import dataBase
10 import WearFlat
11 import BestFittingPrueba
12 |
13
14 class Demo:
15     def __init__(self, master):
16         self.master = master
17         self.frame = tk.Frame(self.master).grid(row=0, column=0)
18
19         #Imagen superior
20         self.title = tk.PhotoImage(file = "tittle.png")
21         self.iTitle = tk.Label(self.frame, image=self.title).grid(row=0, column=0, colspan=3, padx=5, pady=5)
22         #self.button1 = tk.Button(self.frame, text = 'New Window', width = 25, command = self.new_window).grid(row=1, column=1, padx=5, pady=5)
23
24
25         #PRIMERA FILA DE MÓDULOS
26         #módulo de adquisición de potencia
27         self.SignalIcon = tk.PhotoImage (file = "SignalIcon.png")
28         self.iSignalIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.SignalIcon).grid(row=1, column=0, padx=5, pady=0)
29         self.bSignal = tk.Button(self.frame, text = 'Power acquisition', width=25, command = self.new_windowOne).grid(row=2, column=0, padx=5, pady=5)
30
31         #módulo de análisis de potencias
32         self.PowerIcon = tk.PhotoImage (file = "PowerIcon.png")
33         self.iPowerIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.PowerIcon).grid(row=1, column=1, padx=5, pady=0 )
34         self.bPower = tk.Button(self.frame, text='Power analysis', width=25, command = self.new_windowTwo).grid(row=2, column=1, padx = 5, pady = 5)
35
36         #Módulo de curvas de energía específica
37         self.EcIcon = tk.PhotoImage (file = "EcIcon.png")
38         self.iEcIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.EcIcon).grid(row=1, column=2, padx=10, pady=0)
39         self.bEc = ttk.Button(self.frame, text = 'Ec curves', width=25, command = self.new_windowThree).grid(row = 2, column=2, padx=10, pady=10)
40
41         #SEGUNDA FILA DE MÓDULOS
42         #Módulo de predicción de consumo de potencia
43         self.ConsumeIcon = tk.PhotoImage (file = "ConsumeIcon.png")
44         self.iConsumeIcon=ttk.Label(self.frame, image = self.ConsumeIcon).grid(row=3, column=0, padx=10, pady=0 )
45         self.bConsume=ttk.Button(self.frame, text='Power consume predictor', width=25, command = self.new_windowFour).grid(row=4, column=0, padx = 10, pady = 10)
46
47         #Módulo de cálculo de daño térmico
48         self.BurnIcon = tk.PhotoImage (file = "BurnIcon.png")
49         self.iBurnIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.BurnIcon).grid(row=3, column=1, padx=10, pady=0)
50         self.bGrindingBurn = ttk.Button(self.frame, text = 'Grinding burn analysis', width=25, command = self.new_windowFive).grid(row = 4, column=1, padx=10, pady=10)
51
52         #Módulo de base de datos de muela-material
53         self.DataBaseIcon = tk.PhotoImage (file = "DataBaseIcon.png")
54         self.iDataBaseIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.DataBaseIcon).grid(row=3, column=2, padx=10, pady=0)
55         self.bDataBase = ttk.Button(self.frame, text = 'Wheel-Materials DataBase', width=25, command = self.new_windowSix).grid(row=4, column=2, padx=10, pady=10)
56

```

```

57
58 #Módulo de cálculo de wearflat
59 self.WearFlatIcon = tk.PhotoImage (file = "NewWearFlatIcon.png")
60 self.iWearFlatIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.WearFlatIcon).grid(row=5, column=0, padx=10, pady=0)
61 self.bWearFlat = ttk.Button(self.frame, text = 'Wear Flat analysis', width=25, command = self.new_windowSeven).grid(row=6, column=0, padx=10, pady=10)
62
63 #Módulo de best fitting y desgaste
64 self.BestFittingIcon = tk.PhotoImage (file = "BestFitting.png")
65 self.iBestFittingIcon = ttk.Label(self.frame, image = self.BestFittingIcon).grid(row=5, column=1, padx=10, pady=0)
66 self.bBestFitting = ttk.Button(self.frame, text = 'Best Fitting and volume wear analysis', width=33, command = self.new_windowEigth).grid(row=6, column=1, padx=10, pady=10)
67
68
69
70
71 def new_windowOne(self):
72     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
73     self.app = PowAc.Demo1(self.newWindow)
74
75
76 def new_windowTwo(self):
77     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
78     self.app = PowAn.Demo2(self.newWindow)
79
80 def new_windowThree(self):
81     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
82     self.app = EccCurves.Demo3(self.newWindow)
83
84 def new_windowFour(self):
85     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
86     self.app = PowCon.Demo4(self.newWindow)
87
88 def new_windowFive(self):
89     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
90     self.app = GriBur.Demo5(self.newWindow)
91
92 def new_windowSix(self):
93     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
94     self.app = DataBase.Demo6(self.newWindow)
95
96 def new_windowSeven(self):
97     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
98     self.app = WearFlat.Demo7(self.newWindow)
99
100 def new_windowEigth(self):
101     self.newWindow = tk.Toplevel(self.master)
102     self.app = BestFittingPrueba.Demo8(self.newWindow)
103
104
105 def main():
106     root = tk.Tk()
107     #introducimos el icono y el título de ventana
108     root.title("GREAT")
109     root.iconbitmap("matrix.ico")
110     app = Demo(root)
111     root.mainloop()
112
113 if __name__ == '__main__':
114     main()

```



## SW GREAT: WEAR FLAT MODULE`

```

8 import matplotlib
9 matplotlib.use("TkAgg")
10 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg, NavigationToolbar2TkAgg
11 from matplotlib.figure import Figure
12 import matplotlib.animation as animation
13 from matplotlib import style
14 from tkinter import *
15 from tkinter import ttk
16 import matplotlib.pyplot as pltlib
17 import tkinter as tk
18 import numpy as np
19 import scipy as sc
20 from tkinter.filedialog import askopenfile, asksaveasfile
21 import ast
22 from scipy.signal import butter, lfilter, freqz
23 import string as st
24 from scipy.optimize import curve_fit
25 import nidaqmx
26 import time
27 import cv2
28 import pyautogui
29 import os
30 from pynput.mouse import Listener
31 from tkinter.filedialog import askopenfilename
32 from PIL import Image
33 import scipy.misc
34 from PIL import Image
35
36
37 class Demo7:
38     def __init__(self, master):
39         self.master = master
40         self.frame = tk.Frame(self.master).grid(row=0, column=0)
41
42         self.WearFlatTitle = PhotoImage(file = "WearFlat_title.png")
43
44         self.iWearFlatTitle = ttk.Label(self.master, image = self.WearFlatTitle)
45
46
47         self.closefilter=DoubleVar(value=7)
48         self.openfilter=DoubleVar(value=4)
49
50         self.LWearFlat=ttk.Label(self.master, text='WEAR FLAT ANALYSIS (Image .PNG)')
51
52         self.Lclosefilter=ttk.Label(self.master, text='Close Filter:')
53         self.Eclosefilter=ttk.Entry(self.master, textvariable=self.closefilter, width=10)
54
55         self.Lopenfilter=ttk.Label(self.master, text='Open Filter: ')
56         self.Eopenfilter=ttk.Entry(self.master, textvariable=self.openfilter, width=10)
57

```

```

58
59 self.Lresult=ttk.Label(self.master, text='% of Wear Flat: ')
60 self.Tresult=Text(self.master, width=10, height=1)
61
62
63 self.bChooseColor=ttk.Button(self.master, text= 'Choose color', width=25, command=self.eligecolor)
64
65 self.bStart=ttk.Button(self.master, text='Analyse', width=25, command=self.empezar)
66
67 self.bGetImage=ttk.Button(self.master, text='Select image to analyse', command=self.muestrafoto)
68
69 self.bApplyFilters=ttk.Button(self.master, text='Apply filters',command=self.aplicarfiltros)
70
71 self.separ1=ttk.Separator(self.master, orient=HORIZONTAL)
72
73
74 #imagenes
75 self.Imgelegir =PhotoImage (file = "img_en_blanco.png")
76 self.iImgelegir= ttk.Label(self.master, image = self.Imgelegir).grid(row=5, column=0, padx=10, pady=5)
77
78 self.Imganalizar =PhotoImage (file = "img_en_blanco.png")
79 self.iImganalizar= ttk.Label(self.master, image = self.Imganalizar).grid(row=5, column=3, padx=10, pady=5)
80
81
82
83 self.iWearFlatTitle.grid(row=0, column=0, columnspan=5, padx=0, pady=0)
84
85 self.LWearFlat.grid(row=1, column=0, columnspan=5, padx=5, pady=5)
86
87 self.separ1.grid(row=2, column=0, padx=15, sticky=N+S+W+E, columnspan=5)
88
89 self.bGetImage.grid(row=3, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)
90
91 self.bApplyFilters.grid(row=7, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)
92
93 self.bChooseColor.grid(row=6, column=0, columnspan=2, padx=5, pady=5)
94
95 self.Lclosefilter.grid(row=9, column=0, padx=5, pady=5)
96 self.Eclosefilter.grid(row=9, column=1, padx=5, pady=5)
97
98 self.Lopenfilter.grid(row=11, column=0, padx=5, pady=5)
99 self.Eopenfilter.grid(row=11, column=1, padx=5, pady=5)
100
101 self.bStart.grid(row=7, column=3, padx=5, pady=5)
102
103 self.Lresult.grid(row=7, column=4, padx=5, pady=5)
104 self.Tresult.grid(row=8, column=4, padx=5, pady=5)
105
106 #self.Imgelegir.grid(row=5,column=0, columnspan=2, padx=10, pady=5)
107 #self.Imganalizar.grid(row=5,column=4, columnspan=5, padx=10, pady=5)
108
109 copyPixeltoClipboard=True
110 copyColortoClipboard=True
111 def muestrafoto (self):

```

```

112
113     global im, lower_color, upper_color
114
115     #ha funcionado con img_en_blancoprueba
116     self.Imgelegir=None
117     im = filedialog.askopenfilename()
118     self.Imgelegir=PhotoImage(file=im)
119     self.iImgelegir= ttk.Label(self.master, image = self.Imgelegir).grid(row=5, column=0, padx=10, pady=5)
120     #im=Image.open(askopenfilename())
121     #im= PhotoImage(askopenfilename())
122
123 def eligecolor(self):
124     global copyPixeltoClipboard, copyColortoClipboard, mask
125
126     copyPixeltoClipboard=True
127     copyColortoClipboard=True
128     def addToClipboard(text):
129         command= 'echo' + text.strip()+ '| clip'
130         os.system(command)
131
132
133     def on_click(x, y, button, pressed):
134         if pressed:
135             x=pyautogui.position()[0]
136             y=pyautogui.position()[1]
137             if copyColortoClipboard:
138                 addToClipboard(str(pyautogui.pixel(x,y)))
139             print(pyautogui.pixel(x,y))
140         if not pressed:
141             return False
142
143
144     with Listener(on_click=on_click,) as listener:
145         listener.join()
146
147     x=pyautogui.position()[0]
148     y=pyautogui.position()[1]
149     rgb=pyautogui.pixel(x,y) #pixel elegido en RGB
150     rgb1=np.uint8([[rgb[0],rgb[1],rgb[2]]])
151     z=cv2.cvtColor(rgb1, cv2.COLOR_RGB2HSV) #pixel elegido en HSV
152     print(z)
153
154     z1=np.array(z)[0]
155     z2=np.array(z1)[0]
156     z3=z2[0]
157     if z3>225:
158         zup=255 #limite color arriba
159         zlower=z3-30 #limite color abajo
160     else:
161         zup=z3+30
162         zlower=z3-30
163
164
165     im1=cv2.imread(im,cv2.IMREAD_COLOR)
166     hsv=cv2.cvtColor(im1,cv2.COLOR_BGR2HSV)

```

```

167
168     lower_color = np.array([zlower,50,50])
169     upper_color = np.array([zup,255,255])
170     mask=cv2.inRange(hsv,lower_color,upper_color)
171     improcesada=Image.fromarray(mask)
172     improcesada.save("mask.png")
173     self.Imganalizar =None
174     self.Imganalizar =PhotoImage (file ="mask.png")
175     self.iImganalizar= ttk.Label(self.master, image = self.Imganalizar).grid(row=5, column=3, padx=10, pady=5)
176
177 def aplicarfiltros(self):
178     global close, apertura
179
180     param_close= int(self.closefilter.get())
181     param_apert= int(self.openfilter.get())
182
183     kernel = np.ones((param_close,param_close),np.uint8) #parametros close
184     kernel1 = np.ones((param_apert,param_apert),np.uint8) #parametros apertura
185
186     close = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
187     apertura = cv2.morphologyEx(close, cv2.MORPH_OPEN, kernel1)
188
189     improcesada2=Image.fromarray(apertura)
190     improcesada2.save("mask2.png")
191     self.Imganalizar =None
192     self.Imganalizar =PhotoImage (file ="mask2.png")
193     self.iImganalizar= ttk.Label(self.master, image = self.Imganalizar).grid(row=5, column=3, padx=10, pady=5)
194
195
196 def refreshImg(self):
197     self.Imgelegir=None
198     self.Imgelegir=tk.PhotoImage(im)
199     self.iImgelegir= ttk.Label(self.master, image = self.Imgelegir).grid(row=5, column=0, padx=10, pady=5)
200
201 def empezar (self):
202
203     cont=0
204     for eachRow in apertura:
205         for eachPix in eachRow:
206             if eachPix!=0:
207                 cont+=1
208
209     size=apertura.size
210     PerWearFlat=((cont/size)*100) #porcentaje de wear flat
211     self.Tresult.delete("1.0", END)
212     PowerInfo=str(PerWearFlat)
213     self.Tresult.insert("1.0", PowerInfo)

```

## ANEXO II: FICHAS TÉCNICAS

## 1- GG30



## VENTAJAS DE LA FUNDICIÓN EN COLADA CONTINUA:

- Completa ausencia de defectos.
- Excelente mecanización.
- Menor sobre espesor de mecanizado
- Resistencia al desgaste.
- Óptima conductividad térmica.
- Estructura de grano homogénea y fina
- Propiedades autolubrificantes.
- Capacidad de amortiguamiento.
- Estabilidad dimensional.
- Elevada resistencia a la fatiga.
- Disponibilidad inmediata.
- Excelente acabado superficial
- Bajo estrés residual.
- Disminución de costes por moldeo.

Característica	Unidad	Fundición GG-20	GG-25	Laminar GG-30	Fundición GG-30	GGG-50	Nodular GGG-60
Resistencia Cizallamiento	N/mm	150-200	200-300	300-350	300-400	400-500	550-650
Resistencia Torsión	N/mm	150-200	200-300	300-350	300-400	400-500	550-650
Coe ficiente Poisson		0,26	0,26	0,26	0,275	0,275	0,275
Resistencia Compresión	N/mm	700-850	700-850	900-1000	700	800	1000
Modulo Elasticidad E	GN/mm				169	169	176
Modulo Elasticidad E	KN/mm	175-110	100-120	120-140			
Límite Elasticidad 0,1% Convencional	N/mm	100-180	160-220	220-280			
Elongación	%	0,2/0,8	0,2/0,8	0,2/0,8	12-18-	7-14-	1-5-
Resistencia Flexión	N/mm	250	330	480			
Límite Fatiga sin entalla	N/mm				180-200	200-220	250-280
Relación de fatiga sin entalla	Limit/UTS				0,5	0,45	0,4
Límite fatiga con entalla	N/mm				110-120	120-140	155-170
Conductividad térmica a 300°C	W/(k.m)	50	45	43	36,2	35,2	31
Capacidad Térmica 20°- 500 °C	J/kg.k)	460-535	460-535	460-535	515	515	515
Coe ficiente dilatacion lineal 20° - 400 °C	u.m./m.L)	11,7-13	11,7-13	11,7-13	11,7-13	12,5	12,5
Densidad	Kg/dm	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Pérdida por Histéresis (B=1T)	J/m	2500-3000	2500-3000	2500-3000	600	1000-2000	2700
Resistividad		0,75-0,8	0,7-0,75	0,7	0,5	0,51	0,54
Permeabilidad		220-330	220-330	220-330	2136	1596	500





AGORROSIN, S.L.

NIF / DNI B20792214  
C/HAITZ-ITURRI,6-APDO.279-P.I.  
20570 BERGARA  
GUIPUZCOA

CERTIFICADO Nº : 618.528

S/REFER. N/REFER. S/Nro. DE PEDIDO... F.CERTIFICADO ALBARAN DE FECHA...  
8/02/2019 479.949 8/02/2019

**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
DIN 50049-3.1 / EN 10204-3.1

DESCRIPCION DEL MATERIAL

CALIDAD	ESTADO	PERFIL	MEDIDAS
1.2842		CH	50X 35

ANALISIS QUIMICO-COLADA Nro. OB10020818

COMPONENTE	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V
PRESENCIA	0,890	2,040	0,260	0,021	0,004	0,280			0,050

CARACTERISTICAS MECANICAS

	DUREZA
RESULTADO	220
UMEDIDA	HB

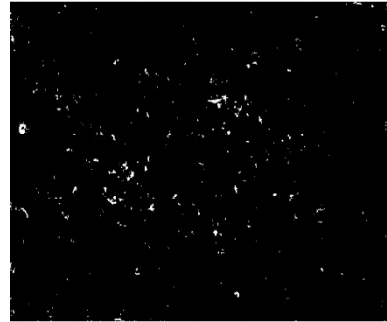
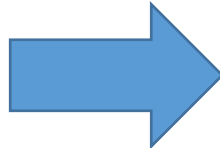
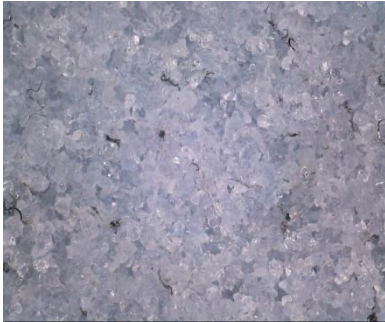
OBSERVACIONES

Estado	Perfil
L -> Laminado Bruto	R8 -> Redondo
LT -> Laminado Torneado	LL -> Llantia
LG -> Laminado Granallado	CU -> Cuadrado
LF -> Laminado en Frio	HE -> Hexagonal
LR -> Laminado Rectificado	PA -> Palanquilla
F -> Forjado Bruto	CO -> Coll (Bobina)
FT -> Forjado Torneado	PE -> Perfil Especial
FG -> Forjado Granallado	TU -> Tubo
FF -> Forjado en Frio	
FR -> Forjado Rectificado	

## ANEXO III: RESULTADOS

### 1º Ensayo

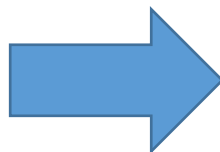
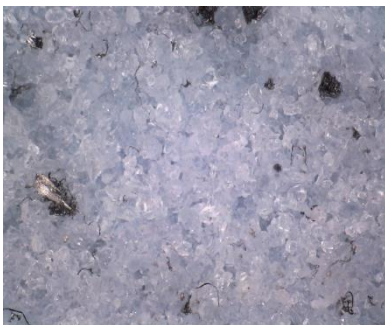
#### Ensayo 1 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,12

Filtro Open = 2

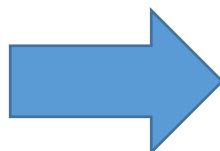
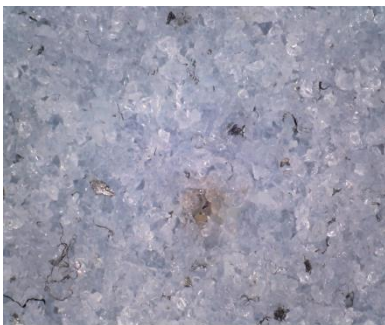
#### Ensayo 1 – Sector II



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,018

Filtro Open = 2

#### Ensayo 1 – Sector III

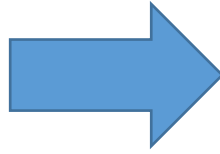
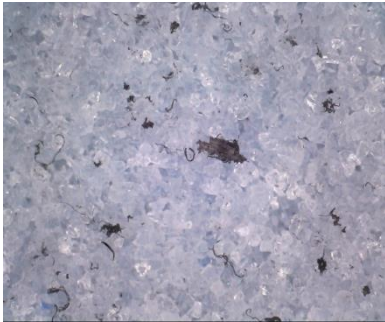


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0786

Filtro Open = 2



Ensayo 1 – Sector IV

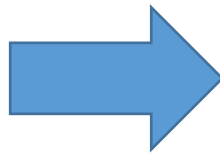


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,09

Filtro Open = 2

2º Ensayo

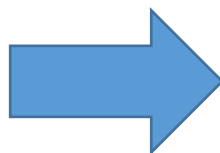
Ensayo 2 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,01

Filtro Open = 2

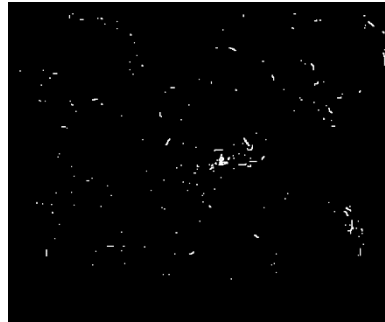
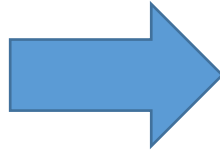
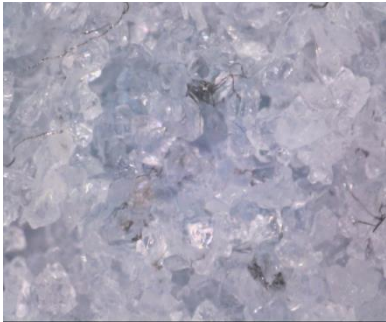
Ensayo 2 – Sector II



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,056

Filtro Open = 2

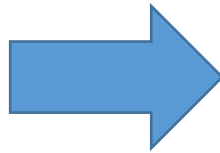
Ensayo 2 – Sector III



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,013

Filtro Open = 2

Ensayo 2 – Sector IV

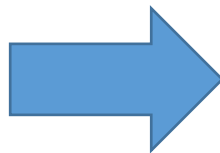
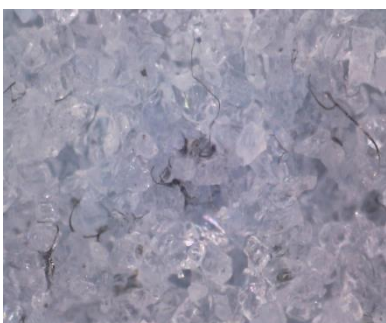


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,012

Filtro Open = 2

**3º Ensayo**

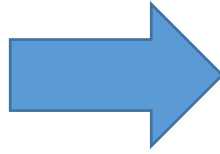
Ensayo 3 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,014

Filtro Open = 2

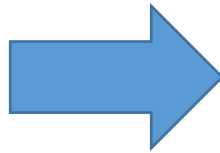
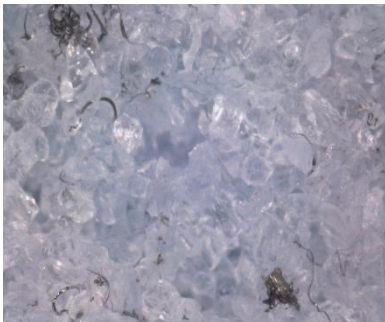
**Ensayo 3 – Sector II**



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,011

Filtro Open = 2

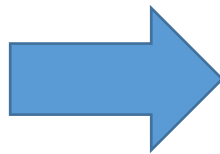
**Ensayo 3 – Sector III**



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,006

Filtro Open = 2

**Ensayo 3 – Sector IV**

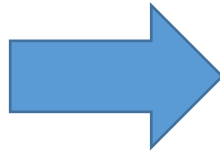
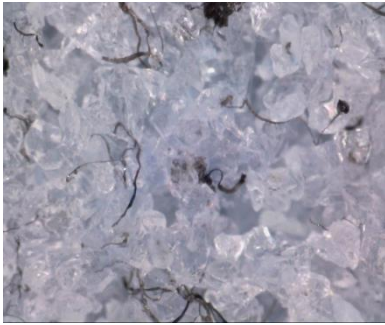


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0087

Filtro Open = 2

### 4º Ensayo

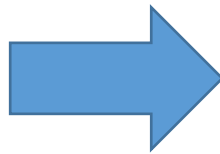
#### Ensayo 4 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,007

Filtro Open = 2

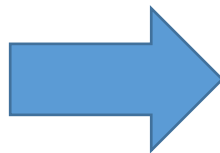
#### Ensayo 4 – Sector II



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,013

Filtro Open = 2

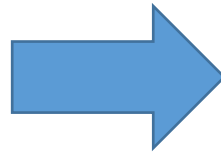
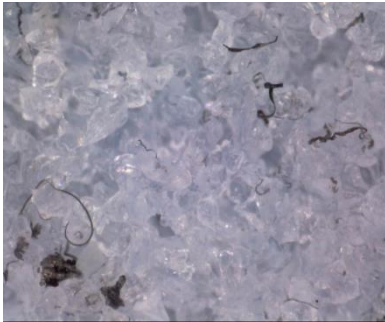
#### Ensayo 4 – Sector III



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,009

Filtro Open = 2

Ensayo 4 – Sector IV

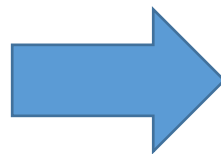
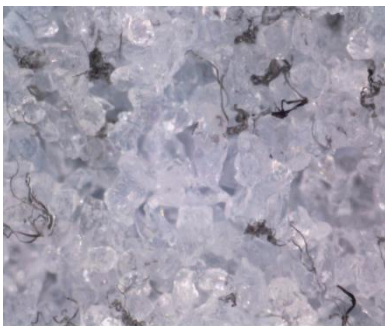


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,011

Filtro Open = 2

5º Ensayo

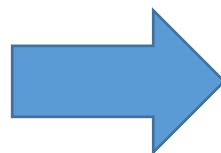
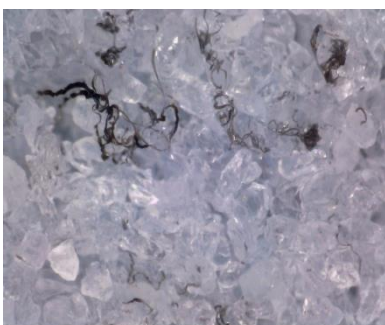
Ensayo 5 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,021

Filtro Open = 2

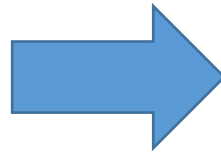
Ensayo 5 – Sector II



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0045

Filtro Open = 2

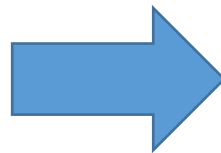
Ensayo 5 – Sector III



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,01

Filtro Open = 2

Ensayo 5 – Sector IV

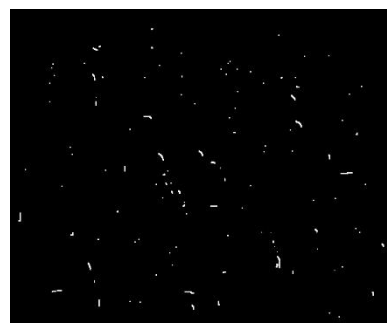
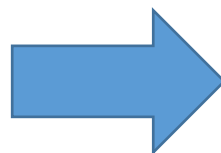


- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0092

Filtro Open = 2

6º Ensayo

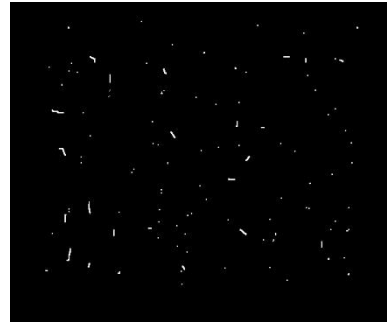
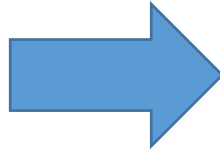
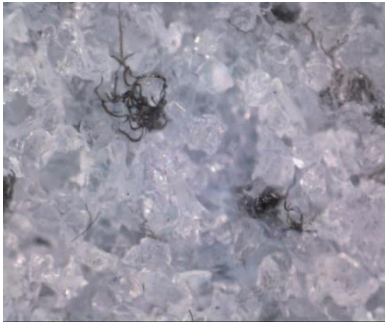
Ensayo 6 – Sector I



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,01

Filtro Open = 2

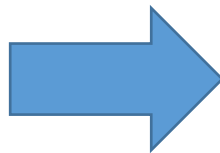
Ensayo 6 – Sector II



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0087

Filtro Open = 2

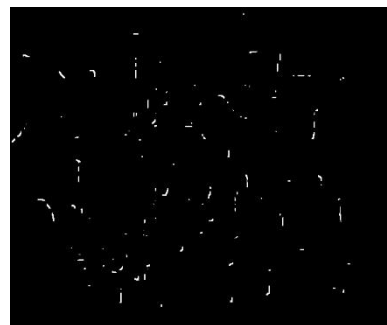
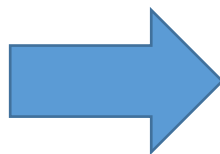
Ensayo 6 – Sector III



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,0062

Filtro Open = 2

Ensayo 6 – Sector IV



- Filtro Close = 3
- %WearFlat = 0,009

Filtro Open = 2

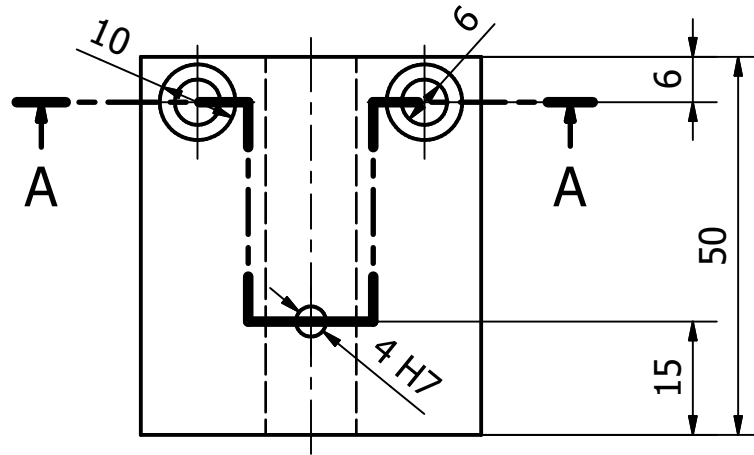
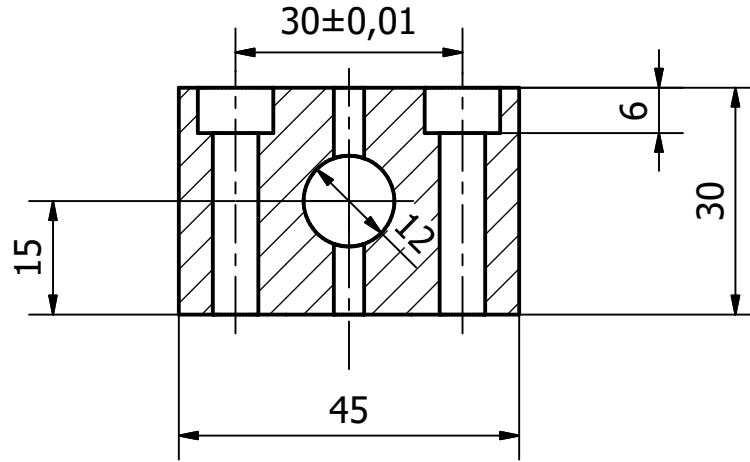
## **ANEXO IV: PLANOS**

- 1.- ÚTIL AMARRE DE DIAMANTE
- 2.- UTILLAJE SOPORTE PARA PROBETA DE ENSAYOS
- 3.- PROBETA DE ENSAYOS CILÍNDRICO
- 4.- PROBETA DE ENSAYOS PLANO



N9

CORTE A-A



1	Útil amarre de diamante			F-1140	kg	0,471
---	-------------------------	--	--	--------	----	-------

Cant./Kant.	Denominación/Izendapena	Norma/Araudia Plano/Planoa	Marca/Marka	Material/Materiala Obvserv./Behaketak	Unit.	Total/Osoa Peso/Pisu
-------------	-------------------------	-------------------------------	-------------	--	-------	-------------------------

Dibujado/Marraztuko:	Fecha/Data:	Nombre/Izena:	Firma/Signa.:
Comprob./Egiaztatu:			
Dirigido/Zuzenduta:			

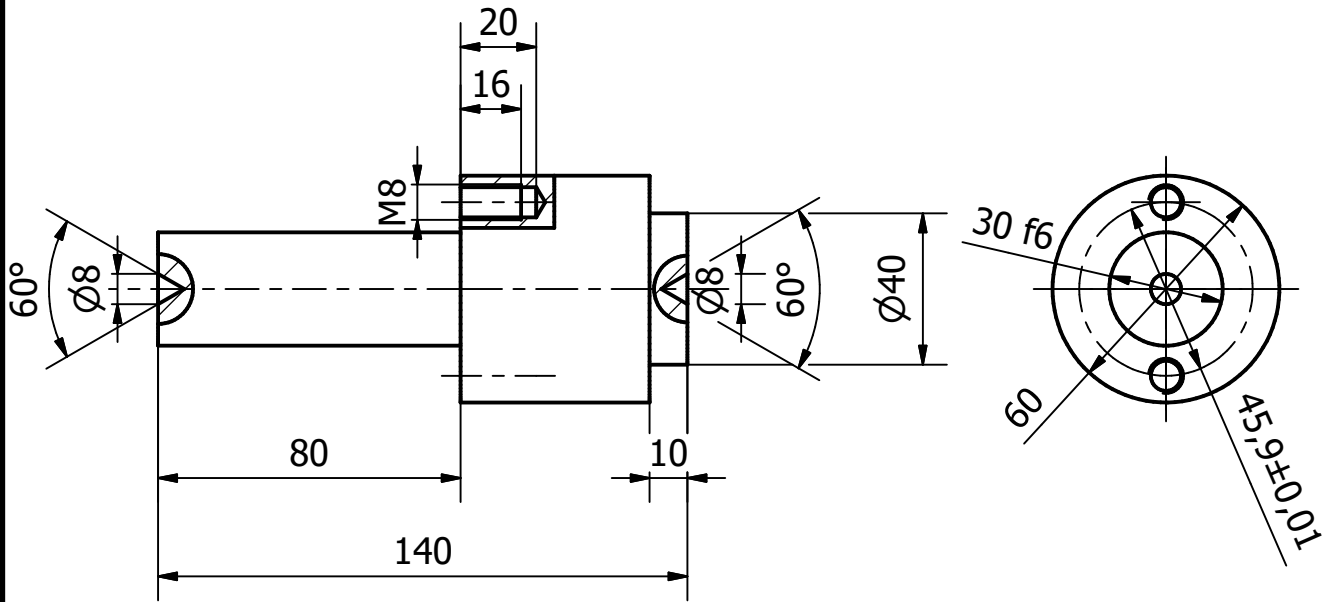


UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO  
EUSKAL HERRIKO UNIBETSITATEA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO  
BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
INGENARITZA MEKANIKOKO GRADUA



<p>Toleran. gen.: Perdoiak gen.:</p> <p>m</p>	<p>Escala/Eskala:</p> <p><b>1:1</b></p>	<p><b>Útil amarre de diamante</b></p>	<p>Ensayos para la caracterización sistemática de muelas de rectificado</p>
			<p>Plano N°/Zkia.: <b>1</b></p> <p>Plano Cant./Kop.: <b>4</b></p> <p>Calificación/Kalifikazioa:</p>

N9



1	Utillaje soporte para probeta de ensayos			F-1140	kg	1,65
---	--	--	--	--------	----	------

Cant./Kant.	Denominación/Izendapena	Norma/Araudia Plano/Planoa	Marca/Marka	Material/Materiala Obsvrv./Behaketak	Unit.	Total/Osoa Peso/Pisu
-------------	-------------------------	-------------------------------	-------------	---	-------	-------------------------

Dibujado/Marraztuko:	Fecha/Data:	Nombre/Izena:	Firma/Signa.:
Comprob./Egiaztatu:			
Dirigido/Zuzenduta:			

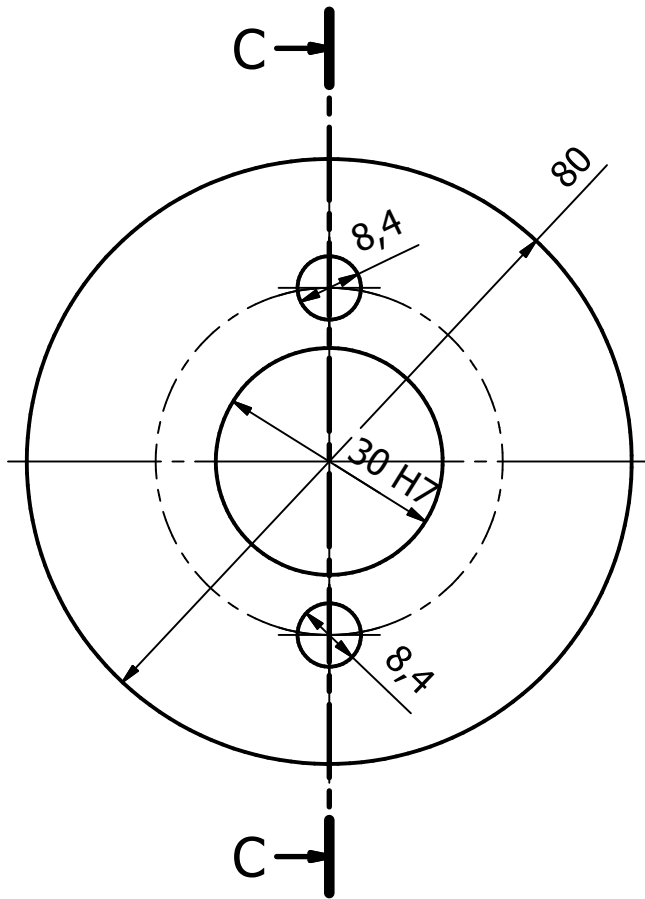


UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO  
EUSKAL HERRIKO UNIBETSITATEA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO  
BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
INGENARITZA MEKANIKOKO GRADUA

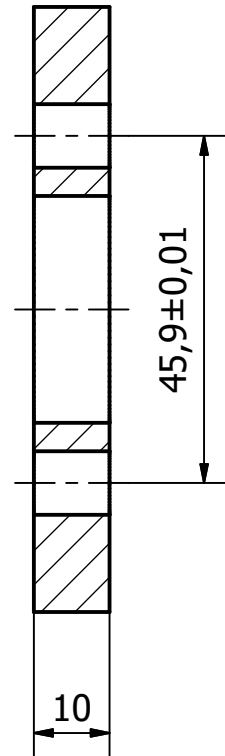



 Toleran. gen.: Perdoiak gen.: m	Escala/Eskala:  <b>1:2</b>	<b>Utillaje soporte para probeta de ensayos</b>	Ensayos para la caracterización sistemática de muelas de rectificado
			Plano N°/Zkia.: 2 Plano Cant./Kop.: 4 Calificación/Kalifikazioa:

N9

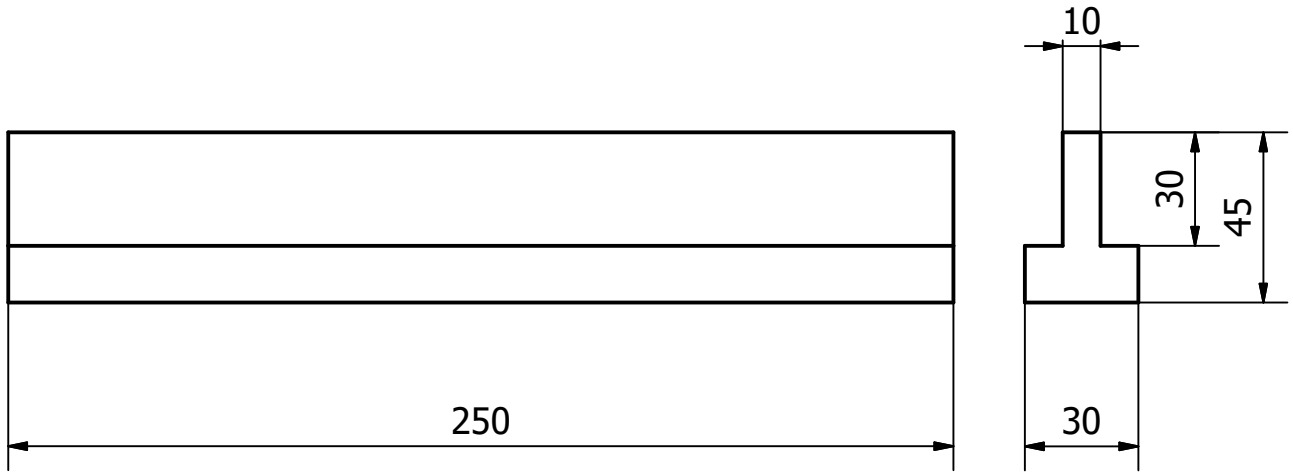


CORTE C-C



7	Probeta de ensayos cilíndrico			F-522	kg	0,39
Cant./Kant.	Denominación/Izendapena	Norma/Araudia Plano/Planoa	Marca/Marka	Material/Materiala Obsv./Behaketak	Unit.	Total/Osoa Peso/Pisu
Dibujado/Marraztuko:	Fecha/Data: 07/06/2019	Nombre/Izena: Diego Garcia-Aguirrebeitia	Firma/Signa.:	 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO EUSKAL HERRIKO UNIBETSITATEA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA INGENIARITZA MEKANIKOKO GRADUA		
Comprob./Egiaztatu:						
Dirigido/Zuzenduta:						
 Toleran. gen.: Perdoiak gen.: m	Escala/Eskala: <b>1:1</b>	<b>Probeta de ensayos cilíndrico</b>		Ensayos para la caracterización sistemática de muelas de rectificado Plano N°/Zkia.: 3 Plano Cant./Kop.: 4 Calificación/Kalifikazioa:		


N9





2	Probeta de ensayos plano			F-522	kg	1,47
---	--------------------------	--	--	-------	----	------

Cant./Kant.	Denominación/Izendapena	Norma/Araudia Plano/Planoa	Marca/Marka	Material/Materiala Observ./Behaketak	Unit.	Total/Osoa Peso/Pisu
-------------	-------------------------	-------------------------------	-------------	---	-------	-------------------------

	Fecha/Data:	Nombre/Izena:	Firma/Signa.:
Dibujado/Marraztuko:	07/06/2019	Diego Garcia-Aguirrebeitia	
Comprob./Egiaztatu:			
Dirigido/Zuzenduta:			


 UNIVERSIDAD DE PAIS VASCO  
 EUSKAL HERRIKO UNIBETSITATEA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO  
 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA  
 GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
 INGENARITZA MEKANIKOKO GRADUA



 Toleran. gen.: Perdoiak gen.: m	Escala/Eskala: <b>1:2</b>	<b>Probeta de ensayos plano</b>	Ensayos para la caracterización sistemática de muelas de rectificado
			Plano N°/Zkia.: <b>4</b> Plano Cant./Kop.: <b>4</b> Calificación/Kalifikazioa: