



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2014 / 2015

*CARACTERIZACIÓN DEL DESGASTE DE ELECTRODOS DE  
GRAFITO EN ELECTREROSIÓN POR PENETRACIÓN*

**DOCUMENTO 1: ÍNDICE GENERAL**

**DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO**

NOMBRE: IGNACIO

APELLIDOS: MARGÜELLO JUARISTI

FDO.:

FECHA:10/09/2015

**DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA**

NOMBRE: BORJA

APELLIDOS: IZQUIERDO ARAMBURU

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:10/09/2015

## ÍNDICE GENERAL

### DOCUMENTO 2. RESUMEN

2.1. OBJETO .....	2
2.2 ANTECEDENTES .....	2
2.3 METODOLOGÍA.....	3
2.3.1 ENSAYOS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	5
2.3.2 ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	5
2.4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	6
2.4.1 ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°.....	7
2.4.2 ELECTRODOS PARA BLISK .....	7
2.5 LÍNEAS FUTURAS Y PROPUESTA TÉCNICA.....	8

### DOCUMENTO 3. MEMORIA

3.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	4
3.2.1. TÉRMINOS BÁSICOS ELECTROEROSIÓN.....	4
3.2.1.1. TERMINOLOGÍA GENERAL.....	4
3.2.1.2. TERMINOLOGÍA ELÉCTRICA.....	7
3.2.2. TERMINOLOGÍA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS .....	8
3.2.3 TERMINOLOGÍA PERFILÓMETRO CONFOCAL.....	9
3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	10
3.3.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO .....	10
3.3.2 OBJETIVOS QUE SE PERSIGUEN .....	12
3.4. ANTECEDENTES .....	13
3.4.1 INTRODUCCIÓN.....	13
3.4.2 INTRODUCCIÓN A LA ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN. 13	
3.4.3 DESGASTE DE ELECTRODOS EN ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN .....	15
3.4.2 ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE .....	16

3.5 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	28
3.5.1 INTRODUCCIÓN.....	28
3.5.2 ALTERNATIVAS PARA LAS EROSIONES CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	29
3.5.2.1 ALTERNATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE ELECTRODOS ....	29
3.5.2.2 ALTERNATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE LAS CAVIDADES ..	33
3.5.4 ALTERNATIVAS PARA LAS EROSIONES CON ELECTRODOS PARA BLISK.....	37
3.6 SOLUCIÓN ADOPTADA.....	40
3.6.1 MARCO TEÓRICO .....	40
3.6.1.1 INTRODUCCIÓN.....	40
3.6.1.2 ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN Y ELECTROEROSIÓN POR HILO .....	41
3.6.1.3 MATERIALES DE PIEZA MÁS HABITUALES .....	47
3.6.1.4 LIMITACIONES DEL PROCESO.....	49
3.6.1.5 ANÁLISIS DEL MECANISMO DE ARRANQUE .....	50
3.6.1.5.1 EXPLIACIÓN FÍSICA DEL PROCESO: FASES DE DESCARGA.....	50
3.6.1.5.2 PARÁMETROS DE EROSIÓN.....	55
3.6.1.5.2 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE EROSIÓN SOBRE LA EFICIENCIA DEL PROCESO.....	60
3.6.1.5.3 IMPULSOS ISOENERGÉTICOS.....	64
3.6.1.5.4 SISTEMA DE CONTROL DE AVANCE DE ELECTRODO...	65
3.6.1.5.5 TECNOLOGÍAS DE EROSIÓN.....	66
3.6.1.6 TECNOLOGÍA DE EROSIÓN POR PENETRACIÓN .....	66
3.6.1.6.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES .....	66
3.6.1.7 MATERIALES PARA ELECTRODOS .....	69
3.6.1.7.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL DE ELECTRODO .....	69
3.6.1.7.2 COBRE.....	72
3.6.1.7.3 CUPROTUNGSTENO.....	73
3.6.1.7.4 PLATA-TUNGSTENO .....	73
3.6.1.7.5 ALUMINIO .....	74
3.6.1.7.6 GRAFITOS.....	74

3.6.1.8 ACEITES DIELECTRICOS .....	78
3.6.1.8.1 CARACTERÍSTICAS DE UN FLUIDO PARA ELECTROEROSIÓN .....	78
3.6.1.8.2 TIPOS DE ACEITES PARA ELECTROEROSIÓN .....	79
3.6.1.9 UTILAJES Y ACCESORIOS PARA ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN .....	80
3.6.2 MARCO METODOLÓGICO .....	82
3.6.2.1 ENSAYOS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° ... ..	82
3.6.2.3 ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	108
3.6.2.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES .....	136
3.6.2.4 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE LOS ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	137
3.6.2.5 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE LOS ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	145
3.7 RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	156
3.7.1 INTRODUCCIÓN .....	156
3.7.2 RESULTADOS DE LAS EROSIONES REALIZADAS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	156
3.7.3 RESULTADOS DE LAS EROSIONES REALIZADAS CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	166
3.7.4 CONCLUSIONES .....	178
3.7.4.1 CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	178
3.7.4.2 CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	179
3.8 VALORACIONES GENERALES Y LÍNEAS FUTURAS .....	180
3.8.2 LÍNEAS FUTURAS Y PROPUESTA TÉCNICA .....	181

## **DOCUMENTO 4. BIBLIOGRAFÍA**

4.1. BIBLIOGRAFÍA .....	1
-------------------------	---

**DOCUMENTO 5. ANEXOS:****DOCUMENTO 5.1. PLANOS**

5.1.1. PLANOS DE ELECTRODOS.....	1
----------------------------------	---

**DOCUMENTO 5.2. RESULTADOS**

5.2.1. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	2
5.2.1.1 RESULTADOS DE LAS EROSIONES A 0.5mm .....	2
5.2.1.2 RESULTADOS DE LAS EROSIONES A 1mm .....	8
5.2.1.3 RESULTADOS DE LA EROSION A 2mm .....	14
5.2.1.4 RESULTADOS DE LA EROSIÓN A 4mm .....	17
5.2.1.5 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS PARA ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....	22
5.2.2. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ELECTRODOS PARA BLISK .....	27
5.2.2.1 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 39 .....	29
5.2.2.2 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 36 .....	33
5.2.2.3 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 32 .....	37
5.2.2.4 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 28 .....	41
5.2.3 COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS PARA LAS DISTINTAS EROSIONES CON ELECTRODOS PARA BLISK .....	44
5.2.3.1 DESGASTE DE ELECTRODO .....	44
5.2.3.2 DIMENSIÓN DEL GAP .....	48

**DOCUMENTO 5.3. PRESUPUESTO**

5.3.1. INTRODUCCIÓN ..... 2  
5.3.2. HORAS INTERNAS..... 3  
5.3.3. INVERSIONES..... 4  
5.3.4. GASTOS ..... 5  
5.3.5. LICENCIAS Y SOFTWARE..... 6  
5.3.6. PRESUPUESTO ..... 7

**DOCUMENTO 5.4. MEDICIONES**

5.4.1 ELECTRODOS PARA BLISK .....2  
5.4.1.1 MEDICIONES DE LOS ELECTRODOS PARA BLISK EMPLEANDO EL  
MEDIDOR POR COORDENADAS ZEISS MC 850 .....2  
5.4.1.2. REPRESENTACIÓN Y SUPERPOSICIÓN DE LAS  
MEDICIONES.....99  
5.4.1.3. DESVIACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ELECTRODO ANTES DE  
LA EROSIÓN .....115  
5.4.1.4. IMÁGENES DE LA GEOMETRÍA DE LA PUNTA DEL ELECTRODO  
OBTENIDA EN EL PROYECTOR DE PERFILES .....131  
5.4.2 MEDICIONES EN ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60° .....135

**DOCUMENTO 5.5. PROGRAMAS ZEISS.C**

5.5.1 CÓDIGO DE LOS PROGRAMAS ZEISS.C ..... 2

