EPS
Escola Politècnica
UdG Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Influència de la dinàmica de la màquina d'electroerosió en la fabricació de micro-cavitats

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Daniel Gurguí Cabrejas

Director/Tutor: Inés Ferrer Real
Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial
Àrea: Processos de Fabricació

Convocatòria (mes/any): Septembre 2012

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ 1

1.1. ANTECEDENTS 1

1.2. OBJECTE 2

1.3. ABAST 2

2. LA ELECTROEROSIÓ 3

2.1. DEFINICIÓ 3

2.2. PRINCIPIS DE MECANITZAT PER ELECTROEROSIÓ 3

2.3. EXPLICACIÓ FÍSICA DEL FENOMEN DE L'EROSIÓ PER GUSPIRA 4

2.3.1. ANÀLISIS DEL DESENVOLUPAMENT DE LA DESCÀRREGA ELÈCTRICA 5

2.4. TIPUS DE MECANITZAT PER ELECTROEROSIÓ 8

2.4.1. ELECTROEROSIÓ PER PENETRACIÓ 8

2.4.2. TALL PER ELECTROEROSIÓ PER FIL 9

2.4.3. RECTIFICAT PER ELECTROEROSIÓ. 10

3. EXPERIMENTS PRELIMINARS 11

3.1. RECERCA PRÈVIA 11

3.2. SELECCIÓ I FABRICACIÓ DE L'ELÈCTRODE 11

3.2.1. MATERIAL DE L'ELÈCTRODE 11

3.2.1.a. PROPIETATS DELS MATERIALS QUE S'HAN DE TENIR EN COMPTE 11

3.2.1.b. LLISTAT DE MATERIALS APTES PER LA TECNOLOGIA 12

3.2.1.c. CONCLUSIONS: 12

3.2.2. GEOMETRIA DE L'ELÈCTRODE 13

3.2.3. MÀQUINARIA I APARELLS 14

3.2.4. PROGRAMES 16

3.3. SELECCIÓ DE PARÀMETRES DE PROCÉS 17

3.4. FASES DE TREBALL 19

3.4.1. FASE 1: PROVA A MICRO ESCALA AMB PARÀMETRES DE MESO ESCALA 20

3.4.2. FASE 2: DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN LA RUGOSITAT I FORMA DE LA CAVITAT 23

3.4.2.a. SUBFASE 1: EFECTE DEL NIVELL DE SEGURETAT 23

3.4.2.b. SUBFASE 2: DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DEL SERVO 29

3.4.2.c. SUBFASE 3: MODIFICACIÓ DELS PARÀMETRES MÉS SIGNIFICATIUS: INTENSITAT I VOLTATGE 31
3.4.3 FASE 3: CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS. 35
3.5.CONCLUSIONS GLOBALS 38
4. EXPERIMENTACIÓ FINAL 40
4.1. INTRODUCCIÓ 40
4.2. DISSENY D'EXPERIMENTS 40
4.2.1. ELÈCTRODES 40
4.2.2. PARÀMETRES DE PROCÉS 42
4.3. RESULTATS 45
4.3.1. TAULES DE RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ 45
4.3.1.a. REPETICIÓ DELS EXPERIMENTS NO VÀLIDS 48
4.3.2. MESURES DE LES CAVITATS 49
4.3.2.a. SECCIÓ 50
4.3.2.b. RUGOSITAT DE PERFILS I PROFUNDITATS 53
4.3.2.c. ANÀLISIS QUALITATIU 56
4.3.2.d. ANÀLISIS QUANTITATIU 58
4.3.3. DESGAST DE L'ELÈCTRODE 59
5. DISCUSSIÓ DE RESULTATS 62
6. RESUM DEL PRESSUPOST 63
7. CONCLUSIONS 64
8. BIBLIOGRAFIA 65

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 2.1. Descàrrega ramificada en un medi gasós. 3
Figura 2.2. Exemple d'elèctrode i peça mecanitzada 4
Figura 2.3. Lloc de màxima proximitat entre Elèctrode i peça 5
Figura 2.4. Ionització del dielèctric 5
Figura 2. 5 Iniciació del canal de descàrrega 5
Figura 2. 6. Pas massiu del corrent pel canal de descàrrega 6
Figura 2. 7. Efecte del pas massiu del corrent pel canal de descàrrega 6
Figura 2. 8. Arrencada de material produït per la descàrrega 6
Figura 2. 9. Fotografies de cràters (TECNUN, 2006) 7
Figura 2. 10. Estat final del cràter. 7
Figura 2. 11. Esquema de tipologies de mecanitzats per electroerosió 8
Figura 2. 12. Electroerosió per penetració (VDI 3402). 8
Figura 2. 13. Tall per electroerosió (VDI 3402). 9
Figura 2. 14. Exemples de tall cònic. 10

Figura 2. 15. Rectificat per electroerosió (VDI 3402) 10

Figura 3. 1. Dimensionament elèctrode a meso escala 14
Figura 3. 2. Dimensionament elèctrode a micro escala 14
Figura 3. 3. Fresadora DECKEL MAHO 64V LINEAR 14
Figura 3. 4. Detalls del catàleg de freses integrals MSTAR. 15
Figura 3. 5. Detall de la profunditat de tall del catàleg de freses integrals MSTAR. 16
Figura 3. 6. Plana inicial del programa NX6 16
Figura 3. 7. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda. 21
Figura 3. 8. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda. 22
Figura 3. 9. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 1) 27
Figura 3. 10. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 1) 28
Figura 3. 11. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 2.2) 28
Figura 3. 12. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 2.2) 28
Figura 3. 13. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.1) 30
Figura 3. 14. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.1) 30
Figura 3. 15. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.2) 30
Figura 3. 16. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.2) 31
Figura 3. 17. Exemple il·lustratiu de les mesures preses en les gràfiques de profunditat i perfil 33
Figura 3. 18. Amplades vs Intensitat 33
Figura 3. 19. Amplades vs Voltatge 34
Figura 3. 20. Gràfica de ponderacions dels experiments 35
Figura 3. 21. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.1) 37
Figura 3. 22. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.1) 37
Figura 3. 23. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.2) 37
Figura 3. 24. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.2) 38

Figura 4. 1. Exemples de mesures en els elèctrodes (Secció i profunditat) 41
Figura 4. 2. Vista general amb la totalitat dels experiments. 46
Figura 4. 3. Vista general amb la totalitat dels experiments. 47
Figura 4. 4. Vista general amb la totalitat dels experiments. 49
Figura 4. 5. Resultat de la secció de l'experiment 12 de la proveta 2 50
Figura 4. 6. Resultat de la secció de l'experiment 26 de la proveta 2 50
Figura 4. 7.Resultat de la secció de l'experiment 15 de la proveta 3 51
Figura 4. 8. Resultat de la secció de l'experiment 17 de la proveta 3 51
Figura 4. 9. Resultat del perfil de l'experiment 12 de la proveta 2 53
Figura 4. 10. Resultat del perfil de l'experiment 26 de la proveta 2 54
Figura 4. 11. Resultat del perfil de l'experiment 15 de la proveta 3 54
Figura 4. 12. Resultat del perfil de l'experiment 17 de la proveta 3 55
Figura 4. 13. Gràfica de les ponderacions de qualitat de les seccions de les cavitats obtingudes de cada experiment 57
Figura 4. 14. Gràfica de les ponderacions de qualitat dels perfils de les cavitats obtingudes de cada experiment 58

ÍNDEX DE TAULES

Taula 3. 1. Dades de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm 15
Taula 3. 2. Condicions de tall de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm 15
Taula 3. 3. Adaptació aproximada de les condicions de tall de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm ... 16
Taula 3. 4. Valors de VDI en funció de la superfície total elèctrode. 18
Taula 3. 5. Paràmetres de partida de l'experimentació. 18
Taula 3. 6. Paràmetres de partida de la FASE 1. 20
Taula 3. 7. Valors de desgast obtinguts. 21
Taula 3. 8. Paràmetres del procés fixats i justificació 25
Taula 3. 9. Paràmetres de procés de l'experiment 1 de la Fase 2 26
Taula 3. 10. Valors de desgast, rugositat i duració de procés 27
Taula 3. 11. Paràmetres de procés de l'experiment 2 de la Fase 2 29
Taula 3. 12. Valors de desgast i rugositat interior de la cavitat 30
Taula 3. 13. Paràmetres de procés dels experiment de la Fase 2 32
Taula 3. 14. Valors de desgast, rugositat i duració de procés 32
Taula 3. 15. Mesures de rugositat, amplades i profunditat de cada experiment 33
Taula 3. 16. Paràmetres de procés dels experiment de la Fase 3 36
Taula 3. 17. Valors de desgast i duració de procés 36

Taula 4. 1. Anàlisi qualitatiu de la secció obtinguda en els elèctrodes fabricats 41
Taula 4. 2. Anàlisi qualitatiu de la profunditat obtinguda en els elèctrodes fabricats 42
Taula 4. 3. Variables usades en l'anàlisi estadístic 43
Taula 4. 4. Paràmetres dels experiments finals en els 24 elèctrodes fabricats. 44
Taula 4. 5. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 1 45
Taula 4. 6. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 2 47
Taula 4. 7. Resultats vàlids i no vàlids en funció dels elèctrodes 48
Taula 4. 8. Experiments a repetir en funció de l'elèctrode 48
Taula 4. 9. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 3 49
Taula 4. 10. Valors de les mesures de secció realitzades en els experiments de la proveta 2 52
Taula 4. 11. Valors de les mesures de secció realitzades en els experiments de la proveta 3 52
Taula 4. 12. Valors de les mesures de perfil realitzades en els experiments de la proveta 2 55
Taula 4. 13. Valors de les mesures de perfil realitzades en els experiments de la proveta 3 56
Taula 4. 14. Ponderació de les cavitats de les provetes 2 i 3 en funció de la secció obtinguda 57
Taula 4. 15. Ponderació de les cavitats de les provetes 2 i 3 en funció del perfil obtingut 57
Taula 4. 16. Diferència percentual del valor teòric desitjat enfront al valor experimental de la proveta 2 58
Taula 4. 17. Diferència percentual del valor teòric desitjat enfront al valor experimental de la proveta 3 59
Taula 4. 18. Elèctrodes seleccionats per avaluar el seu desgast després de la realització del procés59
Taula 4. 19. Anàlisi de desgast de l'elèctrode número 2 60

Taula 7. 1. Comprovació de les especificacions 64

1. INTRODUCCIÓ

1.1. ANTECEDENTS

Actualment, els processos de fabricació requereixen canvis i adaptacions amb l'objectiu d'assolir nous reptes ja que els sectors tradicionals estan disminuint la seva activitat. Aquesta davallada del sector del mecanitzat pot venir ocasionat per les noves innovacions tecnològiques, pels costos de la mà d'obra o bé perquè els principals sectors d'aplicació de mecanitzat estan en crisis, com per exemple el cas del sector de l'automòbil.

Per satisfer les necessitats a gran escala de producció de components mecànics i micro-productes, moltes tecnologies existents estan essent obsoletes i molts processos nous han estat i estan essent desenvolupats. A més dels processos tradicionals (com el micro-tornejat i el micro-fresat), processos no tradicionals (com el mecanitzat per descàrrega elèctrica (EDM) i la mecanització per làser) també estan essent estudiats.

Amb tot això, el camp de la medicina, amb la intenció de millorar la qualitat de vida, és una emergent oportunitat pels processos de fabricació per prendre avantatge de les capacitats reals i transformar-les per contribuir amb la salut (Shi, 2008).

Al mateix temps, els processos de fabricació a escala micro s'han convertit en una àrea de creixement i s'han trobat una àmplia varietat d'aplicacions que representen un buit dins del mercat, creant una necessitat de trobar processos alternatius per la fabricació d'aquests components amb baix cost, alta precisió i alta qualitat de la superfície d'acabat.

És aquí on l'electroerosió (EDM) pot intervenir de manera molt significativa. Aquesta tecnologia no està molt implantada a nivell industrial i, per les seves característiques, pot permetre unes nombroses millores ja que podria obrir un ventall de possibilitats enorme pel que fa al mecanitzat d'alta precisió de tot tipus de materials conductors tals com metalls, aliatges metàl·lics, grafit, ceràmiques, entre d'altres; de qualsevol duresa. A més, la possibilitat d'aquesta tecnologia d'obtenir una qualitat superficial molt alta, el reduït valor de les forces del procés i la baixa taxa d'arrencada per descàrrega fan de l'electroerosió un procés adequat pel mecanitzat de detalls de reduïdes dimensions.

Els últims avenços que s'han produït internacionalment en el camp de l'electroerosió, s'han orientat a la realització de detalls de dimensions macromètriques en peces d'alta precisió, en millores en el procés lligades a l'electrònica de control (controls numèrics, generació de guspira, major nombre d'eixos en un màquina, sistemes automàtics, etc.), millores en el control dimensional i en la composició dels materials usats com elèctrodes,... Per això, hi ha tot un món per anar innovant dins el camp de l'electroerosió de formes geomètriques de dimensions menors o micro electroerosió, ja sigui augmentant la productivitat del procés amb major potència per guspira i amb major fiabilitat, disminuir la potència de la guspira per poder mecanitzar quantitats més petites de material o desenvolupar eines i elèctrodes de dimensions cada vegada menors.

Així doncs, en aquest projecte es pretén analitzar els resultats que es poden aconseguir amb la màquina electroerosionadora del taller, que està preparada per treballar a meso escala, a nivell micro. D'aquesta manera poder investigar en la influència de la dinàmica en la màquina d'EDM per la fabricació de micro-cavitats.

1.2. OBJECTE

L'objectiu del present projecte és estudiar i analitzar el procés de l'electroerosió per la fabricació de micro-cavitats. Així doncs, es considera de gran importància el procés d'experimentació per tal de poder obtenir uns resultats adequats per a un possible continuïtat i desenvolupament del projecte. D'aquesta manera, s'estableixen els següents objectius parcials per tal de clarificar les fits a assolir:

- **Estudiar i analitzar la tecnologia a partir de la màquina electroerosionadora ONA DB300 i els conseqüents paràmetres del procés**. Pel fet de la no massificació d'aquesta tecnologia en l'àmbit industrial, hi ha paràmetres i indicadors no acotats en la seva totalitat. Així doncs, permetre un coneixement complet de la tecnologia i de la màquina electroerosionadora.
- **Realització d'experiments a meso escala per tal de conèixer els paràmetres del procés i les seves dependències**. Per poder elaborar els experiments finals de la màquina, primerament caldrà un anàlisi de la màquina per tal de conèixer com afecten, experimentalment parlant, els paràmetres a seleccionar en el procés.
- **Experimentació, a escala micro, amb la màquina d'EDM, adaptant els paràmetres de procés**. En aquest projecte s'intenta poder apreciar els resultats de la màquina amb la implementació de paràmetres a escala micro. Al mateix temps, permetrà a l'usuari poder definir un rang de valors en els quals els resultats obtinguts són òptims.
- **Valoració dels resultats experimentals de les micro-cavitats**. Un cop realitzats els experiments es podrà definir fins a quin percentatge d'eficiència es poden obtenir els resultats efectuats. Així doncs, serà amb aquestes proves quan es valorarà i confirmarà la validesa o no de la màquina en aquest sector i la possible continuïtat en la investigació de la tecnologia.

1.3. ABAST

L'abast d'aquest projecte és obtenir uns resultats amb els recursos propis dels tallers de la universitat i del laboratori del Parc Científic i Tecnològic del grup de recerca GREPP (Grup d'Enginyeria de Producte, Procés i Producció).

El disseny d'experiments estarà determinat per les limitacions tècniques referents a la mecanització i fabricació de les peces , així com també, a les propietats característiques dels materials a seleccionar.

2. LA ELECTROEROSIÓ

2.1. DEFINICIÓ

Es podria definir el procés d'electroerosió com el mètode d'arranc de material per mitjà de descàrregues elèctriques controlades, que es produeixen en un medi dielèctric entre un elèctrode (eina de treball) i la peça a mecanitzar.

La duració de la guspira es molt curta, doncs sol varia des de 1 o 2 microsegons a 2 milisegons, segons els règims de mecanitzat. Addicionalment, va acompanyada d'un gran augment de temperatura, la qual sol assolir fins a desenes de mils de graus centígrads.

Això suposa una concentració de l'efecte tèrmic en un volum molt reduït de material, ja que la rapidesa de la guspira no és favorable a la propagació de la calor per conducció a través de tot el volum de la peça, donant com a resultat la fusió i inclús evaporació del citat volum del material.

Afegint això als efectes dinàmics de la pròpia descàrrega i del medi dielèctric s'obté en la peça un cràter de forma semiesfèrica, el volum del qual depèn de factors tan diversos com l'energia i la duració de la descàrrega, la naturalesa del dielèctric i les propietats físiques com la polaritat i la naturalesa del material de l'elèctrode i de la peça.

Experiència pràctiques han demostrat, des dels orígens, que els efectes de la guspira quan el dielèctric és líquid (olis) són majors que quan les descàrregues es produeixen en un medi gasós.

Aquest resultat és completament lògic ja que la descàrrega en un gas tendeix a ramificar-se àmpliament (Figura 2.1), mentre que el líquid comprimeix la descàrrega impedint que es ramifiqui, concentrant-se així el seu efecte sobre la peça.

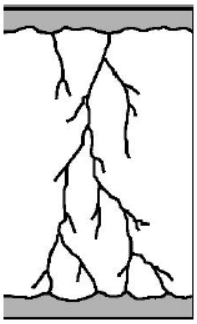


Figura 2.1. Descàrrega ramificada en un medi gasós.

També ha estat la pràctica la que ha demostrat la importància de que el medi que es troba entre l'elèctrode i la peça sigui dielèctric, perquè la descàrrega es produeixi en forma de allau, donant lloc a efectes més rendibles.

2.2. PRINCIPIS DE MECANITZAT PER ELECTROEROSIÓ

Aquest procediment de mecanitzat es distingeix principalment per dos de les seves propietats.

Donat que en aquest procés l'arranc de material no depèn de les característiques mecàniques (duresa, etc.) del material a treballar sinó de les seva característiques tèrmiques i elèctriques, s'ha de destacar la seva gran aptitud per mecanitzar acers, metalls o aliatges durs o refractaris, poc aptes per ser mecanitzats per procediments convencionals d'arranc de ferritja. Això permet el

mecanitzat dels acers trempats i, en general, de materials de baixa maquinabilitat sempre i quan sigui suficientment conductors.

Una altra propietat fonamental és la seva gran aptitud per realitzar formes complexes, tant passants com cegues. Fabricant per mitjans convencionals, l'elèctrode, que sol ser de coure o grafit normalment, es pot realitzar adaptant-se en el mecanitzat a la forma que es necessiti.

Figura 2.2. Exemple d'elèctrode i peça mecanitzada

2.3. EXPLICACIÓ FÍSICA DEL FENOMEN DE L'EROSIÓ PER GUSPIRA

Com ja s'ha indicat, el mecanitzat per electroerosió s'efectua mitjançant el salt de descàrregues elèctriques entre dos elèctrodes sotmesos a una determinada tensió elèctrica i submergits en un medi dielèctric.

Els diversos fenòmens que entren en joc en el moment de la descàrrega i el conseqüent arrencada de material de la peça són de gran complexitat ja que les circumstàncies que concorren en la seva observació són molt crítiques.

En efecte, el temps de duració varia, tal i com ja s'ha indicat, entre microsegons i milisegons, i les distàncies interelectròdiques són de l'ordre d'unes centèsimes o fins i tot alguna dècima de mil·límetre.

Tot i així, per poder comprendre millor el desenvolupament de la descàrrega elèctrica és necessari situar-se en el nivell microscòpic en que això es produeix.

Tenint en compte el reduït espai entre elèctrode i peça, les variacions de cota de les superfícies dels elèctrodes, causades per la rugositat natural dels materials, representen variacions d'aproximació de l'ordre d'un 20% a un 40% respecte del pla mig de dites superfícies.

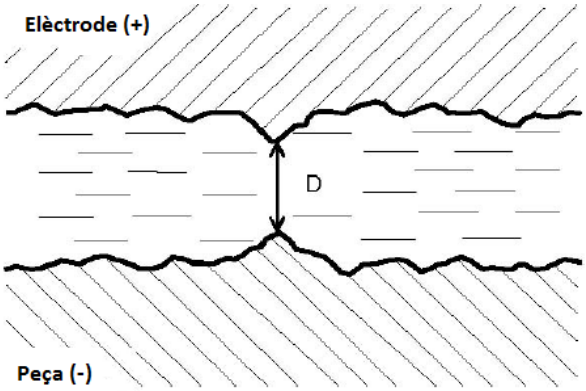


Figura 2.3. Lloc de màxima proximitat entre Elèctrode i peça

En aquest temps, i degut a la intensitat del camp elèctric en els dos punts de màxima proximitat entre elèctrode i peça ("D" en la Figura 2.3), s'arribarà a un moment en què es superi la tensió de disrupció del dielèctric que els separa, iniciant-se la formació d'un canal d'elevada conductivitat.

2.3.1. ANÀLISIS DEL DESENVOLUPAMENT DE LA DESCÀRREGA ELÈCTRICA

La concentració i intensificació del camp elèctric té com a efecte la ionització del dielèctric i la polarització de les partícules i ions (Figura 2.4). Els ions són, per definició, partícules polaritzades.

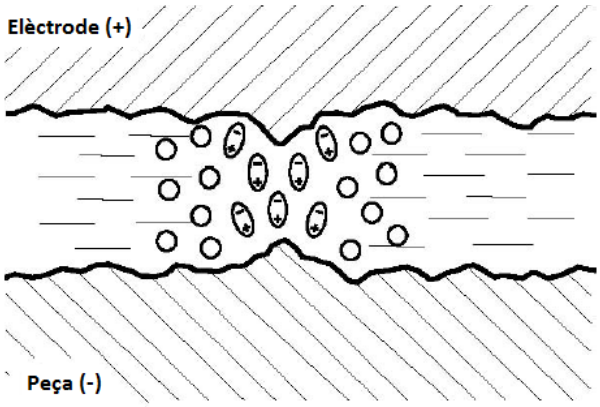


Figura 2.4. Ionització del dielèctric

D'aquesta manera es dóna lloc a la formació del canal de descàrrega, que pot rodejar pels ions positius que comprimeixen i aïllen del medi circumdant, reduint així la seva secció (Figura 2. 5).

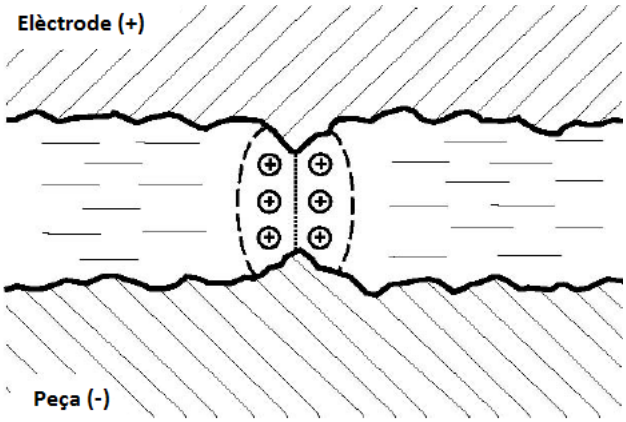


Figura 2. 5 Iniciació del canal de descàrrega

La brusca caiguda de la resistència del canal permet que el corrent assoleixi valors elevats i el seu pas massiu origini un augment de la ionització que, a la seva vegada, creï un potent camp magnètic que comprimeixi encara més el canal de la descàrrega produint el seu escalfament (Figura 2. 6).

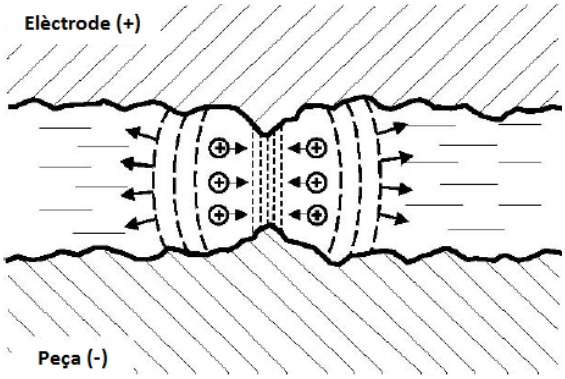


Figura 2. 6. Pas massiu del corrent pel canal de descàrrega

La velocitat d'augment del corrent es xifra d'uns 10 a 100 milions d'amperes per segons, assolint temperatures de l'ordre de fins a desenes de milers de graus en un temps de 2 a 4 microsegons (Figura 2. 7).

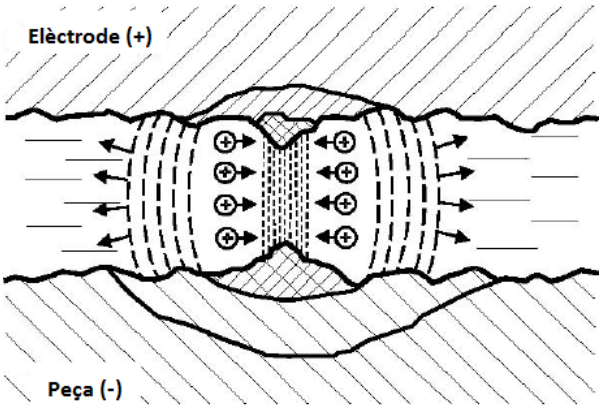


Figura 2. 7. Efecte del pas massiu del corrent pel canal de descàrrega

El resultat de tan intensa acció tèrmica és la fusió i, inclòs evaporació, d'un reduït volum de material tant en peça com elèctrode. Al mateix temps, també es generen residus com a conseqüència de la ruptura del dielèctric (Figura 2. 8).

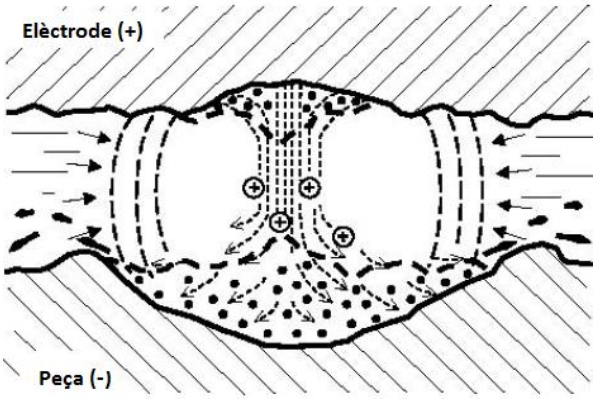


Figura 2. 8. Arrencada de material produït per la descàrrega

Mitjançant la utilització de càmeres fotogràfiques d'alta velocitat s'ha pogut constatar l'existència d'una bombolla de gas al voltant del canal, el volum del qual és superior al d'aquest.

Paral·lelament a l'acció tèrmica de la descàrrega s'ha de considerar el seu efecte dinàmic, que produeix l'ejecció a gran velocitat del material fos i que, juntament a l'efecte tèrmic confereix als cràters la seva forma peculiar.

Aquesta forma dels cràters és anàloga a l'obtinguda pel xoc d'un projectil llançat a una gran velocitat (Figura 2. 9).

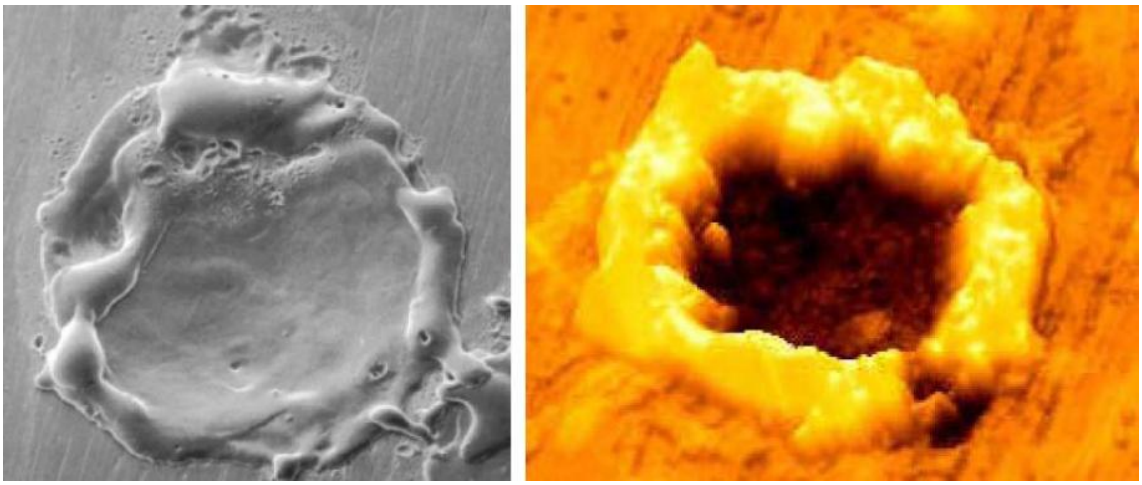


Figura 2. 9. Fotografies de cràters (TECNUN, 2006)

Al final de la descàrrega, la pressió de l'interior de la bombolla cau bruscament, a conseqüència del qual es genera una depressió de manera que el dielèctric arrossega els residus existents en el cràter recentment format, a la vegada que es refreda la seva superfície, impedint la conducció de calor cap a l'interior del metall.

Com s'ha esgotat per complet l'energia de la descàrrega, el cicle ha arribat al seu final.

El canal de conductivitat elèctrica es tanca al desionitzar-se el dielèctric i reprendre de nou la seva rigidesa dielèctrica, permetent així començar el cicle corresponent a la següent descàrrega, que es donarà entre els dos punts de màxima aproximació entre elèctrode i peça (Figura 2. 10).

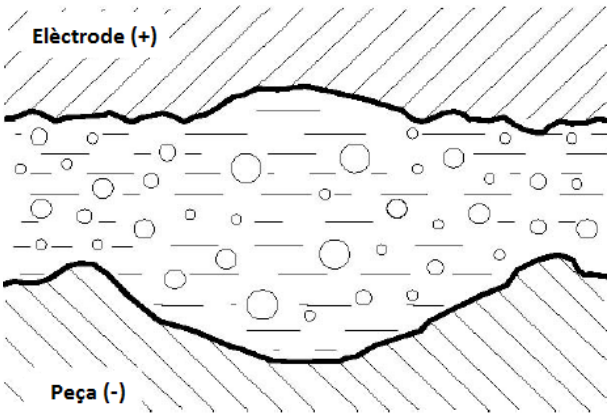


Figura 2. 10. Estat final del cràter.

El temps de pausa entre cada dos descàrregues és fonamental pel correcte desenvolupament del procés. Si aquest temps no existís o fós insuficient, la guspira es col·lapsaria, donant lloc a un arc.

L'acumulació de residus en la cavitat també pot arribar a produir aquest efecte.

Resumint, es pot dir que durant el procés d'electroerosió es va efectuant en la peça un procés de còpia, a nivell microscòpic, de la forma de l'elèctrode, el que donarà lloc a l'obtenció d'un negatiu exacte d'aquest. No obstant, hi ha la longitud de les guspires, conegut com a GAP, mesura que s'haurà de tenir en compte en el moment de la fabricació dels elèctrodes.

2.4. TIPUS DE MECANITZAT PER ELECTROEROSIÓ

Distingint segons la forma de l'elèctrode i segons el moviment relatiu d'aquest amb relació a la peça, es pot fer vàries subdivisions dins del concepte general de mecanitzat per electroerosió.

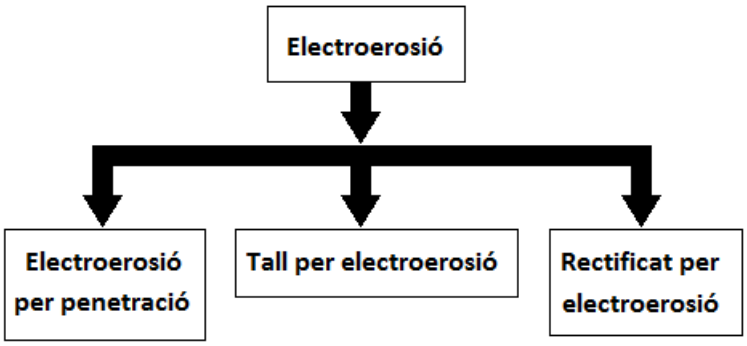


Figura 2. 11. Esquema de tipologies de mecanitzats per electroerosió

2.4.1. ELECTROEROSIÓ PER PENETRACIÓ

Aquesta forma d'electroerosió és la més universal. Es basa en la millora contínua, i servocontrol d'una elèctrode-eina que penetra en l'elèctrode-peça en presència d'un líquid dielèctric.

Segons la forma de l'elèctrode i segons la profunditat que es doni a les formes erosionades en la peça, es podran obtenir tant formes passants com formes cegues de geometries complicades (Figura 2. 12).

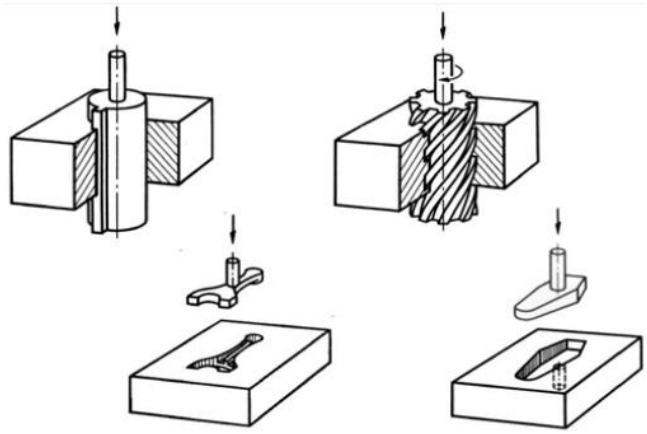


Figura 2. 12. Electroerosió per penetració (VDI 3402).

El líquid dielèctric utilitzat en penetració avui en dia és oli mineral especial per erosió, encara que es pugui trobar certes màquines que funcionin amb aigua o altres líquids especials.

2.4.2. TALL PER ELECTROEROSIÓ PER FIL

La diferència bàsica entre el tall per electroerosió i l'electroerosió per penetració és que la forma de l'elèctrode no influeix directament en la forma de la peça a obtenir, ja que l'únic que es pretén és realitzar un tall en la peça i no obtenir una còpia amb la forma de l'elèctrode.

Tot això pressuposa, per tant, que el cost de l'elèctrode es redueixi considerablement al tenir una forma característica que el fa molt assequible ja que es pot comprar en el mercat preparat per la seva utilització.

En aquest tipus d'electroerosió s'ha de destacar el cas en què l'elèctrode té forma de fil (electroerosió per fil) que representa la pràctica totalitat de les aplicacions.

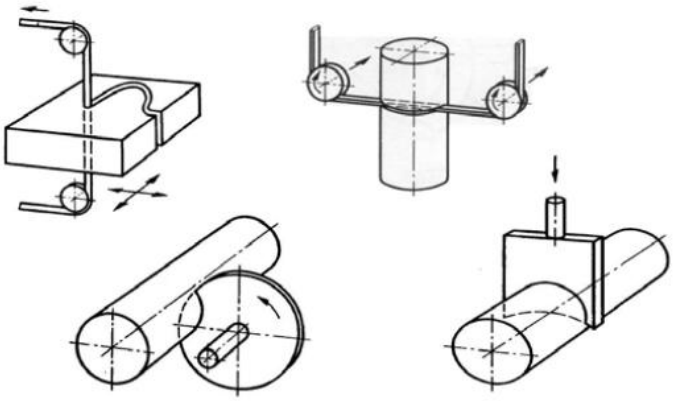


Figura 2.12

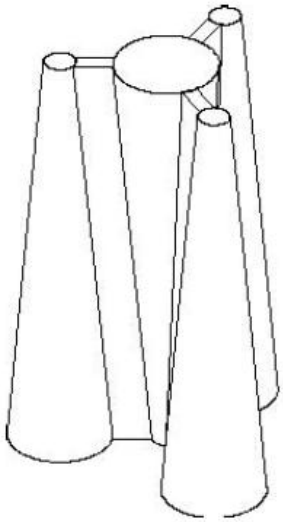
Figura 2. 13. Tall per electroerosió (VDI 3402).

En la electroerosió per fil, un CNC controla el moviment relatiu entre el fil i la peça.

El fil és de diàmetre petit, normalment de 0,25 o 0,30mm, encara que els diàmetres poden reduir-se fins a valors de 0,025mm en aplicacions de micromecànica.

En aquest tipus d'electroerosió, el líquid dielèctric habitualment utilitzat és l'aigua desionitzada, encara que també existeix alguna màquina que funciona amb oli.

S'ha de tenir en compte que la WEDM permet únicament produir geometries passants. Així mateix, és possible realitzar el tall en vertical o en cònic per mitjà d'un descentrament, controlat per CNC, de la guia superior amb respecte a la guia inferior. D'aquesta manera es poden realitzar formes amb talls cònics que poden ser de gran complexitat (Figura 2. 14).



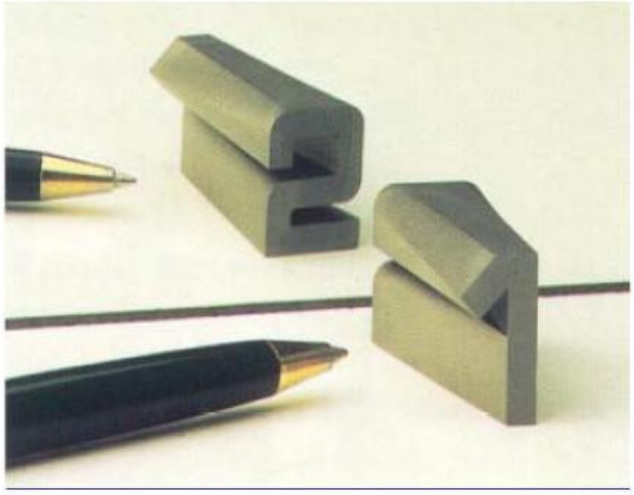


Figura 2.13

Figura 2. 14. Exemples de tall cònic.

Els avantatges de la electroerosió per fil es poden resumir en:

1. Rapidesa, ja que no és necessari mecanitzar l'elèctrode.
2. No influència del desgast del fil sobre la precisió de les peces, al estar el fil animat d'un moviment de desplaçament que permet que la zona ja desgastada vagi regenerant-se de manera contínua.

2.4.3. RECTIFICAT PER ELECTROEROSIÓ.

En aquesta forma d'electroerosió es dóna un moviment de rotació de l'elèctrode, amb el que el comportament s'assimila a una operació de rectificat convencional, però l'arranc de material es realitza mitjançant descàrregues elèctriques, sense contacte directe entre elèctrode i peça (Figura 2. 15). El camp d'aplicació d'aquest tipus de màquina és molt reduït.

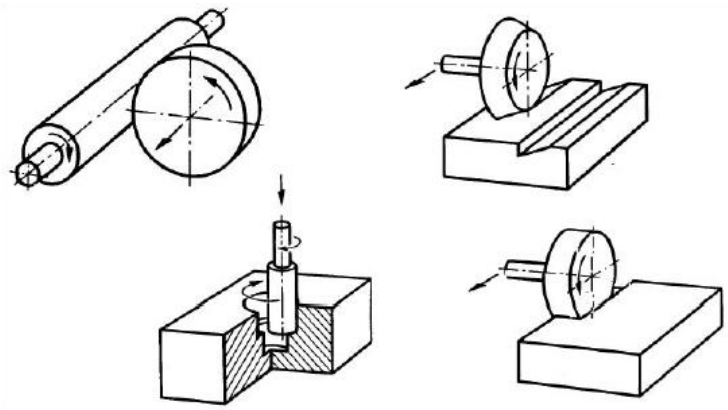


Figura 2. 15. Rectificat per electroerosió (VDI 3402)

3. EXPERIMENTS PRELIMINARS

3.1. RECERCA PRÈVIA

Per tal de poder obtenir un bon aprenentatge i la conseqüent familiarització, primerament, s'analitzen les característiques de la màquina, tanc de treball, dispositius de neteja i manteniment, paràmetre de seguretat, etc... A continuació, és interessant tenir un cert domini en l'operatòria del control numèric, ja sigui en operacions manuals o per programa. Amb tot això, per tal de facilitar la manipulació de l'electroerosionadora, es decideix realitzar un Manual EDM, el qual s'adjunta en l'Annex A: MANUAL DE LA MÀQUINA D'ELECTROEROSIÓ ONA.

En aquest manual hi ha un recull bàsic d'operatòria amb la màquina EDM on es pot trobar: connexió i desconnexió de la màquina, unitats de comandament numèric, seguretat, comandaments, pantalla base, posicionaments del zero, EMDI (operacions d'execució immediata), programació, execució, paràmetres de màquina, manteniment i alguns exemples de passos a seguir.

3.2. SELECCIÓ I FABRICACIÓ DE L'ELÈCTRODE

Dins de la tecnologia de l'electroerosió per penetració, un punt molt important a tenir en compte és la selecció de l'elèctrode en qüestió. Té una gran importància ja que el resultat final a obtenir ve molt condicionat en la geometria de l'elèctrode.

Per tant, primerament es centra en el material a seleccionar i després quina geometria es pretén, la profunditat i altres paràmetres de mesura.

3.2.1. MATERIAL DE L'ELÈCTRODE

Tot i que al principi qualsevol material conductor pot ser usat en la fabricació dels elèctrodes, l'experiència demostra que hi ha materials més idonis que d'altres, segons el material de què estigui constituïda la peça, el tipus de generador que s'utilitzi i, principalment, segons els resultats que es vulguin obtenir.

Hi ha una gran diversitat de materials que proporcionen uns bons resultats. No obstant, s'ha de tenir en compte que el cost d'una matriu o motlle, realitzats per electroerosió, pot presentar el 55 o 60% del preu total. Per això s'han de triar amb molt de compte tant els materials com el mètode de fabricació dels elèctrodes.

3.2.1.a. PROPIETATS DELS MATERIALS QUE S'HAN DE TENIR EN COMPTE

El problema principal dels elèctrodes és el seu desgast. L'erosió es dóna en ambdós pols (elèctrode i peça) però existeix una gran diferència entre el que es desgasta en un pol i en l'altre. Per això es designa l'erosió en l'elèctrode com a desgast i es mesura percentualment amb respecte a l'erosió de la peça. És aconsellable sempre que aquest desgast sigui mínim i, per això, el material ha de tenir les següents propietats físiques:

- **Alt punt de fusió.** El material de l'elèctrode es desgastarà menys quan més alt sigui el seu punt de fusió. Donat que aquest procés és de tipus tèrmic, s'arriba en cada impuls, en punts molt locals, altes temperatures que donen petites partícules d'ambdós elèctrodes i que després són arrossegades pel líquid dielèctric. És lògic pensar que quan més alt sigui el

punt de fusió del material de l'elèctrode, menys quantitat es fondrà i, per tant, es desgastarà menys.

- **Bona conductivitat tèrmica.** Els materials dels elèctrodes han de ser bons conductors de la calor o, el que és el mateix, de l'electricitat. Han de tenir una bona conductivitat tèrmica o baixa resistivitat elèctrica. Com que la calor es dóna molt localment i, en temps molt curts, una bona conductivitat farà que la calor, la qual la descàrrega ha concentrat en un punt, es difongui ràpidament per la resta de l'elèctrode. D'aquesta manera no s'eleva tant la temperatura i, per tant, es fondrà menys quantitat d'elèctrode.

Un altre aspecte que s'ha de tenir en compte són les propietats mecàniques d'aquests materials, que s'anomenen a continuació:

a) Han de ser fàcilment mecanitzables, ja que molt sovint són construïts per mètodes convencionals (tornejat, fresat,...). Aquesta propietat es tindrà molt en compte quan s'hagi de triar el material de l'elèctrode.
b) Han de tenir el seu coeficient de dilatació el més petit possible. Donat que els elèctrodes s'escalfen durant el procés. Si el material tingués un alt coeficient de dilatació, augmentarien les mesures de l'elèctrode, amb el que augmentarien automàticament les dimensions de la peça.
c) Els materials pels elèctrodes han de tenir baix pes específic, ja que a vegades el volum de l'elèctrode a usar és gran.
d) Aquests materials han de tenir bona estabilitat dimensional. Alguns materials, degut als tractaments i processos físics que sofreixen fins la seva sortida al mercat en formes diverses, queden afectats de tensions internes. Aquestes tensions s'alliberen normalment quan escalfem els materials citats i, això comporta canvis en les seves dimensions, que en el procés d'electroerosió són perjudicials, ja que el canvi de forma de l'elèctrode comporta automàticament el mateix canvi en la peça.

3.2.1.b. LLISTAT DE MATERIALS APTES PER LA TECNOLOGIA

Els materials aptes per a l'electroerosió es classifiquen en dos grups principals i dins ells podem trobar:

- Materials metàl·lics
  - Coure electrolític
  - Coure al plom
  - Cuprotungsens
  - Alumini i aliatges
  - Llautó
  - Acer
  - Cuprografits
- Materials no metàl·lics (Grafit i totes les seves varietats)

3.2.1.c. CONCLUSIONS:

El material triat és el Coure Electrolític.

Primerament, tal i com s'ha comentat en l'abast, una de les condicions d'aquest projecte és la d'elaborar els treballs i experiments amb el material, eines i màquines disponibles al taller. Per tant, com que el Coure Electrolític és un material amb el qual es realitzen assajos i està disponible

al taller, ha fet que gran part de la decisió de la selecció del material de l'elèctrode vingui presa per aquest aspecte determinant. No obstant, també s'analitza les propietats que pot ofertar aquest material.

A continuació, considerant les propietats físiques i mecàniques del material es troben factors com la forma a realitzar, el nombre d'elèctrodes a mecanitzar, dimensions de l'elèctrode,...; que han intervingut en l'elecció. Al mateix temps, també ha estat important el preu i la facilitat d'adquisició en el mercat.

A més a més, és el material més emprat en electroerosió per fabricar elèctrodes. La seva puresa ronda el 99,9 per 100. Les seves propietats físiques són:

- Temperatura de fusió: T_F = 1083ºC (baixa)
- Resistivitat elèctrica: ρ = 0,017 Ω mm^2 / m (molt bona)

En quan a les seves propietats mecàniques es pot dir que:

- No és fàcilment mecanitzable.
- Té un coeficient de dilatació lineal ($16 \cdot 10^{-6}$ ºC) que pot ser considerat alt amb respecte al del grafit, però suficient per la utilització en electroerosió.
- Té un alt pes específic (8,95 Kg/dm^3), pel que no serveix per elèctrodes voluminosos.

De les taules i gràfics tecnologia es poden extreure les conclusions següents:

- En condicions, de treball normals s'arriba a desgasts volumètrics inferiors al 0,5%, en operacions amb intensitats menors a 80A.
- Per intensitats d'uns 18 A, s'arriben a assolir desgasts inferiors al 0,5%, però a costa d'una disminució de la capacitat d'arranc.
- En les intensitats d'acabat, els desgasts són majors, situant-se entre l'1 i el 5%.

En quan als processos de desbast, les arrencades de material no són tan altes com en el cas del grafit però, tot i així, les rugositats són molt més baixes en els processos d'acabat. Per això, a vegades, aquest material serà pràcticament l'únic a escollir en el cas de que es necessiti una rugositat baixa d'acabat.

3.2.2. GEOMETRIA DE L'ELÈCTRODE

En els apartats anteriors, s'ha documentat sobre els materials a seleccionar i les seves propietats. No obstant, un aspecte important a tenir en compte en els experiments d'electroerosió per penetració és la geometria de l'elèctrode.

Tal i com diu el títol del projecte, "Influència de la dinàmica de la màquina d'electroerosió en la de fabricació de micro-cavitats", pel que fa a aquest apartat es procedirà a simplificar-lo, és a dir, es buscaran unes geometries bàsiques ja que la intenció és la d'estudiar i analitzar la tecnologia a partir de la màquina i els conseqüents paràmetres del procés.

Al mateix temps, dins les geometries bàsiques com podrien ser quadrats, rectangles, cercles, rombes,...; s'ha seleccionat dues geometries. Concretament, les geometries amb les quals es realitzaran els experiments seran quadrats i rectangles.

El motiu pel qual s'ha pres aquesta decisió es deu a la major facilitat de fabricació dels elèctrodes amb aquestes geometries i el fet d'utilitzar geometries que es puguin usar més endavant. No s'ha

d'oblidar doncs, que dins aquest projecte d'investigació ens trobem amb les limitacions de recursos pròpies d'un taller d'universitat. Per això, a l'hora de la fabricació dels elèctrodes amb la fresadora disponible s'ha arribat a la conclusió més adient enfront els recursos possibles.

També esmentar que dins a possibles millores dins el projecte, un punt on es podria centrar força de les perspectives de millora en els resultats, seria en obtenir unes geometries més definides o més complexes.

Tornant a les geometries seleccionades, dins dels experiments preliminars s'ha definit dos geometries d'elèctrodes, adaptant aquestes en front de l'objectiu particular de cada experimentació.

Quan ens centrem en assajos de meso escala es disposa d'un elèctrode rectangular on les mides seran les següents (Figura 3. 1):

Figura 3. 1. Dimensionament elèctrode a meso escala

Quan un dels objectius particulars del experiments preliminars sigui treballar a escala micro, s'utilitzarà uns elèctrodes quadrats. Les mides dels quals seran les següents (Figura 3. 2):

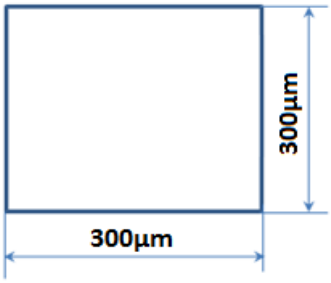


Figura 3. 2. Dimensionament elèctrode a micro escala

3.2.3. MÀQUINARIA I APARELLS

Figura 3. 3. Fresadora DECKEL MAHO 64V LINEAR

En aquest apartat es citaran les màquines i aparells que s'ha usat per fabricar els elèctrodes.

Concretament, s'ha fet servir la fresadora DECKEL MAHO 64V LINEAR amb control FANUC 180i (Figura 3. 3).

En aquest centre de mecanitzat podem treballar amb velocitats de rotació fins a 12000rpm i avanços de fins a 20000mm/min en un espai de treball de 640x600x500mm segons els tres eixos principals. El centre de mecanitzat es comanda mitjançant un control numèric computeritzat (CNC) de la casa FANUC.

Segons les especificacions, s'han analitzat uns paràmetres que han permès poder seleccionar les freses adients per poder mecanitzar l'elèctrode base de coure electrolític.

Així doncs, la fresa escollida és una Fresa integral MSTAR per Carburs (metalls durs) del model MS2SS i, com que es precisa un diàmetre de 2mm, s'obté les seves dimensions següents, tal i com es mostra en la Taula 3. 1.

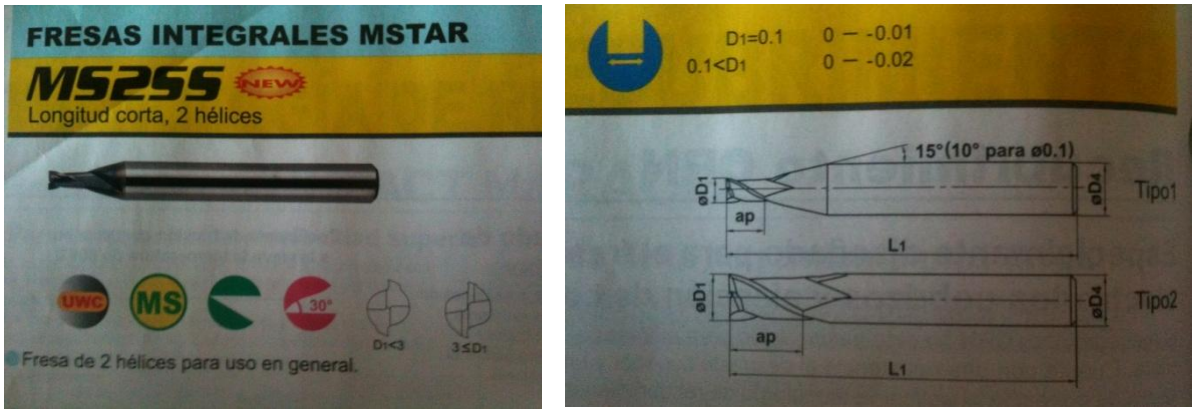


Figura 3. 4. Detalls del catàleg de freses integrals MSTAR.

Referència	Diàmetre	Longitud de tall	Longitud total	Diàmetre del mànec	Nombre d'hèlices	Tipus
MS2SS	D1	ap	L1	D4	N	
D0200	2	3	40	4	2	1

Taula 3. 1. Dades de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm

Per aquest model de fresa es posseeix unes condicions de tall determinades, les qual estan representades en la Taula 3. 2, adjuntada a continuació:

Material	Acer carboni, acer aliat			Acer aliat		
	Acer per eines			Acer per eines		
	Acer pre-Endurit (-- 45HRC)			(45 -- 55HRC)		
	Ck55, 070M55			W.Nr. 1.2344 (H13), X20Cr13		
Diàmetre	Revolucions	Avanç	Profunditat de tall	Revolucions	Avanç	Profunditat de tall
(mm)	(min^{-1})	(mm/min)	ap (mm)	(min^{-1})	(mm/min)	ap (mm)
2	30.000	3.000	0,18	24.000	1.900	0,10

Taula 3. 2. Condicions de tall de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm

Com que la fresa disponible només arriba a una velocitat de 12.000 rpm, s'ha realitzat una aproximació dels valors d'avanç i profunditat de tall a velocitat màxima, és a dir, de 12.000 rpm, a 4.000 rpm i, finalment, a una velocitat de 2.000 rpm. Tot aquestes modificacions pel que fa als paràmetres es poden trobar en la Taula 3. 3:

Material	Acer carboni, acer aliat			Acer aliat		
	Acer per eines			Acer per eines		
	Acer pre-Endurit (-- 45HRC)			(45 -- 55HRC)		
	Ck55, 070M55			W.Nr. 1.2344 (H13), X20Cr13		
Diàmetre	**Revolucions**	**Avanç**	**Profunditat de tall**	**Revolucions**	**Avanç**	**Profunditat de tall**
(mm)	**(min^{-1})**	**(mm/min)**	**ap (mm)**	**(min^{-1})**	**(mm/min)**	**ap (mm)**
CAS 1	**MÀXIMES REVOLUCIONS**					
2	12.000	1.200	0,072	12.000	950	0,05
CAS 2	**4.000 RPM**					
2	4.000	400	0,024	4.000	316,6667	0,0167
CAS 3	**2.000 RPM**					
2	2.000	200	0,012	2.000	158,3333	0,0083

Taula 3. 3. Adaptació aproximada de les condicions de tall de la fresa MS2SS de diàmetre 2mm

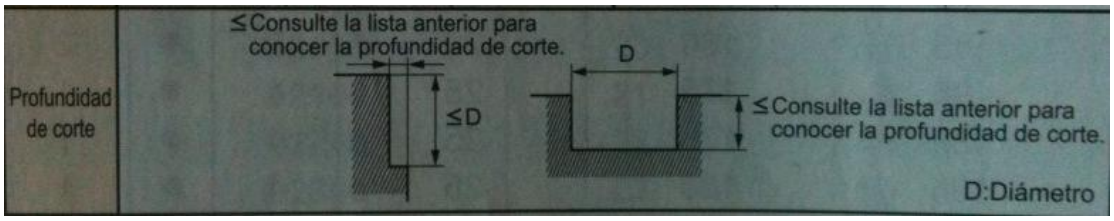


Figura 3. 5. Detall de la profunditat de tall del catàleg de freses integrals MSTAR.

Segons el catàleg del fabricant s'han de tenir en compte uns apartats per tal de garantir un nivell de seguretat i treball òptim de la fresa.

1) Si la rigidesa de la màquina o la fixació de la peça no és suficient, o es produeixen vibracions o excessiu soroll, reduir les revolucions i l'avanç proporcionalment.
2) A l'hora de fresar ranures amb freses frontals de ϕ3mm o majors, reduir les revolucions en un 50 - 70% i l'avanç en un 40 - 60%.
3) Per trepar baixar l'avanç en 70%.

3.2.4. PROGRAMES

Figura 3. 6. Plana inicial del programa NX6

A l'hora de realitzar els elèctrodes corresponents, a part de tallar i llimar les peces d'una barra de coure electrolític, s'ha de realitzar dos processos. Aquests processos s'han realitzat a partir d'un programari CAM (Computer Aided Manufacturing) en la interfície NX6. Aquest programa CAD/CAM s'obtenen els programes en Codi G o Codis ISO pel sistema de control numèric computeritzat (CNC). Dins aquest programa es permet modificar els paràmetres de mecanitzat, controlar les trajectòries, controlar els moviments de l'eina quan no està arrancant material, etc.

Els dos programes obtinguts mitjançant la interfície NX6 són els següents:

- Programa O4058 - Planejat inicial per tal d'eliminar les rebaves que queden del tall amb la serra i obtenir una cara plana.
- Programa O4059 - Realització de l'elèctrode.

El desenvolupament dels Codis G corresponent a cada un dels processos es troben en l'Annex B: TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ.

3.3. SELECCIÓ DE PARÀMETRES DE PROCÉS

En aquesta tecnologia és bo, per tal de familiaritzar-se amb els paràmetres de procés, realitzar un estudi teòric dels mateixos. Tota teoria manté una lleugera diferència de la pràctica, però tot i així, molts dels motius o resultats obtinguts en l'experimentació poden estar fàcilment explicats.

Per això, dins de la selecció dels paràmetres de procés, es pretén donar explicació al vocabulari tècnic que engloba aquesta tècnica. D'aquesta manera, el lector podrà familiaritzar-se amb els diversos conceptes que s'utilitzaran en el transcurs del document. Aquests conceptes es poden trobar a l'Annex B: TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ.

Degut a la poca experiència del grup de recerca amb aquesta tecnologia, la selecció dels paràmetres de procés es realitzaran en referència amb les taules proporcionades pel fabricant de la màquina. Per la mecanització de metalls per electroerosió es disposa d'unes taules orientatives facilitades pel fabricant de la màquina electroerosionadora. Els valors indicats en les mateixes, són el resultat d'assajos pràctics realitzats en condicions de laboratori. En electroerosió, l'experiència de l'usuari determina els ajustaments dels valors d'intensitat, tensió, temps d'impuls, pausa, tipus de neteja, polaritat, etc.; d'acord amb el comportament dels diferents materials usats, tant en peces com en elèctrodes, per trobar les condicions tècnico-comercials més adequades per l'aplicació concreta.

Aquests valors poden ser reduïts amb l'objectiu d'obtenir un major rendiment (capacitat d'arrencada) a expenses d'incrementar el risc i empitjorar les condicions de treball i, a la inversa, incrementant-los s'obté una reducció del risc de mecanitzat; a la vegada que una reducció del rendiment.

Primerament, abans de consultar les taules citades es realitzen uns càlculs que facilitaran l'elecció posterior dels paràmetres. Com que l'objectiu final és treballar a escala micro, tot i tenir elèctrodes a nivell macro, es realitzaran els càlculs com si es tractés d'una micro-mecanització. Aquest supòsit no afectarà als elèctrodes preparats per macro-electroerosió ja que simplement s'obtindran els mateixos resultats en superfícies superiors.

Així doncs, es precisa calcular l'àrea total de contacte de l'elèctrode teòric. A l'hora de realitzar els càlculs es definirà unes mesures aleatòries per tal de poder calcular el valor de superfície citat. Així doncs, es partirà d'un elèctrode de 300µm de costat. Conseqüentment, la superfície obtinguda és la següent:

$$Superfície\ total = 0{,}3 \times 0{,}3 = 0{,}09\ mm^2 \rightarrow 0{,}0009 cm^2$$

Segons unes instruccions complementàries facilitades també pel fabricant, per trobar el valor mínim de VDI, és a dir, la rugositat, s'ha de consultar la Taula 3. 4 següent:

Superfície total [cm^2]	VDI mínim
St ≤ 8	VDI - 0
8 a 25	VDI - 8
25 a 60	VDI - 14
60 a 100	VDI - 18
100 a 300	VDI - 22
300 a 500	VDI - 24
500 a 1000	VDI - 26
St > 1000	VDI - 30

Taula 3. 4. Valors de VDI en funció de la superfície total elèctrode.

Segons el resultat de la superfície total, es pot trobar, segons la taula anterior, que el VDI o rugositat mínim/a que es precisa és de VDI 8, és a dir, R_a=0,250µm. Així doncs, després de la valoració de la de rugositat, es considera un bon resultat com a objectiu final a assolir.

Un cop seleccionada la rugositat, en les taules facilitades pel fabricant en el capítol d'elèctrode de coure electrolític i de provetes d'acer inoxidables, es pot extreure les següents dades representades en la Taula 3. 5:

VDI			8		
Paràmetre	**Símbol**	**Unitats**	**VALORS**		
Criteri	-	-	1	2	3
Intensitat	I	A	-	0	1
Voltatge d'ionització	V	V	-	-200	-200
Temps d'impuls	Ti	ms	-	1,6	3,2
Temps de pausa	To	ms	-	3,2	3,2
Condensadors	C	-	-	11	22
Nivell de seguretat	NS	-	-	2	2
Paràmetre de referència per l'erosió SERVO	V	V	-	65	65
Temps de retrocés	-	s	-	0,2	0,2
Temps de treball	-	s	-	0,4	0,8
Valor de desgast	V (%)	%	-	0,00	0,00
Capacitat d'arrencada	V w	mm^3/min	-	0,0	0,0
GAP					
GAP de desbast		µm	-	0	0
GAP d'acabat		µm	-	0	0
GAP d'acabat *		µm	-	0	0
Gap d'erosió amb orbital		µm	-	0	0

Taula 3. 5. Paràmetres de partida de l'experimentació.

Tal i com es pot apreciar en la Taula 3. 5, primerament, s'ha de seleccionar o determinar el criteri a seguir. Així doncs, en aquest apartat s'ha de triar entre 3 criteris o objectius de realització de treball. Concretament, pel criteri 1, es considera Màxima arrencada; pel criteri 2, Equilibri arrencada-desgast; i, finalment, pel criteri 3, Mínim desgast. En l'experimentació es seguirà aquest últim ja que una de les premisses a seguir és la de treball a mínim desgast.

Al mateix temps, destacar que en la Taula 3. 5, facilitada pel mateix fabricant, per poder treballar en aquestes condicions no és viable treballar amb el criteri número 1, per això la presència de ratlles en la taula on hi hauria d'haver els paràmetres.

Paral·lelament en la definició teòrica dels paràmetres, anteriorment citada, es realitza un procés pràctic de definició dels mateixos. Amb consonància, l'Annex B: TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ, es podrà trobar la definició pràctica dels paràmetres.

3.4. FASES DE TREBALL

Davant la desconeixença i posterior realització de la tasca d'investigació, s'estableixen unes pautes de treball per tal de poder mantenir un ordre dins la realització dels experiments. Tal i com es cita en l'apartat dels objectius, un primera punt a realitzar és la coneixença dels paràmetres que afecten al procés d'electroerosió. Per fer-ho, s'han dut a terme les següents fases de treball:

1. FASE 1: PROVA A MICRO ESCALA AMB PARÀMETRES DE MESO ESCALA. Com a primer cas d'anàlisi, s'efectua un primer assaig amb els paràmetres trobat segons les taules tecnològiques de la màquina. Aquests paràmetres es troben en condicions de treball de meso escala, no obstant, seleccionem un elèctrode dissenyat a micro escala per tal de conèixer un primer comportament de la tecnologia.

2. FASE 2: DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN LA RUGOSITAT I FORMA DE LA CAVITAT. Analitzant els resultats de la prova inicial, mitjançant la fixació d'alguns paràmetres i la modificació d'uns altres, s'anirà determinant com afecten cada paràmetre en els resultats. D'aquesta manera, un cop efectuat l'anàlisi es podrà definir una taula de valors que permetin una millor qualitat superficial o que ens afavoreixin al procés. En tot moment, es realitzarà una justificació per la qual es seleccionen uns paràmetres per ser fixats i no uns altres.
   Dins d'aquesta fase es podran incloure diferents subfases en les quals s'anirà avaluant cada paràmetre. Concretament, els paràmetres de control que seran determinats o avaluats per saber com afecten al procés dins de les subfases seran:
   a. NIVELL DE SEGURETAT
   b. SERVO
   c. INTENSITAT
   d. VOLTATGE

3. FASE 3: CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS. El fet de la introducció d'aquesta fase ve determinada perquè la neteja de partícules residuals en el procés és un factor a tenir molt en compte. Tal i com s'ha comentat anteriorment, per produir-se l'arrencada de material, es genera una guspira entre elèctrode i peça. La funcionalitat de la neteja dins del procés és evitar que aquesta guspira es dugui a terme entre elèctrode i residus presents d'altres mecanitzacions prèvies en el líquid dielèctric. En l'Annex C: ELECTROEROSIÓ (EDM), en l'apartat Neteja, es disposa de més informació de la neteja en l'electroerosió.

Dins l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar, es disposarà d'un apartat on es podrà consultar la totalitat dels experiments en funció de les fase definides, és a dir, una fitxa on es podrà veure els objectius de l'experiment a realitzar, els paràmetres del procés introduïts, les

taules i gràfiques dels anàlisis de resultats i les conseqüents conclusions i decisions futures a prendre.

3.4.1. FASE 1: PROVA A MICRO ESCALA AMB PARÀMETRES DE MESO ESCALA

Com a primer cas d'anàlisi, es marquen 3 objectius:

1. Familiarització amb la màquina electroerosionadora.
2. Obtenció d'un negatiu a partir d'uns valors predeterminats en unes taules tecnològiques facilitades pel fabricant de la màquina.
3. Anàlisi dels resultats obtinguts de l'assaig a meso escala utilitzant un elèctrode micro de 300µm de costat.

Tal i com s'ha comentat en l'apartat anterior, 3.3. SELECCIÓ DE PARÀMETRES DE PROCÉS, s'han obtingut uns valors teòrics establerts, com a valors de base, amb els quals es començarà l'experimentació. Aquests valors són:

Paràmetre		Unitats	Valors
Intensitat	I	[A]	1
Voltatge	V	V	-200
Temps d'impuls	Ti	ms	3,2
Temps de pausa	To	ms	3,2
Condensadors	C	-	22
Nivell de seguretat	NS	-	2
Paràmetre de referència per l'erosió	SERVO	V	65
Temps de retrocés	-	s	0,2
Temps de treball	-	s	0,8
Valor de desgast	V (%)	%	0
Capacitat d'arrencada	V w	mm^3/min	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	0	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats		100µm
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	0,3
B (mm)	0,3
Material	COURE

Taula 3. 6. Paràmetres de partida de la FASE 1.

A partir d'aquí s'introdueixen els valors de la Taula 3. 6 a la màquina electroerosionadora. Tal i com es pot veure en un apartat de la Taula 3. 6, pel que fa a les dades de l'elèctrode, com que es pretén obtenir uns primers resultats orientatius a escala micro, es treballarà amb la geometria quadrada.

Un cop finalitzat l'experiment en qüestió, es procedeix a la compilació i anàlisi de dades extretes del procés. Com a primer anàlisi, s'extreuen unes dades de desgast de l'elèctrode. Aquestes serviran per poder conèixer quina quantitat de material s'ha després de l'elèctrode com a conseqüència del procés. Per tal de dur a terme aquesta obtenció de dades, es realitzarà un procés de palpació amb la superfície de la proveta on s'ha realitzat. Aquest procés es basa en poder obtenir els valors de profunditat (eix Z) que s'obtenen en diferents punts o coordenades de la proveta. Així doncs els valors que s'han obtingut són:

DESGAST (mm)		
Coordenada	**X1 Y1**	**X-1 Y-1**
1	-0,034	-0,026
2	-0,041	-0,029
3	-0,045	-0,033
4	-0,046	-0,033
5	-0,046	-0,036
6	-0,046	-0,038
7	-0,048	-0,037

Taula 3. 7. Valors de desgast obtinguts.

Tal i com es pot apreciar en la Taula 3. 7, es pot fer-se una idea de que, segons els paràmetres de procés introduïts, hi ha un desgast de l'elèctrode acceptable, tenint en compte la tipologia de material de l'elèctrode i el de proveta. En el pitjor dels casos es desgasta unes 50µm.

A més a més, veient el desgast de l'elèctrode en diferents coordenades i punts, es pot apreciar com l'elèctrode no es desgasta per igual ja que hi ha unes 25µm de diferència entre el valor més alt respecte del més baix. Aquesta situació s'haurà de tenir en compte i analitzar-la amb més detall en experiments futurs ja que podria provocar resultats desfavorables, sobretot pel que fa a la qualitat superficial.

Algunes de les hipòtesis de l'obtenció d'aquests resultats podrien ser:

1. La superfície de la proveta no està 100% plana. Això provocaria un desgast desigual en l'elèctrode.
2. La secció de l'elèctrode que erosiona no està 100% plana, fet que el negatiu obtingut mantindria el desnivell present en l'elèctrode.

Un segon anàlisi dins d'aquesta fase consisteix en mesurar el resultats obtinguts, és a dir, mesurar la profunditat i el perfil obtingut. Així doncs, a continuació es presenten dues il·lustracions on es realitzen un seguit de mesures que serviran per poder analitzar amb més detall els resultats obtinguts.

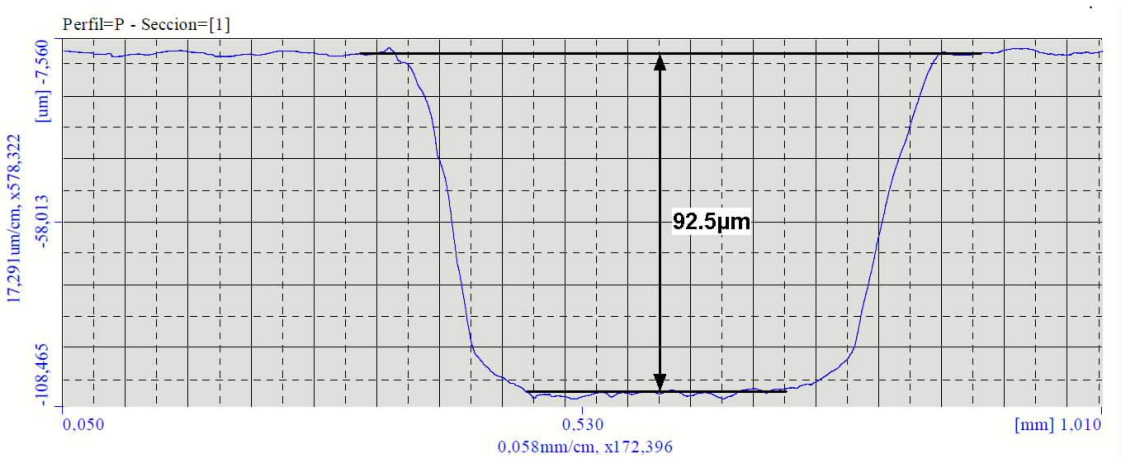


Figura 3. 7. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda.

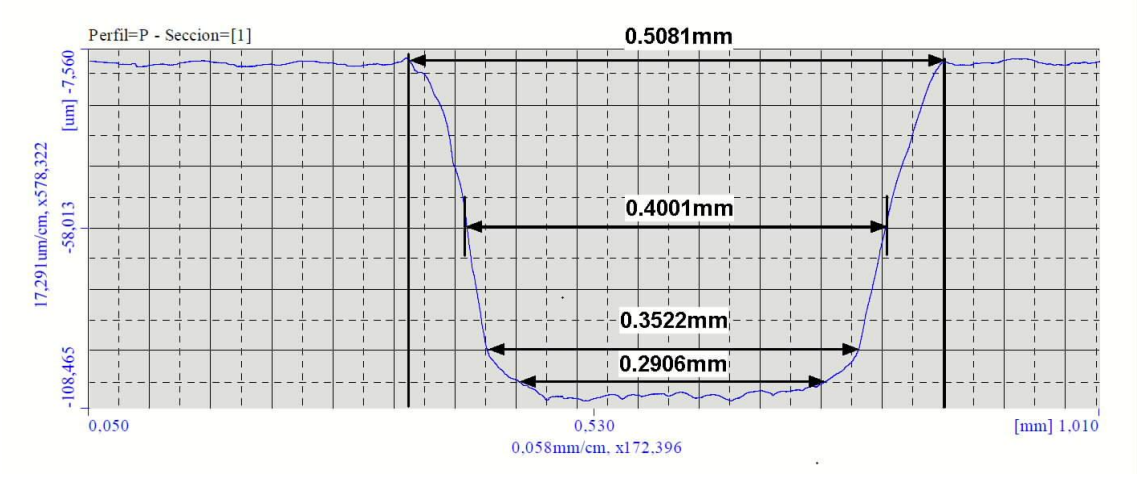


Figura 3. 8. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda.

Veient les gràfiques obtingudes, primerament, destacar que la geometria de la proveta obtinguda té molt bona forma, tot i que hi ha present un lleuger arrodoniment en els vèrtex inferiors del prisme rectangular.

A més a més, partint del valor teòric de profunditat de 100µm, s'ha obtingut un valor de profunditat molt correcte (92,5µm). Tenint sempre present l'error ocasionat per l'operari en la mesura i treballant a un nivell de precisió tan elevat com el de la micro escala, el fet d'obtenir un valor tan proper al desitjat fa que es consideri molt bo aquest experiment, pel que fa a aquest paràmetre.

Pel que fa al perfil de la cavitat i tal i com s'ha comentat anteriorment, els resultats no són tan bons degut a l'arrodoniment present en la cavitat. Si es retrocedeix fins a la taula de paràmetres introduïts, es pot apreciar que a les 300µm de l'elèctrode se li han de sumar les 200µm dels orbitals, obtenint així un valor total de 500µm.

Així doncs, analitzant les mesures preses, en la part superior es pot veure com l'erosió ha estat molt bona (508,1µm) i com a mesura que s'avança cap al fons de la cavitat aquest valor disminueix, essent de 400,1µm, aproximadament a la meitat de la cavitat i, al voltant de 300µm al final.

Amb aquestes mesures es pot extreure que la funció orbitals, de generar una secció superior de 100µm a la de l'elèctrode, s'executa a la perfecció en un inici i, essent pràcticament nul·la, en l'estat final del procés. Això s'evidencia pel fet que la mesura del fons de la cavitat siguin aproximadament les 300µm de l'elèctrode.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Un cop finalitzat l'experiment, la valoració global és bona ja que amb el simple fet de modificar la geometria de l'elèctrode de meso a micro escala, mantenint els paràmetres de procés, s'ha demostrat que els resultats són bastant correctes.

Paral·lelament, dir que s'ha obtingut una bona familiarització amb la màquina que permetrà desenvolupar, amb els coneixements suficients, els futurs experiments a realitzar.

3.4.2. FASE 2: DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN LA RUGOSITAT I FORMA DE LA CAVITAT

Primerament, abans de comentar qualsevol cosa de l'experimentació, destacar que en aquesta fase es treballarà a meso escala. El motiu pel qual es realitzarà els experiments en aquesta escala és perquè la màquina electroerosionadora està preparada per treballar a aquesta escala i el que es prioritza en aquest bloc és el coneixement de l'efecte de cada paràmetre en el resultat final. Així doncs, caldrà modificar la geometria de l'elèctrode. No obstant, en la selecció dels paràmetres i els valors es fonamentarà amb la idea d'obtenir una bona qualitat en escala micro.

Conseqüentment, tal i com s'ha comentat anteriorment en l'apartat de geometria de l'elèctrode, el nou elèctrode amb el qual es realitzaran els experiments tindrà una secció de 3mm de costat per 12mm de llargària.

Un cop citat les modificacions en la geometria, es procedeix a la selecció dels paràmetres. Veient el gran resultat obtingut en la primera fase, es realitzarà una lleugera modificació de paràmetres per tal d'adequar-los a les millors condicions per així poder obtenir el millor acabat dimensional i superficial.

Igual que en la fase primera, es fixen uns objectius els qual són:

1. Obtenció d'un negatiu modificant els paràmetres de procés de la primera fase.
2. Determinar l'efecte d'aquests paràmetres en els resultats finals, amb la intenció de millorar les condicions d'acabat i qualitat superficial.
3. Anàlisi dels perfils i qualitats superficials obtinguts en els diferents experiments.

Dins d'aquesta fase, tal i com s'ha esmentat anteriorment, s'inclouran diferents subfases o experiments en les quals s'anirà avaluant cada paràmetre. Concretament, les subfases que s'inclouran dins aquest grup són les següents:

- SUBFASE 1: Efecte del nivell de seguretat
- SUBFASE 2: Efecte del servo
- SUBFASE 3: Modificació dels paràmetres més significatius: Intensitat i Voltatge.

3.4.2.a. SUBFASE 1: EFECTE DEL NIVELL DE SEGURETAT

El nivell de seguretat és un paràmetre que condiciona l'actuació de l'optimitzador automàtic d'erosió. En funció dels valors de base obtinguts en les taules tecnològiques del fabricant, s'ha establert un nivell de seguretat 2. Aquest nivell es tracta d'un valor per defecte on s'adeqüen la gran majoria de situacions. Tot i així, en aquest nivell, l'optimitzador pren com a referència el valor del temps de treball programat per determinades circumstàncies, pel que pot estar ajustat si es considera necessari. En els règims de semiacabat (Intensitat ≤ 6A) es respecte com a temps màxim de treball.

Amb tot això, pel que fa a les perspectives establertes i a la tipologia d'experiments seleccionats, s'adequa millor un nivell de seguretat 3. Això ve determinat pel que en aquest nivell es prima la qualitat superficial sobre l'arrencada. L'optimitzador respecta el temps programat com a temps màxim. Aquest nivell està destinat a treballs on és prioritari la qualitat de les superfícies erosionades o quan el règim de finalització sigui alt.

Havent presa la decisió de fixar el paràmetre del nivell de seguretat, es planteja de fixar altres paràmetres del procés. Segons estudis experimentals realitzats prèviament als desenvolupats en el transcurs d'aquest projecte i segons dades obtingudes de la màquina es decideix de fixar altres paràmetres. A continuació, hi ha un taula representativa en la qual es podrà evidenciar el paràmetre fixat, el valor al qual s'ha fixat i la justificació pertinent (Taula 3. 8. Paràmetres del procés fixats i justificació).

Paràmetre		Valor al qual s'ha fixat	Justificació
Condensador	C	22	Si s'accedeix a les taules tecnològiques de la màquina electroerosionadora, es pot apreciar que per rugositats baixes (VDI baixos), hi ha valors dels condensadors activats en el generador de microfi alts. Per això, com que es pretén obtenir una rugositat baixa, s'estableix com a valor del Condensador, 22, essent aquest el valor màxim per aquest paràmetre.
Temps de retrocés		0,2s	Aquest paràmetre representa un valor dins del temporitzador. És el temps de retrocés entre erosió i erosió. Al mateix temps, si es consulta les taules tecnològiques de la màquina, aquest paràmetre resulta constant per totes les variants de rugositat en aquesta tipologia de material de l'elèctrode (E-Cu, +) i proveta (St, -).
Temps de treball		0,8s	Aquest paràmetre també representa un valor dins del temporitzador. És el temps en què l'elèctrode treballa. Per rugositats baixes, resulta ser el valor màxim. Per tant, es considera òptim mantenir aquest valor ja que es preveu obtenir una VDI petita.
V(%)		0	Aquest valor representa el desgast en l'elèctrode. No obstant, per l'assaig realitzat en la primera fase s'ha pogut comprovar que hi ha altres factors que poden modificar el desgat en l'elèctrode, tot i tenint aquest valor com a 0. Per tant, es considera que s'anirà realitzant un anàlisi dels resultats obtinguts en cada experiment pel que fa a aquest paràmetre per tal de poder identificar-lo millor. Així doncs, com que s'ha d'introduir un valor dins d'aquest camp, es mantindrà constant a 0 en tots els experiments.
V w		0	Aquest valor respon a la capacitat d'arrencada de material. Com que la intenció és treballar a nivell micro el volum d'arrencada de material no pot ésser molt gran. Així doncs, aquest valor no seria 0, però resultaria ser un valor molt i molt petit, que la màquina assimila a 0.
GAP			El GAP és l'espai entre elèctrode i peça. La pròpia màquina genera un GAP tenint en compte un factor de seguretat. Per valors de rugositats petits aquest valor s'assimila a 0. No obstant, si es precisés una rugositat superior en la que calgués un elèctrode de desbast i un altre d'acabat s'hauria de modificar aquest valor per tal de garantir un correcte funcionament. Concretament, i tal i com s'ha comentat abans, per les predeterminacions establertes no és necessaris modificar aquest valor.
GAP de desbast		0	
GAP d'acabat		0	
GAP d'acabat*		0	
Gap d'erosió amb orbital		0	

Taula 3. 8. Paràmetres del procés fixats i justificació

Dins aquest grup de paràmetres fixats, també hi ha el Servo i uns paràmetres secundaris. Pel que fa al primer, la seva funcionalitat és proporcionar un control de l'operació mitjançant l'ús de realimentació. Concretament, la realimentació es mantindrà a 65V. Com que es desconeix exactament la funcionalitat d'aquest paràmetre, es realitzarà algun estudi més endavant. A més a més, els paràmetres secundaris es mantindran ja que s'han establert en un inici per la realització de tots els casos. Més endavant, en la Taula 3. 9. Paràmetres de procés de l'experiment 1 de la Fase 2, es podrà visualitzar tots els paràmetres finals per a l'experimentació.

No obstant, hi ha un paràmetres que tenen un presència més significativa que s'aniran variant en el transcurs de tota l'experimentació de la fase 2. Així doncs, els valors que es modifiquen són els següents:

1. CABAL. En el cabal de sortida del líquid dielèctric es disposa d'un rang que està comprès entre 0 i 31. En l'experiment inicial, aquest valor es trobava fixat a 0, el valor per defecte. No obstant, el fet d'injectar un determinat cabal en l'experiment provoca que es concentri líquid dielèctric nou en la zona on s'està erosionant, fent així, que s'afavoreixi el procés.
2. TIPOLOGIA D'ESTRATÈGIA. En un inici, en l'experiment inicial, es treballava amb orbitals de 100µm. Per tal de poder obtenir uns millors resultats pel que fa a l'hora de realitzar les mesures, es decideix d'augmentar aquest valor a 200µm.
3. INTENSITAT. Està considerat, juntament amb el voltatge, el paràmetre més significatiu dins el procés d'electroerosió. Per tant, es modificarà aquest paràmetre augmentant un 100% i un 200%. D'aquesta manera quedaran dos experiments amb una intensitat de 2A, el primer i de 4A el segon.
4. VOLTATGE. En referència a l'anterior, s'estableixen dos voltatge diferents de l'usat en l'experiment inicial. Concretament, es disposarà de dos voltatges positius de 120 i 200V respectivament.
5. TEMPS D'IMPULS. Pel que fa en ordre d'influència, el temps d'impuls i els de pausa es trobarien en la segona escaló d'importància. Per això, en els dos experiments establerts es realitzarà una reducció del 50% respecte del valor de l'assaig primer, en el primer experiment i, un increment del 50% en el segon experiment.
6. TEMPS DE PAUSA. Igual que en el cas del temps d'impuls es seguirà el mateix procediment.

Així doncs, i resumint tot el citat anteriorment, a continuació es facilita una taula (Taula 3. 9) on es podrà visualitzar tots els canvis, els quals es veuran subdividits en dos experiments particulars, l'experiment 2.1 i el 2.2.

		Valors	
Paràmetre	**Unitats**	**Exp. 2.1**	**Exp. 2.2**
I	[A]	2	4
V	V	120	200
Ti	ms	1,6	4,8
To	ms	1,6	4,8
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	200µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

Taula 3. 9. Paràmetres de procés de l'experiment 1 de la Fase 2

Un cop establerts els paràmetres de procés es procedeix a introduir-los a la màquina electroerosionadora i, seguidament, a realitzar l'experiment.

Un cop finalitzat l'experimentació, s'extreuen els següents resultats dels dos experiments (2.1 i 2.2). Concretament, tal i com es pot veure en la Taula 3. 10, s'ha realitzat unes mesures de desgast de l'elèctrode, una mesura de la rugositat interior de la cavitat i, com a dada addicional, el temps que ha tardat el procés en finalitzar.

	Exp. 2.1	Exp. 2.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,010	-0,002
Rugositat (µm)	3,840	3,233
Temps que ha tardat	4 min 33s	4 min 34s

Taula 3. 10. Valors de desgast, rugositat i duració de procés

Així doncs, a diferència del cas inicial, en aquesta experimentació es troba un desgast de l'elèctrode molt petit. S'obté un valor de 10µm en l'experiment 2.1, i de 2µm en el 2.2. Per tant, aquestes condicions afavoreixen un desgast menor que les condicions inicials.

Al mateix temps, com que els experiments es troben elaborats amb un elèctrode de meso escala, s'ha pogut realitzar una mesura de la rugositat interior de la cavitat. Aquesta ha resultat ser molt bona ja que es tracta de 3,84 i 3,23µm respectivament, fent així que la qualitat superficial de l'interior de la cavitat sigui realment bona.

Finalment, comentar també que, com a dada addicional, s'ha trobat uns valors del temps que ha tardat en l'experiment a finalitzar molt petits, al voltant de 4 minuts i mig.

Paral·lelament, es procedeix a trobar els resultats gràfics de profunditat i perfil i les conseqüents mesures. Així doncs, per l'experiment 2.1, s'obtenen els resultats següents:

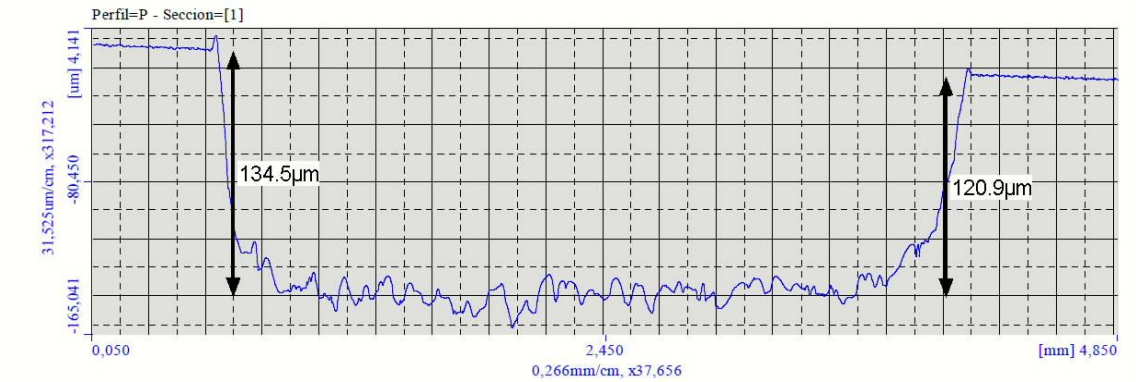


Figura 3. 9. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 1)

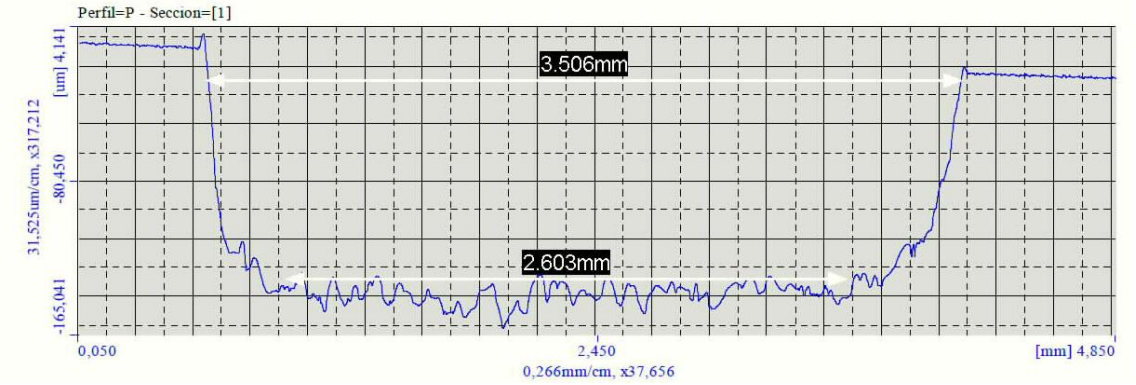


Figura 3. 10. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 1)

Anàlogament a l'experiment 2.1, dins aquesta subfase es troba les gràfiques pertinents a la profunditat i perfil de l'experiment 2.2. Aquestes són les següents:

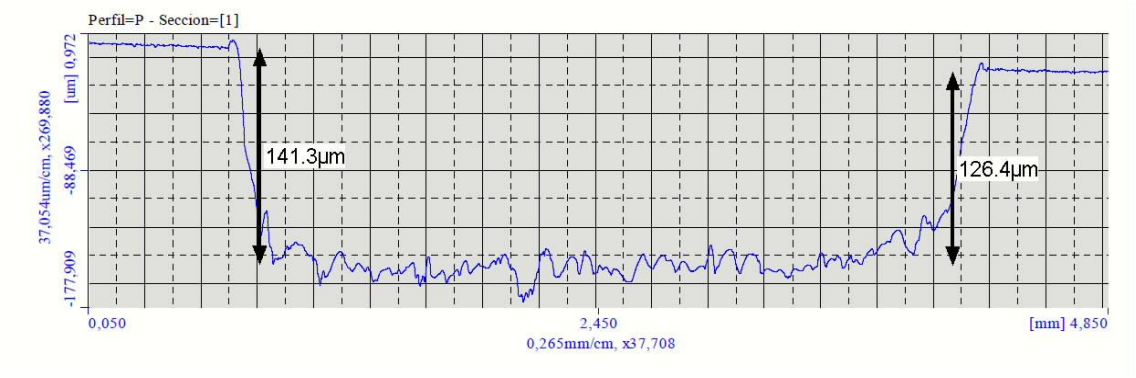


Figura 3. 11. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 2.2)

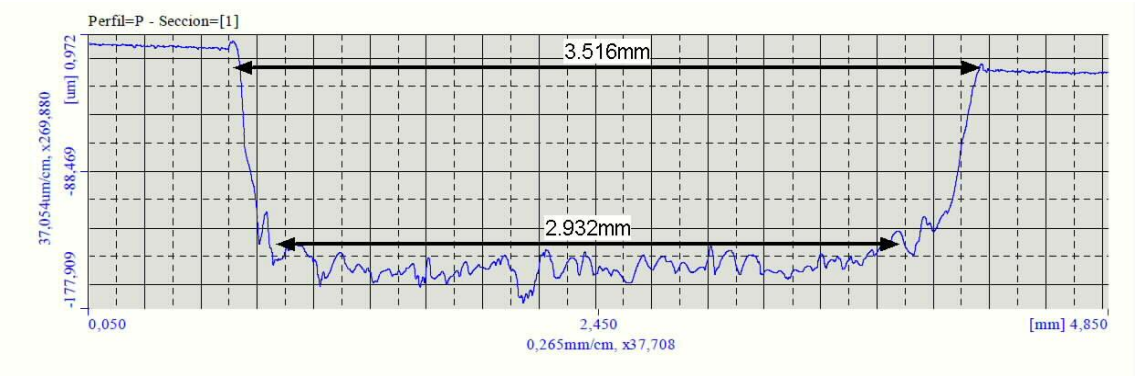


Figura 3. 12. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 2.2)

En les gràfiques anteriors d'ambdós experiments, com a primera dada d'interès, es pot apreciar que la geometria de la proveta obtinguda manté un lleuger arrodoniment en els vèrtexs inferiors de la cavitat. A més a més, visualment es percep un cert desnivell en la proveta, tal i com s'evidencia en les mesures de la profunditat en cada extrem de la cavitat. Aquestes situacions poden estar provocades pel desgast propi de l'elèctrode ja que es tracta d'un elèctrode usat amb anterioritat per altres experiments, perquè la peça no estigui 100% plana o que no s'hagi produït un correcte desallotjament de les partícules en la neteja d'aquestes. A primer cop d'ull, la hipòtesi que prendria més importància seria el desnivell en la peça.

Tal i com es pot apreciar s'han realitzat mesures de profunditat i perfil en tots dos experiments. Aquests valors es troben comentats en l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar, on es faran referència a les mesures realitzades. No obstant, com a visió general es pot comentar que en els valors de profunditat, resulten ser lleugerament superior als valor teòric establert i, en canvi, pel que fa als valors de perfil, s'ajusten bastant al valor teòric desitjat.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Analitzant els valors modificats en respecte a l'experimentació de la fase 1, es pot determinar que:

1. El cabal augmentat aportarà un millor acabat superficial ja que provoca una regeneració del líquid dielèctric i elimina una possible acumulació de partícules de cremats.
2. Definir uns orbitals de major grandària no afecta a la qualitat superficial.
3. El fet de canviar el nivell de seguretat no afecta negativament a la qualitat superficial sinó més aviat al contrari, prima la qualitat superficial a l'arrencada de material. Prova d'això són els valors de rugositat bons obtinguts en l'interior de la cavitat.

Així doncs, on es pot trobar canvis en el resultat final obtingut és en la variació dels paràmetres d'Intensitat, de Voltatge, de Temps d'impuls, de Temps de pausa i de Servo. Per tant, en experiments posteriors, es centraran les atencions en aquest paràmetres de procés. S'anirà modificant cada component per tal de provar quins rangs de valors proporcionen un millor acabat. El primer paràmetre seleccionat per poder realitzar la nova experimentació és el SERVO.

3.4.2.b. SUBFASE 2: DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DEL SERVO

Com a conseqüència de les conclusions de l'apartat 3.4.2.a SUBFASE 1, per aquest cas d'anàlisi, es variarà el paràmetre del Servo, mantenint la resta de valors. D'aquesta manera es podrà apreciar quin efecte té el Servo dins els resultats finals de l'assaig.

Com que el valor màxim del rang de variació és concretament el valor ja assignat, es selecciona un valor inferior de 45 V. En les taules tecnològiques es pot apreciar que per rugositats superior es passa dels 65 als 30V. No obstant, s'ha pres la decisió de triar un valor de 45V ja que no interessa que aquest valor es redueixi massa per tal de no perdre una bona qualitat superficial.

Així doncs, els paràmetres introduïts en aquesta nova experimentació són els següents:

		Valors	
Paràmetre	**Unitats**	**Exp. 3.1**	**Exp. 3.2**
I	[A]	2	4
V	V	120	200
Ti	ms	1,6	4,8
To	ms	1,6	4,8
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	45	45
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats		200µm
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

Taula 3. 11. Paràmetres de procés de l'experiment 2 de la Fase 2

Seguint el procediment fins ara establert, s'introdueixen les dades a la màquina electroerosionadora i es realitza el procés de mecanització. En aquest cas, també es realitzaran dos experiments el quals estan representats per Experiment 3.1 i Experiment 3.2. Un cop finalitzat el procés, els primers resultats obtinguts són els següents:

	Exp. 3.1	Exp. 3.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,005	-0,002
Rugositat (µm)	3,663	3,208

Taula 3. 12. Valors de desgast i rugositat interior de la cavitat

El fet de canviar el valor del SERVO, a primera vista, ha millorat el desgast de l'elèctrode en un dels casos i ha mantingut aproximadament una bona rugositat interior de la cavitat.

Així doncs, es procedeix a obtenir els gràfics de profunditat i perfil de la cavitat. Aquests són els següents:

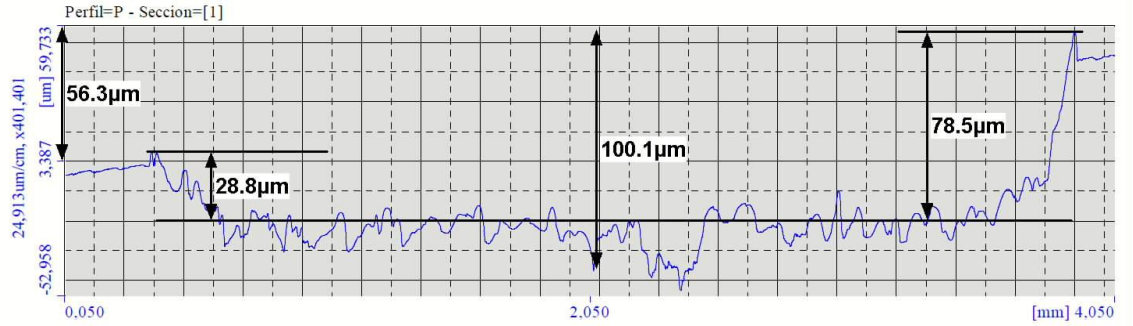


Figura 3. 13. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.1)

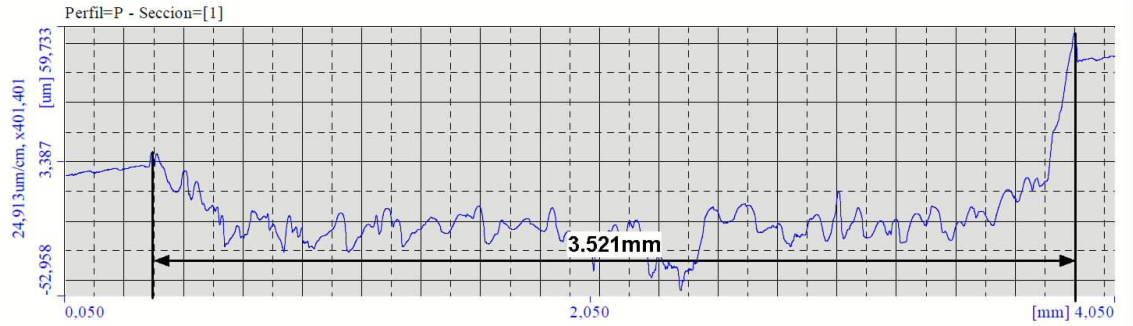


Figura 3. 14. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.1)

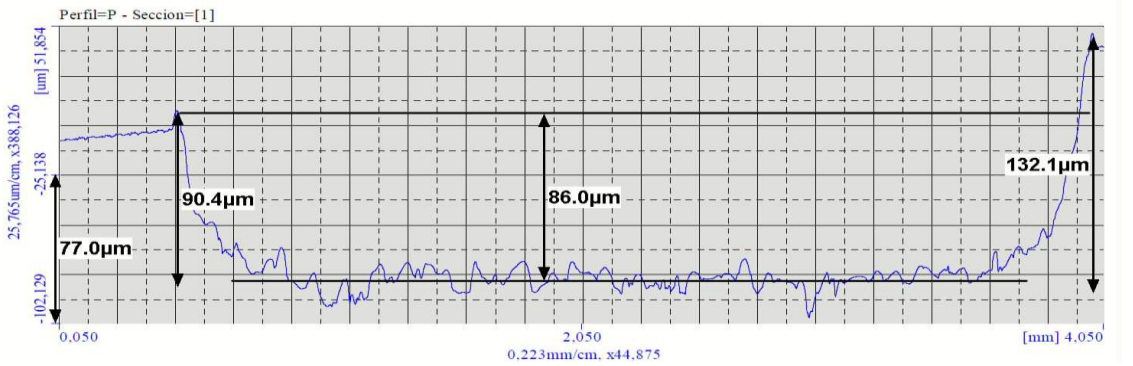


Figura 3. 15. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.2)

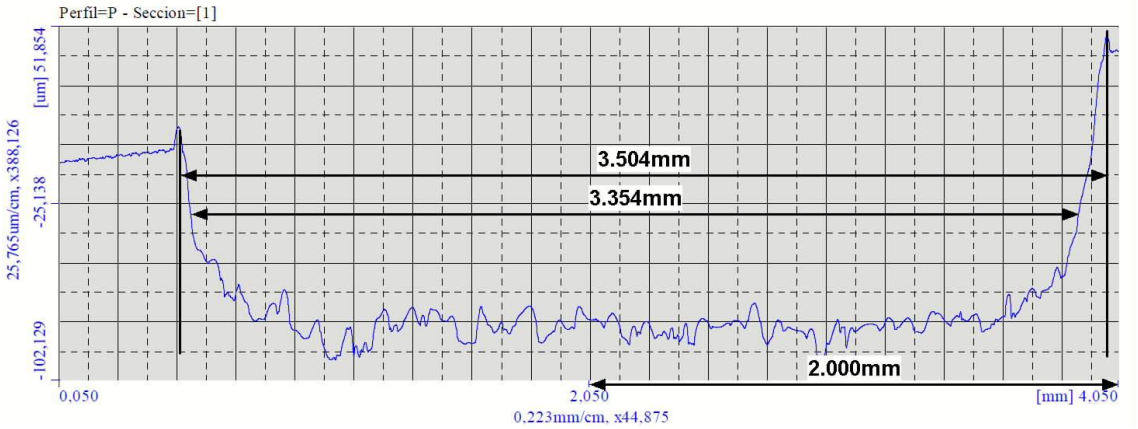


Figura 3. 16. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 3.2)

A simple vista es pot apreciar que la geometria de cavitat és molt desfavorable, obtenint uns resultats més dolents que en la Subfase 1. A l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar, es podrà veure més detalladament l'anàlisi tècnic realitzat per aquest cas.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Mantenint els paràmetres d'Intensitat, Voltatge, Temps de d'impuls i Temps de pausa; s'ha pogut veure que si es disminuïa el valor del SERVO s'aconseguia un pitjor acabat de la geometria de la cavitat cega. Per tant, es mantindrà, amb els experiments que es realitzin posteriorment, un SERVO de 65V.

3.4.2.c. SUBFASE 3: MODIFICACIÓ DELS PARÀMETRES MÉS SIGNIFICATIUS: INTENSITAT I VOLTATGE

Segons els experiments de les subfases anteriors, s'ha pogut definir un grau d'importància o d'influència dins dels paràmetres del procés. És aquí on s'ha fet palesa la importància de la Intensitat i el Voltatge en els resultats. Per això en aquest últim cas d'anàlisi, es centrarà en poder determinar la influència d'aquests paràmetres en els resultats finals.

Al mateix temps, pel que fa als dos paràmetres restants, el Temps d'impuls i Temps de pausa, en vista dels mals resultats obtinguts amb la modificació, s'ha establert retornar als valors inicials. Paral·lelament, contrastant la informació proporcionada per les taules tecnològiques de la màquina s'ha pogut identificar que per valor de rugositat petits aquests valor es mantenen constant en 3,2s.

Centrant-se en la modificació del paràmetres d'Intensitat i Voltatge, es realitza un anàlisi estadístic per tal d'obtenir una aleatorietat entre els valors. Aquest anàlisi estadístic es realitza amb el programari Minitab 14, el qual mitjançant la introducció del rang valors de Intensitat i Voltatge que es desitja, estableix una combinació d'aquests de manera aleatòria agrupant-los de totes les maneres possibles.

Gràcies a aquest programari, es procedeix a seleccionar el rang de valors per a cada paràmetres que permetin obtenir un assajos òptims. Així doncs, els diferents valors d'Intensitat i Voltatge són:

1. INTENSITAT → 1A, 2A, 4A
2. VOLTATGE → -200V, -120V, 120V, 200V

Efectuant, l'anàlisi estadístic citat, s'obtenen 12 combinacions de valors d'Intensitat i Voltatge, el qual provoca l'obtenció de 12 experiments diferents (la numeració de cada experiment es pot

trobar en la Taula 3. 13. Paràmetres de procés dels experiment de la Fase 2). Així doncs, introduint aquests a la taula dels paràmetres final, queda distribuïda de la següent manera:

		Valors											
Paràmetre	**Unitats**	**Exp. 4.1**	**Exp. 4.2**	**Exp. 4.3**	**Exp. 4.4**	**Exp. 4.5**	**Exp. 4.6**	**Exp. 4.7**	**Exp. 4.8**	**Exp. 4.9**	**Exp. 4.10**	**Exp. 4.11**	**Exp. 4.12**
I	[A]	4	4	4	1	4	1	2	2	1	2	1	2
V	V	200	-120	120	120	-200	-120	-200	-120	200	120	-200	200
Ti	ms	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
To	ms	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
C	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
NS	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SERVO	V	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
V (%)	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V w	mm^3/min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats		200µm
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

Taula 3. 13. Paràmetres de procés dels experiment de la Fase 2

Anàlogament a les Subfases 1 i 2, a partir d'aquí s'introdueixen els valors de cada experiment de la taula anterior en la màquina electroerosionadora i es realitza el procés d'obtenció de la cavitat.

Un cop finalitzat els experiments en qüestió, es procedeix a la compilació i anàlisi de dades extretes del procés. Com a primer anàlisi, s'extreuen les dades de desgast de l'elèctrode, la rugositat interior i el temps que s'ha tardat en la realització del procés. Els valors obtinguts queden recollits en la taula que es presenta a continuació:

	Exp. 4.1	Exp. 4.2	Exp. 4.3	Exp. 4.4	Exp. 4.5	Exp. 4.6	Exp. 4.7	Exp. 4.8	Exp. 4.9	Exp. 4.10	Exp. 4.11	Exp. 4.12
Desgast (mm) X1 Y1	-0,004	-0,038	-0,033	-0,041	-0,032	-0,041	-0,039	-0,030	-0,026	-0,051	-0,033	-0,047
Rugositat (µm)	2,911	3,281	3,093	3,224	3,240	3,210	3,083	2,570	2,866	3,299	3,556	3,264
Temps que ha tardat	3 min 43 s	3 min 44 s	3 min 22 s	3min 41 s	3 min 45 s	3 min 17 s	3 min 30 s	3 min 42 s	3 min 43 s	3 min 13 s	3 min 29 s	3 min 15 s

Taula 3. 14. Valors de desgast, rugositat i duració de procés

Particularment, es pot apreciar que s'obté una molt bona qualitat superficial en l'interior de la cavitat de la proveta ja que s'obtenen unes rugositats d'entre 2,6 i 3,6µm. A més a més, exceptuant en el primer experiment (Exp. 4.1) , es pot veure que l'elèctrode es va desgastant al voltant d'unes 40 o 50µm. Això es produeix degut a que, principalment, el desgast de l'elèctrode es deu al SERVO i al Temps de pausa i, com que aquests valors són constants en tots els experiments, provoca que els valors de desgast siguin molt semblants. Tenint en compte que l'elèctrode erosiona en l'eix Z 100µm, s'hauria de tenir en compte aquest desgast en aplicacions futures. Addicionalment, el temps que tarda al llarg del procés és bastant homogeni, entre 3 min 15 s i 3 min 45 s.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, disposem de 12 experiments amb les conseqüents gràfiques de mesura de profunditats i perfils. En l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar, es faciliten totes les gràfiques corresponents a tots els experiments.

Per tal de poder avaluar com es comporta la Intensitat i el Voltatge en el procés, es realitzaran un seguit de mesures en els perfils i profunditats de les gràfiques obtingudes que es podran visualitzar en la taula que es presenta a continuació. Per fer-ho més il·lustratiu es realitzarà una mesura exemplificadora.

EXPERIMENT 4.1 (exemple il·lustratiu)

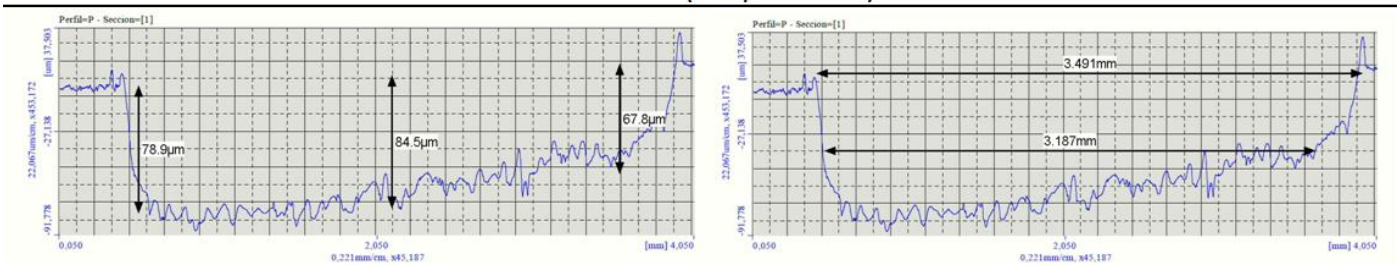


Figura 3. 17. Exemple il·lustratiu de les mesures preses en les gràfiques de profunditat i perfil

EXPERIMENT NÚM.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RUGOSITAT (µm)	2,911	3,281	3,093	3,224	3,240	3,210	3,083	2,570	2,866	3,299	3,556	3,264
AMPLADA SUPERIOR (mm)	3,509	3,493	3,482	3,486	3,487	3,487	3,497	3,478	3,481	3,438	3,487	3,428
AMPLADA INFERIOR (mm)	3,187	3,131	3,153	3,373	3,211	3,246	3,281	3,317	3,283	3,227	3,183	3,236
PROFUNDITAT EN EL PUNT MIG (mm)	84,50	80,20	84,30	75,00	76,50	75,70	86,40	92,60	95,70	102,00	79,00	87,50

Taula 3. 15. Mesures de rugositat, amplades i profunditat de cada experiment

Com a primer anàlisi, en la Taula 3. 15, es pot apreciar com s'ha trobat els valors de rugositat, amplada i profunditat. Pel que fa al primer, s'ha obtingut uns valors de rugositat molt semblants i baixos, cosa que indica uns bons resultats. En el segon paràmetre a analitzar, s'ha trobat valors d'amplada en la part superior i inferior de la cavitat ja que en els resultats obtinguts no eren valors semblants. Finalment, pel que fa a l'últim valor trobat i, veient que no es disposava de valors de semblants en tota la cavitat, s'ha calculat el valor de profunditat en el punt mig de la cavitat.

Un cop trobades totes les dades, es realitzen unes gràfiques valoratives dels paràmetres de rugositat, amplades (superior i inferior) i profunditats en el punt mig; en funció de la intensitat i el voltatge. Totes les gràfiques, així com també els comentari tècnics individualitzats, es disposen en l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar. No obstant, a continuació s'adjunten les gràfiques valoratives de les amplades en funció de la Intensitat i el Voltatge com a mostra de l'anàlisi.

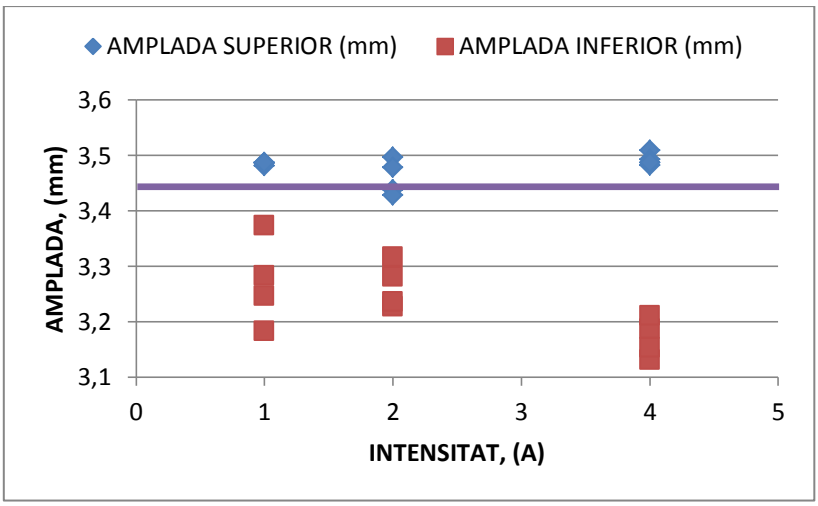


Figura 3. 18. Amplades vs Intensitat

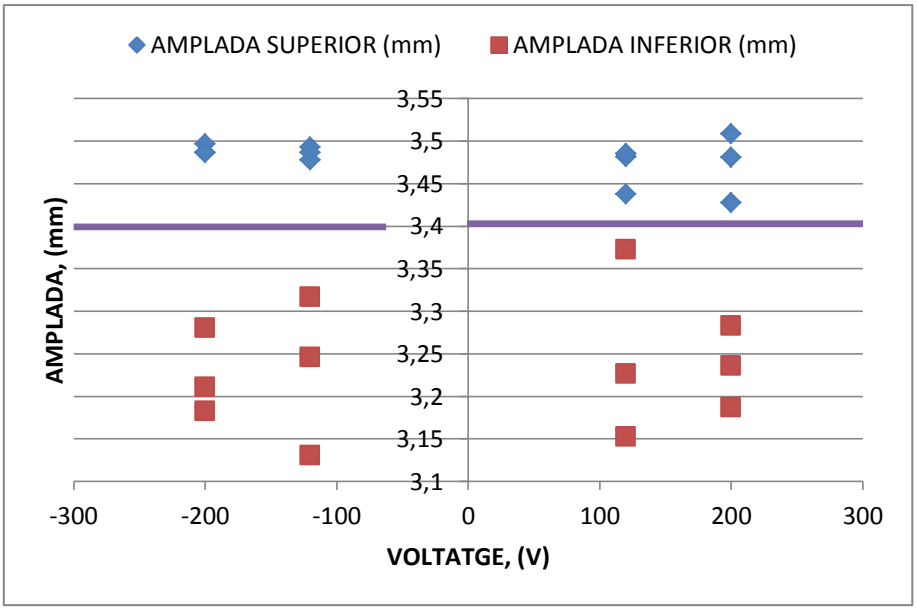


Figura 3. 19. Amplades vs Voltatge

Particularment, considerant com a paràmetre de l'anàlisi l'amplada de la cavitat il·lustrat en la Figura 3. 18 i Figura 3. 19, es pot apreciar que pels valors d'amplada superior sempre superen el valor teòric (representat per una línia de color lila en l'amplada de 3,4mm) i, en canvi, per l'amplada inferior, els valors sempre romanen per sota del valor teòric. Si es consulta a les gràfiques de perfil de cada experiment, això ve provocat per l'arrodoniment present. A més a més, tal i com es pot comprovar en els gràfics comparatius (Figura 3. 18 i Figura 3. 19), el rang de desviació de l'amplada superior és molt més reduït que en les mesures d'amplada inferior. Això evidencia que en les amplades inferior no es realitza el que s'esperava ja que hi pot haver aspectes com la geometria de l'elèctrode que no serien correctes. A més a més, per intensitats de 1A i 4A i pels voltatges negatius (-200V i -120V), els valors es troben més agrupats, fent que la diferència sigui poc significativa.

A més dels anàlisis de resultat anteriors, s'ha establert una ponderació en funció de la qualitat dels resultats obtinguts pel que fa a la profunditat ja que en les gràfiques de perfil, s'obtenen uns valors molt similars i pròxims al valor teòric predeterminat. Així doncs, es fixa un valor de 4, el qual es considera un experiment amb uns bons resultats i un valor de 1, per uns resultats menys bons. Així doncs, en la taula que es presenta a continuació es recull totes les mesures i les ponderacions en casa experiment.

EXPERIMENT NÚM.	MIDA A (µm)	MIDA B (µm)	MIDA C (mm)	QUALITAT ACABAT [4,3,2,1]
1	78,9	67,8	3,509	1
2	75,8	67	3,493	1
3	81,3	63,9	3,482	2
4	81,5	75,2	3,486	3
5	85,3	82,5	3,487	3
6	82,4	69,7	3,487	2
7	84,6	73,9	3,497	3
8	94	74	3,478	4
9	93,9	80,8	3,481	4
10	79,3	71,9	3,438	2
11	81,8	70,6	3,487	2
12	88	80,4	3,428	3

Taula 16. Mesures i ponderacions de cada experiment

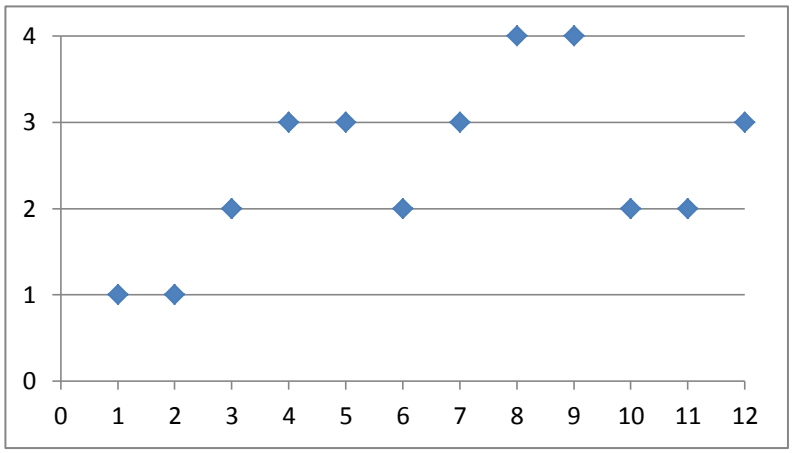


Figura 3. 20. Gràfica de ponderacions dels experiments

En la gràfica es pot veure la totalitat d'experiments en el qual estan dividits en les qualitats d'acabat, anteriorment citades.

Un cop vist tots els experiments, es decideix de treballar amb els paràmetres de procés dels dos experiments que més bons resultats han donat. Concretament són els experiments número 8 i 9.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Aquests experiments ens han permès establir unes condicions bastant bones, pel que a la Intensitat i Voltatge respecte. El primer anàlisi ha permès indicar en quines condicions s'obtenia un millor resultat i, en el segon anàlisi, ha permès reduir el gran nombre d'experiments.

3.4.3 FASE 3: CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS.

A part dels paràmetres ja analitzats anteriorment, hi ha un aspecte important a tenir en compte que pot modificar els resultats que s'obtinguin.Com tota mecanització hi ha unes restes de virutes o partícules residuals. En aquesta tecnologia, la guspira generada per la realització de l'arrencada de material genera uns residus cremats. Si no són degudament eliminats pot provocar desperfectes o mal acabats en els experiments. Per tant, s'ha d'intentar eliminar d'alguna manera. Dins l'operatòria de la màquina electroerosionadora hi ha la possibilitat de generar una neteja durant el procés per tal de poder eliminar aquesta brutícia i, al mateix temps, regenerar de líquid dielèctric la zona de treball afavorint el desenvolupament del procés.

Així doncs, amb els paràmetres seleccionats anteriorment, es realitza una segona experimentació a nivell micro amb una concentració dels sortidors de la neteja en l'assaig per poder aconseguir un millor acabat (activació de la neteja interior superior i exterior superior).

En una primera experimentació es van obtenir uns resultats incerts. Un cop introduïts els paràmetres, realitzats els casos i mesurats els resultats es va obtenir una geometria de la cavitat no millorada. En el transcurs del procés de mecanitzat, no es visualitzava cap diferència dels casos desenvolupats en altres fases. Així doncs, es va optar per repetir els dos experiments per tal d'assegurar que tot es desenvolupava amb normalitat i que es produís l'activació de dita neteja. A l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar, es podrà visualitzar tots els experiments comentats anteriorment.

Un cop solucionat aquests problemes, es procedeix a entrar el paràmetres a la màquina electroerosionadora. Aquests paràmetres són els següents:

		Valors	
Paràmetre	**Unitats**	**Exp. 6.1**	**Exp. 6.2**
I	[A]	2	1
V	V	-120	200
Ti	ms	3,2	3,2
To	ms	3,2	3,2
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,05
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,05
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	100µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	0,3
B (mm)	0,3
Material	COURE

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

Taula 3. 16. Paràmetres de procés dels experiment de la Fase 3

NOTA: Cal recordar que l'experimentació es desenvolupa a nivell micro, això provoca un canvi de l'elèctrode.

Un cop finalitzat l'experimentació, s'extreuen els primers resultats. Concretament, tal i com es pot veure en la Taula 3. 17, que es presenta a continuació, s'ha realitzat les mesures de desgast de l'elèctrode dels dos experiments i el temps que ha tardat el procés en finalitzar.

	Exp. 6.1	**Exp. 6.2**
Desgast (mm) X1 Y1	-0,006	-0,01
Temps que ha tardat	31 s	34 s

Taula 3. 17. Valors de desgast i duració de procés

Analitzant aquestes dues dades dels experiments, es pot apreciar com pel que fa al desgast no hi ha massa variació i s'aconsegueix un desgast de l'elèctrode molt petit d'entre 6 i 10µm. No obstant, pel que fa al temps que ha tardat, s'obtenen uns valors bastant significatius ja que es troben al voltant del mig minut de temps de treball. Això pot indicar que amb la introducció de la neteja el temps total del procés es vegi reduït.

A continuació, es presenta les gràfiques de profunditat i perfil, corresponentment mesurades, dels dos experiments d'aquesta fase 3. Així doncs pel primer experiment, s'obtenen els resultats següents:

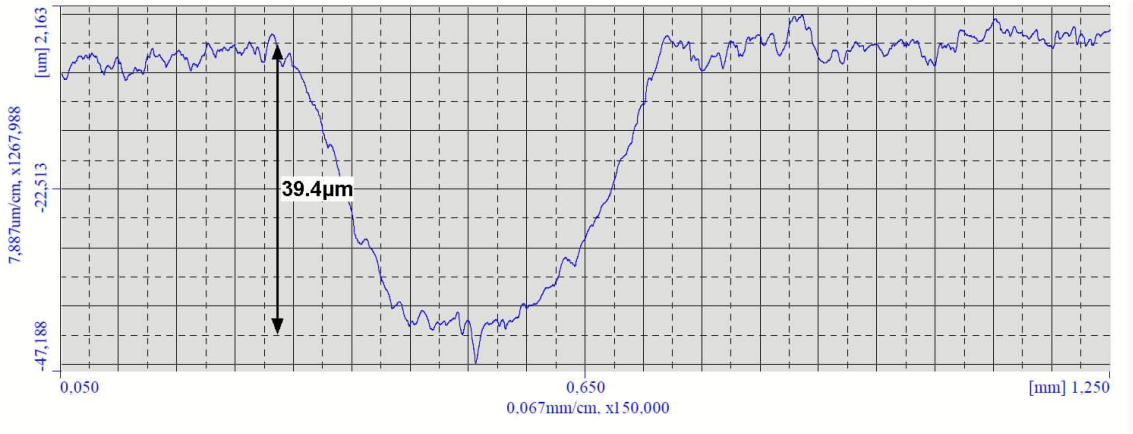


Figura 3. 21. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.1)

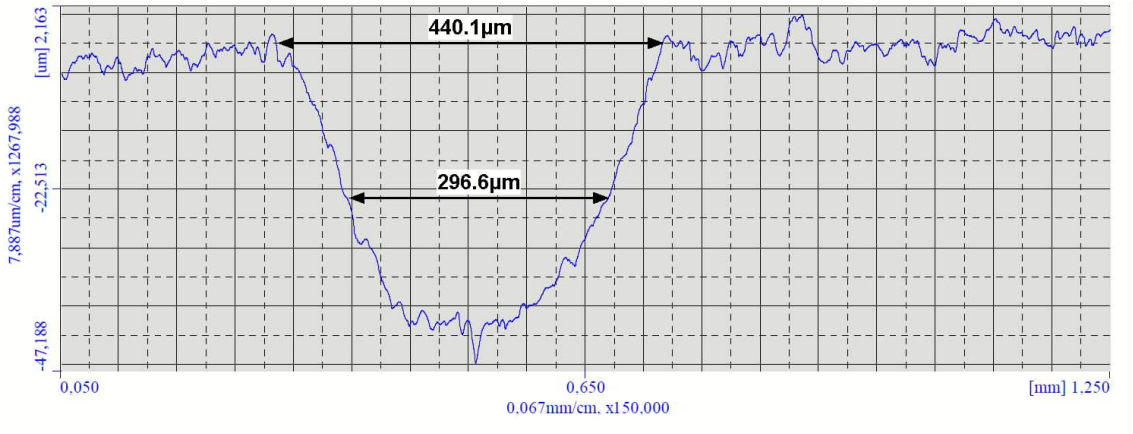


Figura 3. 22. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.1)

Anàlogament al primer experiment, es troben les gràfiques pertinents a la profunditat i perfil del segon. Aquestes són les següents:

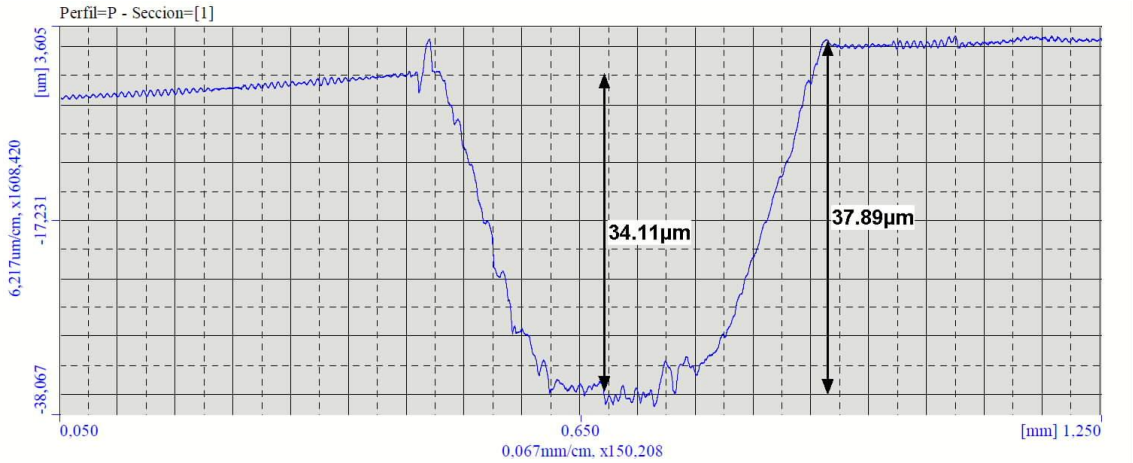


Figura 3. 23. Mesura de la profunditat de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.2)

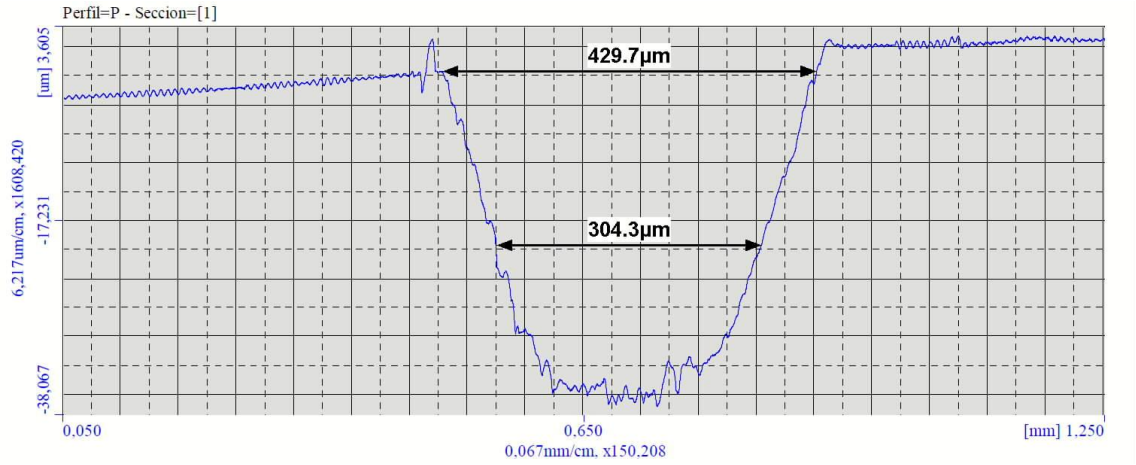


Figura 3. 24. Mesura del perfil de la cavitat obtinguda (EXPERIMENT 6.2)

Igual que en els assajos obtinguts en totes les fases, cal fixar-se en el desnivell present en la proveta. Centrant-nos en l'experiment en qüestió, continua sent visible l'arrodoniment en les cavitats provocant uns resultats dolents en els vèrtexs inferiors. No obstant, es pot apreciar que la qualitat superficial del fons de la cavitat ha estat bastant millorada amb la introducció de la neteja.

L'anàlisi tècnic pel que fa a la geometria de la cavitat es pot trobar a l' l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Estudi preliminar.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Un dels objectius de l'experiment era la utilització dels sortidors de neteja per tal de poder concentrar el líquid dielèctric en la zona de mecanització i així poder afavorir el procés i, conseqüentment, obtenir uns millors acabats. Després d'haver comprovat els resultats, es pot afirmar que la concentració de la neteja en la zona de mecanització afavoreix la qualitat superficial dels resultats finals.

3.5.CONCLUSIONS GLOBALS

En l'apartat d'Estudis Preliminars s'ha desenvolupat un tasca d'informació i investigació satisfactòria. S'han anat assolint tots el objectius particulars, concretament, es poden agrupar en els següents punts:

1. Amb la recerca prèvia i l'elaboració del manual bàsic d'utilització s'ha generat una familiarització amb la tecnologia fonamental pel desenvolupament del treball posterior.
2. Amb la realització de l'estudi del material per la fabricació de l'elèctrode, tenint en compte les limitacions, s'ha definit el material adequat pel procés.
3. Amb les fases de treball establertes, s'ha establert uns paràmetres del procés d'erosió. Dins aquest punt, s'ha anat identificant cada paràmetre i el rang de valors òptim per un bon resultat en la geometria de les cavitats. Al mateix temps, ha permès obtenir un punt de partida pels experiments finals destinats a la fabricació de les micro cavitats.

Així doncs, veient l'evolució obtinguda amb la totalitat dels experiments i, com que l'objectiu final d'aquest projecte és treballar amb escala micro, abans de començar a treballar amb l'experimentació final s'haurà de realitzar uns seguit de tasques per tal de solucionar alguns problemes apareguts en l'experimentació per així poder obtenir un bon acabat superficial i de la geometria de la cavitat.

1. En la proveta on es realitzi els assajos o experiments se li aplicarà un rectificat per així obtenir uns millors resultats.
2. S'hauran d'elaborar elèctrodes nous a nivell micro, per obtenir una millor geometria de la cavitat.

4. EXPERIMENTACIÓ FINAL

4.1. INTRODUCCIÓ

A mesura que s'ha anat obtenint els resultats en l'experimentació preliminar, s'ha pogut obtenir més informació sobre com opera aquesta tecnologia i quins resultats es poden obtenir. No obstant, es podria aprofundir molt més en els paràmetres i geometries diferents en futures investigacions.

Així doncs, en funció de les conclusions obtingudes en el transcurs de l'experimentació preliminar es decideix de realitzar les següents accions:

1. Realitzar un rectificat de les provetes d'acer obtingudes. Aquest primer pas permetrà poder assegurar que aquestes siguin totalment planes i es podrà descartar aquesta hipòtesi en els mals resultats. Al mateix temps l'acabat o qualitat superficial obtinguts serà exactament el que en proporciona la màquina un cop aplicat el procés.
2. Fabricar una gran quantitat d'elèctrodes nous per aquesta experimentació. Un cop fabricats i correctament mesurats, per tal d'obtenir un resultats més precisos.

Al mateix temps es realitzen un seguit de canvis a l'hora de realitzar els assajos que es comenten en el següent apartat.

4.2. DISSENY D'EXPERIMENTS

En aquest disseny d'experiments es pretén analitzar els elèctrodes fabricats i quins paràmetres seran els usats en l'experimentació. A diferència de l'experimentació preliminar, hi haurà paràmetres que s'hauran vist modificats per tal de poder facilitar el desenvolupament del procés i obtenir uns millors resultats.

4.2.1. ELÈCTRODES

Primerament, es realitzen un seguit d'elèctrodes nous amb la fresadora DECKEL MAHO 64V LINEAR del taller. Concretament, es realitzen 24 elèctrodes nous.

Seguidament, a nivell teòric i, tal i com s'ha pogut comprovar en l'apartat 3.2.2. Geometria de l'elèctrode, la geometria de l'elèctrode és un aspecte molt a tenir en compte. És per això que es decideix mantenir la geometria seleccionada pels casos d'escala micro, és a dir, es treballarà amb una geometria quadrada, però, per intentar obtenir uns millors resultats, s'augmentarà les seves dimensions fins a 400µm per cada costat.

Amb la fabricació d'aquests elèctrodes, es realitzarà una mesura de les seves dimensions tant de secció com de profunditat de cada elèctrode. A continuació, en la Figura 4. 1, s'adjunta una exemplificació de les mesures preses en cada elèctrode. En l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Experimentació final, es podran visualitzar totes les mesures extretes dels diferents elèctrodes que s'utilitzaran en anàlisis posteriors.

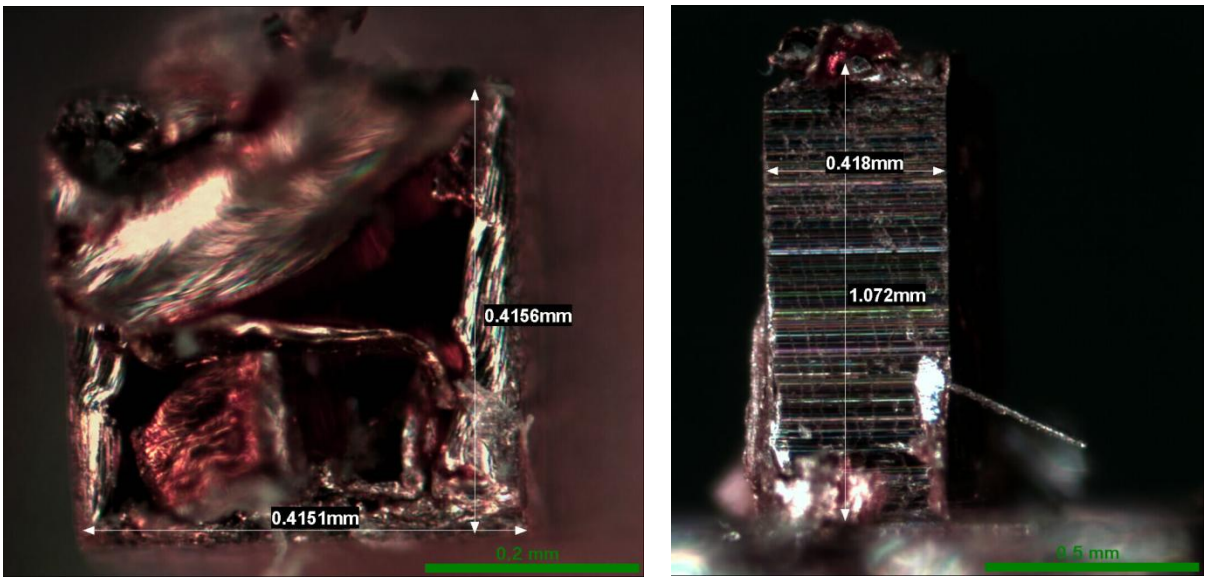


Figura 4. 1. Exemples de mesures en els elèctrodes (Secció i profunditat)

Així doncs, com a comentari general dels elèctrodes s'elabora la taula següent on es realitza un breu comentari dels resultats obtinguts en els elèctrodes, per així en l'anàlisi futur dels resultats, poder justificar millor el perquè dels resultats obtinguts. Tots aquests comentaris, de la fabricació dels elèctrodes, queden resumits en les taules següents:

Elèctrode núm.	X (horitzontal)	Y (vertical)	Comentaris
1	0,4120	0,4156	Molta rebava en la qualitat superficial
2	0,4229	0,4213	Molta rebava en la qualitat superficial
3	0,4062	0,4020	Molta rebava en la qualitat superficial
4	0,4161	0,4192	Molta rebava en la qualitat superficial
5	0,4156	0,4208	Molta rebava en la qualitat superficial
6	0,4099	0,4156	Superfície interior molt bona però amb lleugeres rebaves
7	0,4057	0,4041	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
8	0,4172	0,4162	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
9	0,4135	0,4057	Molta rebava en la qualitat superficial
10	0,4172	0,4109	Superfície interior molt bona però amb lleugeres rebaves
11	0,4188	0,4172	Molta rebava en la qualitat superficial
12	0,4057	0,4119	Molta rebava en la qualitat superficial
13	0,4172	0,4115	Molta rebava en la qualitat superficial
14	0,4094	0,4235	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
15	0,4198	0,4146	Molta rebava en la qualitat superficial
16	0,4047	0,4120	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
17	0,4115	0,4125	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
18	0,4224	0,4141	Molta rebava en la qualitat superficial
19	0,4198	0,4042	Superfície interior bona però amb moltes rebaves
20	0,4188	0,4172	Molta rebava en la qualitat superficial
21	0,4057	0,4182	Superfície interior molt bona però amb lleugeres rebaves
22	0,4172	0,4177	Molta rebava en la qualitat superficial
23	0,4177	0,4167	Molta rebava en la qualitat superficial
24	0,4167	0,4063	Molta rebava en la qualitat superficial

Taula 4. 1. Anàlisi qualitatiu de la secció obtinguda en els elèctrodes fabricats

Elèctrode núm.	Z		Comentaris
	Valor més petit	Valor més gran	
1	-	1,0720	Molta rebava en la zona de la secció i lleugera en la base
2	-	1,0130	Lleugera rebava en la zona de la secció i en la base
3	-	1,0170	Molta rebava en la zona de la secció i en la base
4	-	1,0340	Lleugera rebava en la zona de la secció i en la base
5	0,9380	1,0960	Escapçada en la part superior i quantitat lleugera de rebava en la secció i base
6	0,8420	0,8680	Lleugera rebava en la zona de la secció i en la base
7	-	0,9020	Lleugera rebava en la secció i molt mal acabat en els laterals prisme
8	-	0,9600	Molta rebava en la zona de la secció i en la base
9	0,8880	0,9260	Molta rebava en la zona de la secció i en la base
10	0,8630	0,9250	Lleugera rebava en la secció i molt mal acabat en els laterals prisme
11	0,8710	0,9390	Molta rebava en la zona de la secció i lleugera en la base
12	0,8790	0,9330	Molta rebava en la zona de la secció i lleugera en la base
13	0,8760	0,9650	Molta rebava en la zona de la secció i lleugera en la base
14	0,9500	1,0500	Molta rebava en la zona de la secció i lleugera en la base
15	0,8530	0,9560	Lleuger escaçament del vèrtex superior esquerre i molta rebava en la secció i lleugera en la base
16	-	0,8760	Lleugera rebava en la zona de la secció i en la base
17	-	0,9920	Lleugera rebava en la secció i molt mal acabat en els laterals prisme
18	0,9830	1,0390	Molta rebava en la secció, en la base i les parets laterals del prisme
19	-	0,8900	Lleugera rebava en la secció i molta en la base
20	0,9400	0,9940	Molta rebava en la secció i lleugera en les parets del prisme i base
21	-	0,9830	Lleugera rebava en la secció i molta en la base
22	0,9540	1,0160	Molta rebava en la zona de la secció i en la base
23	0,9420	1,0030	Molta rebava en la zona de la secció i en la base. Irregularitats en les parets del prisme
24	-	0,9630	Molta rebava en la zona de la secció i en la base

Taula 4. 2. Anàlisi qualitatiu de la profunditat obtinguda en els elèctrodes fabricats

Com a conclusió, comentar que, amb el breu anàlisi qualitatiu representat en la Taula 4. 1 i Taula 4. 2 i, l'anàlisi quantitatiu, representat en les mesures pot intuir que alguns resultats no seran els més esperats. A més a més, comentar que en línia general es pot comprovar la presència de bastant nivell de rebava en les seccions dels elèctrodes. Per això, per intentar obtenir uns experiments amb els millors resultats possibles, es realitzaran dos experiments amb cada elèctrode, on el primer ens servirà per poder eliminar la rebava existent i l'altre, per poder obtenir una geometria més acurada.

4.2.2. PARÀMETRES DE PROCÉS

Un cop obtinguts els elèctrodes amb els que es treballarà s'ha de procedir a la selecció dels paràmetres dels procés. Al llarg de tots l'experimentació preliminar s'ha pogut determinar uns paràmetres adequats pels assajos a escala micro. No obstant, hi ha uns valors que condicionen molt el resultats a obtenir. Per tant, en la selecció d'aquests, utilitzant una metodologia semblant a la usada en l'experimentació preliminar, es realitzarà un anàlisi estadístic aleatori. Concretament, en la Taula 4. 3, es pot apreciar les variables de control que s'han seleccionat en l'anàlisi i el seu rang de valors seleccionats.

VARIABLES A CONTROLAR EN L'ANÀLISI ESTADÍSTIC				
VOLTATGE (V)	-200	-120	120	200
INTENSITAT (A)	1		2	
TEMPS DE PAUSA (ms)	1,6	3,2	4,8	-
SELECCIÓ ALEATÒRIA DE CADA ELÈCTRODE FABRICAT				

Taula 4. 3. Variables usades en l'anàlisi estadístic

Addicionalment, s'enumeren els 24 elèctrodes fabricats. D'aquesta manera, s'intenta introduir aquesta dada dins l'anàlisi estadístic, fent que l'ordre de selecció de cada elèctrode segueixi també una aleatorietat.

Així doncs, un cop realitzat l'anàlisi estadístic per tal de donar una aleatorietat al conjunt de dades del procés, s'obtenen 24 experiments pels 24 elèctrodes fabricats. A continuació, en la Taula 4. 4 es pot evidenciar la totalitat dels paràmetres de cada experiment.

		Experiment nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Ordre aleatori	12	4	20	21	23	5	22	17	14	24	16	6
Intensity	I	A	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1
Ionisation Voltage	V	V	200	-120	120	120	200	-120	200	-120	-200	200	-120	-120
Pulse on-time	Ti	microsegons	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Pulse off-time	To	microsegons	4,8	1,6	3,2	4,8	3,2	3,2	1,6	3,2	3,2	4,8	1,6	4,8
Capacitors	C		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Nivel de seguridad	NS		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Reference parameter for	V	volts	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Return time	Tiemps de retrocés	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Work time	Temps de treball	s	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Wear value	V% vol.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Removal rate capactie	V w	mm^3/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roughning	GAP	micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finishing/pressure flushing		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finishing/aspiration flushing		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosion with orbitals		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Experiment nº	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Ordre aleatori	8	15	1	19	18	9	13	3	2	11	7	10
Intensity	I	A	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1
Ionisation Voltage	V	V	120	-200	-200	120	-120	120	-200	-200	-200	200	120	200
Pulse on-time	Ti	microsegons	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Pulse off-time	To	microsegons	3,2	4,8	1,6	1,6	4,8	4,8	1,6	4,8	3,2	3,2	1,6	1,6
Capacitors	C		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Nivel de seguridad	NS		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Reference parameter for	V	volts	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Return time	Tiemps de retrocés	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Work time	Temps de treball	s	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Wear value	V% vol.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Removal rate capactie	V w	mm^3/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roughning	GAP	micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finishing/pressure flushing		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finishing/aspiration flushing		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosion with orbitals		micras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Taula 4. 4. Paràmetres dels experiments finals en els 24 elèctrodes fabricats.

A més a més, veient que moltes de les dades a introduir en cada experimentació eren del mateix valor, s'ha creat un programa en el qual es simplifica l'entrada dels valors a la màquina electroerosionadora. En l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Experimentació final, es podrà trobar el programa que s'usa en cada experiment i quins són els paràmetres que es modifiquen i els que no, en cadascun.

4.3. RESULTATS

4.3.1. TAULES DE RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ

Com que es tracta de molts experiments i es disposa d'una proveta de 25,1x12,3mm, serà necessari utilitzar dues provetes d'acer, ja que, com s'ha comentant en l'apartat 4.2.1. ELÈCTRODES, es realitzaran dos vegades el mateix experiment. En aquestes provetes es poden veure tots els assajos obtinguts.

PROVETA NÚM. 1

Primerament, un cop finalitzat cada experiment, es realitza una presa de dades de l'experiment. Concretament, són el desgast de l'elèctrode, el temps que dura l'experiment i el temps que s'inverteix en realitzar els orbitals quadrats. Aquestes dades serviran per poder detectar a primera vista la validesa dels experiments. Així doncs, en la Taula 4. 5 es recullen totes les dades anteriors en funció de l'elèctrode usat.

					Y = 5 mm	
EXPERIMENT NUM.	**ELECTRODE USAT**	**DESGAST**	**TEMPS EXPERIMENT**	**TEMPS ORBITALS**	**COLUMNA 1**	
1	12	-0,107	2 min 50 s	-	Inici X = 5 mm	-
2	12	-0,102	4 min 16 s	2 min 8 s	1 mm	6 mm
3	4	-0,113	9 min 15 s	7 min 7s	2 mm	7 mm
4	4	-0,112	6 min 40 s	6 min	3 mm	8 mm
5	20	-0,110	2 min 47 s	1 min 23 s	4 mm	9 mm
6	20	-0,121	4 s	1 s	5 mm	10 mm
7	20	-0,102	5 s	2 s	6 mm	11 mm
8	21	-0,107	7 min 8 s	3 min 26 s	7 mm	12 mm
9	21	-0,113	32 s	27 s	8 mm	13 mm
10	21	-0,105	5 s	1 s	9 mm	14 mm
11	23	-0,113	2 min 3 s	1 min 9 s	10 mm	15 mm
12	23	-0,125	32 s	27 s	11 mm	16 mm
13	23	-0,14	5 s	1 s	12 mm	17 mm
14	5	-0,071	30 min 43 s	18 min 9 s	13 mm	18 mm
15	5	-0,131	6 s	1 s	14 mm	19 mm
16	5	-0,069	41 min 52 s	20 min 5 s	15 mm	20 mm
					Y = 7,3 mm	
EXPERIMENT NUM.	**ELECTRODE USAT**	**DESGAST**	**TEMPS EXPERIMENT**	**TEMPS ORBITALS**	**COLUMNA 2**	
17	22	-0,102	3 min 52 s	2 min 2 s	Inici X = 5 mm	-
18	22	-0,073	5 min 28 s	3 min 16 s	1 mm	6 mm
19	17	-0,122	8 min 28 s	1 min 37 s	2 mm	7 mm
20	17	-0,108	33 min 20 s	25 min 30 s	3 mm	8 mm
21	14	-0,104	11 min 34 s	7 min 18 s	4 mm	9 mm
22	14	-0,11	52 min 4 s	41 min 19 s	5 mm	10 mm
23	24	-0,096	6 min 1 s	2 min 3 s	6 mm	11 mm
24	24	-0,05	6 min 36 s	4 min 42 s	7 mm	12 mm
25	16	-0,109	46 min 43 s	35 min 8 s	8 mm	13 mm
26	16	-0,111	4 h 30 min 18s	4h 8 min 35 s	9 mm	14 mm

Taula 4. 5. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 1

A simple vista es pot comprovar que hi ha alguns valors obtinguts que no són coherents. Tal i com es pot comprovar a la Taula 4. 5, quan es realitza el segon experiment de diferents elèctrodes, els elèctrodes 20, 21, 23 i 5, s'obtenen resultats incoherents pel que fa a la durada del procés ja que tenen durades molt reduïdes. D'aquesta manera es pot deduir de que no es realitza el procés amb normalitat o que simplement no es realitza. No obstant, per tal de poder visionar amb més claredat aquest succés, s'hauria d'analitzar particularment que passa en aquests casos. Al mateix temps, en l'anàlisi de resultats posterior, un altre resultat a tenir en compte seria en l'experiment 25 i 26 de l'elèctrode 16, ja que té una durada de procés molt elevat en comparació amb la resta.

NOTA: Els valors de les dos últimes columnes són els punts de la proveta en els quals s'ha efectuat l'experiment.

A continuació, en la Figura 4. 2, es pot apreciar la proveta número 1 amb la totalitat dels experiments que s'han realitzat.

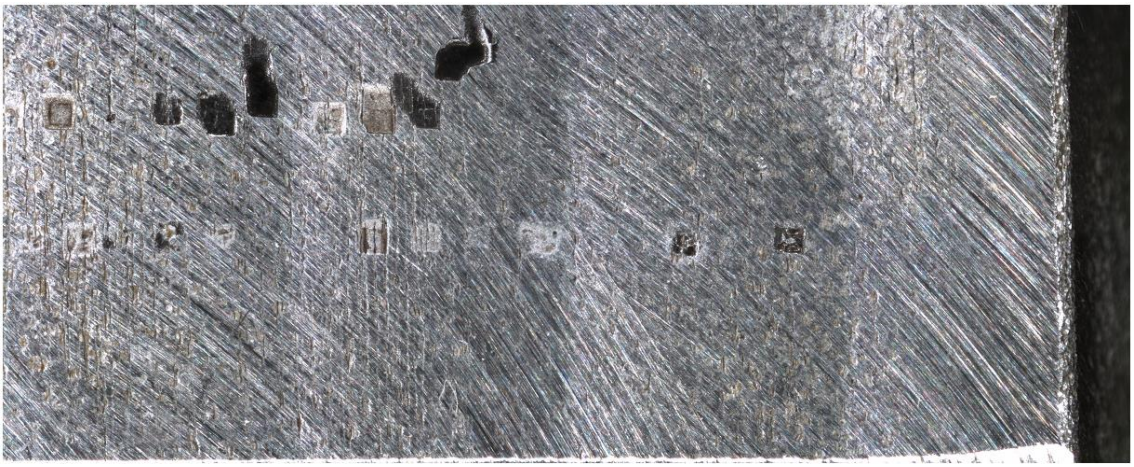


Figura 4. 2. Vista general amb la totalitat dels experiments.

Tal i com es pot apreciar en la Figura 4. 2, no es visualitza correctament els resultats dels experiments. Per tant, es decideix de repetir una vegada tots els experiments en una proveta nova per tal de poder tenir uns resultats vàlids. Així doncs, en l'apartat 4.3.1.a. REPETICIÓ DELS EXPERIMENTS NO VÀLIDS, es podrà visualitzar la nova proveta 3 amb els experiments repetits.

PROVETA NÚM. 2

Seguint la metodologia usada en la proveta 1, es realitza la primera presa de dades de l'experimentació de desgast de l'elèctrode, temps de duració de l'experiment i temps de duració dels orbitals. Igualment que en el cas anterior, servirà com a primer anàlisi. Així doncs, en la Taula 4. 6, es recullen totes les dades anteriors en funció de l'elèctrode usat.

					Y = 5 mm	
EXPERIMENT NUM.	ELECTRODE USAT	DESGAST	TEMPS EXPERIMENT	TEMPS ORBITALS	COLUMNA 1	
1	6	-0,104	16 min 42 s	11 min 24 s	Inici X = 5 mm	-
2	6	-0,114	2h 40 min 6 s	-	1 mm	6 mm
3	8	-0,111	1 min 38 s	1 min 24 s	5 mm	10 mm
4	8	-0,072	10 min 7 s	3 min 16 s	3 mm	11 mm
5	15	-0,106	9 min 42 s	6 min 36 s	4 mm	12 mm
6	15	-0,101	17 min 56 s	6 min 11 s	5 mm	13 mm
7	1	-0,100	10 min 8 s	4 min 48 s	6 mm	15 mm
8	1	-0,032	26 min 40 s	16 min 11 s	7 mm	16,5 mm
9	19	-0,095	7 min 23 s	2 min 32 s	8 mm	17,5 mm
10	19	-0,036	10 min 34 s	6 min 18 s	9 mm	18,5 mm
11	18	-0,64	1 h 2 min 2 s	39 min 18 s	10 mm	20 mm
12	18	-0,022	1 h 3 min 17 s	43 min 50 s	11 mm	21 mm
					Y = 7,3 mm	
EXPERIMENT NUM.	ELECTRODE USAT	DESGAST	TEMPS EXPERIMENT	TEMPS ORBITALS	COLUMNA 2	
13	9	-0,108	3 min 48 s	1 min 46 s	Inici X = 5 mm	-
14	9	-0,120	8 min 8 s	2 min 56 s	1 mm	6 mm
15	13	-0,105	8 min 46 s	4 min 41 s	2 mm	7 mm
16	13	-0,126	13 min 30 s	6 min 19 s	3 mm	8 mm
17	3	-0,105	7 min 12 s	4 min 28 s	4 mm	9 mm
18	3	-0,069	20 min 54 s	12 min 18 s	5 mm	10 mm
19	2	-0,081	14 min 39 s	5 min 53 s	6 mm	11 mm
20	2	-0,035	19 min 53 s	10 min 12 s	7 mm	12 mm
21	11	-0,109	2 min 14 s	1 min 19 s	8 mm	13 mm
22	11	-0,109	3 min 29 s	1 min 29 s	9 mm	14 mm
23	7	-0,102	6 min 36 s	2 min 12 s	10 mm	15 mm
24	7	-0,112	10 min 41 s	6 min 26 s	11 mm	16 mm
25	10	-0,058	6 min 54 s	3 min 54 s	12 mm	17 mm
26	10	-0,114	4 min 35 s	3 min 10 s	13 mm	18 mm

Taula 4. 6. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 2

Igual que en la proveta anterior, hi ha alguns valors que són diferents dels altres. Aquests són els experiments 2 (Elèctrode 6), 11 i 12 (Elèctrode 18). Tal i com es pot apreciar en la Taula 4. 6 s'obtenen un procés molt llarg en comparació amb la resta.

A continuació, en la Figura 4. 3, es pot apreciar la proveta número 2 amb la totalitat dels experiments que s'han realitzat.

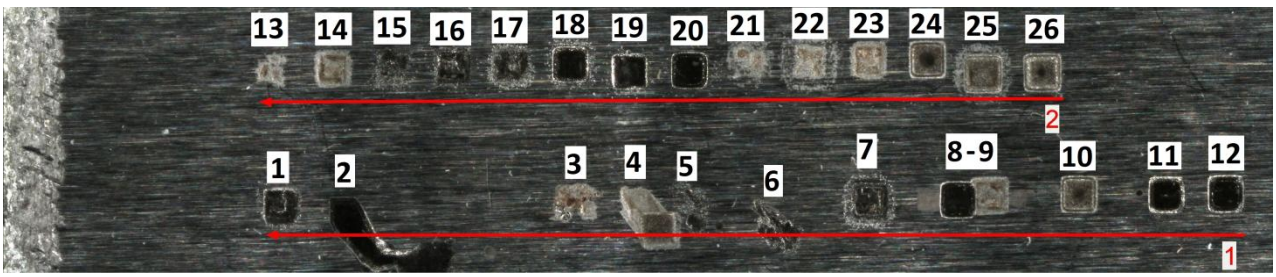


Figura 4. 3. Vista general amb la totalitat dels experiments.

No obstant, veient els resultats obtinguts, a simple vista es pot identificar que, hi ha alguns experiments el quals es donaran com a bons i d'altres que es creu oportú repetir. Tot això queda recollit en la taula següent:

Resultats de l'experimentació		
Vàlids	**Necessari repetir**	
Elèctrodes núm.	**Elèctrodes núm.**	
19	6	13
18	8	3
2	15	11
10	1	7
-	9	

Taula 4. 7. Resultats vàlids i no vàlids en funció dels elèctrodes

4.3.1.a. REPETICIÓ DELS EXPERIMENTS NO VÀLIDS

Tal i com s'ha comentat en l'apartat anterior, 4.3.1. TAULES DE RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ, hi ha uns experiments que s'han repetit per tal de poder obtenir un bon resultat i un correcte anàlisi. Aquests es troben recollits en la taula següent en funció de la proveta i l'elèctrode.

Resultats de l'experimentació	
Necessari repetir	
Proveta 1	**Proveta 2**
6	12
8	4
15	20
1	21
9	23
13	5
3	22
11	17
7	14
	24
	16

Taula 4. 8. Experiments a repetir en funció de l'elèctrode

Seguint la metodologia usada en les altres provetes, s'han pres les dades de l'experimentació de desgast de l'elèctrode, temps de duració de l'experiment i temps de duració dels orbitals. Així doncs, en la Taula 4. 9, es recullen totes les dades anteriors en funció de l'elèctrode usat.

					Y = 3 mm	
EXPERIMENT NUM.	ELECTRODE USAT	DESGAST	TEMPS EXPERIMENT	TEMPS ORBITALS	COLUMNA 1	
1	6	-	-	-	Inici X = 3 mm	-
2	8	-0,037	10 min 34 s	6 min 29 s	1 mm	4 mm
3	15	-	5 min 59 s	5 min 56 s	2 mm	5 mm
4	1	-0,036	27 min 25 s	18 min 9 s	3 mm	6 mm
5	9	-0,051	11 min 4 s	6 min 25 s	4 mm	7 mm
6	13	-0,050	25 min 19 s	16 min 1 s	5 mm	8 mm
7	3	-0,020	26 min 37 s	18 min 6 s	6 mm	9 mm
8	11	-0,066	20 min 9 s	12 min 34 s	7 mm	10 mm
					Y = 5 mm	
EXPERIMENT NUM.	ELECTRODE USAT	DESGAST	TEMPS EXPERIMENT	TEMPS ORBITALS	COLUMNA 1	
9	7	-0,043	9 min 18 s	5 min 34 s	Inici X = 3 mm	-
					Y = 6 mm	
EXPERIMENT NUM.	ELECTRODE USAT	DESGAST	TEMPS EXPERIMENT	TEMPS ORBITALS	COLUMNA 2	
10	12	-	-	-	Inici X = 4 mm	-
11	4	-0,089	37 min 10 s	23 min 18 s	1 mm	5 mm
12	20	-0,093	9 min 39 s	4 min 27 s	2 mm	6 mm
13	21	-0,038	11 min 49 s	7 min 18 s	3 mm	7 mm
14	23	-0,067	6min 2 s	3 min 29 s	4 mm	8 mm
15	5	-0,061	45min 35 s	33 min 23 s	5 mm	9 mm
16	22	-0,028	5 min	3 min 18 s	6 mm	10 mm
17	17	-0,031	1 h 5 min 45 s	46 min 45 s	7 mm	11 mm
18	14	-0,107	20 min 21 s	9 min 56 s	8 mm	12 mm
19	24	-0,027	4 min 6 s	2 min 42 s	9 mm	13 mm
20	16	-0,006	1 h 12 min 57 s	51 min 38 s	10 mm	14 mm
21	12	-0,034	3 min 54 s	2 min 40 s	11 mm	15 mm

Taula 4. 9. Valors de desgast, temps experiment i orbitals de la proveta número 3

NOTA: L'experiment marcat de la Taula 4. 9 amb color rosa es va repetir novament al final.

Com a primer anàlisi, es pot comprovar que els resultats obtinguts són considerablement millors als obtinguts en els altres experiments. Això es fa palès a la Figura 4. 4, on hi ha una vista general de la proveta 3 amb tots els experiments repetits numerats, per la fàcil identificació de cadascun.

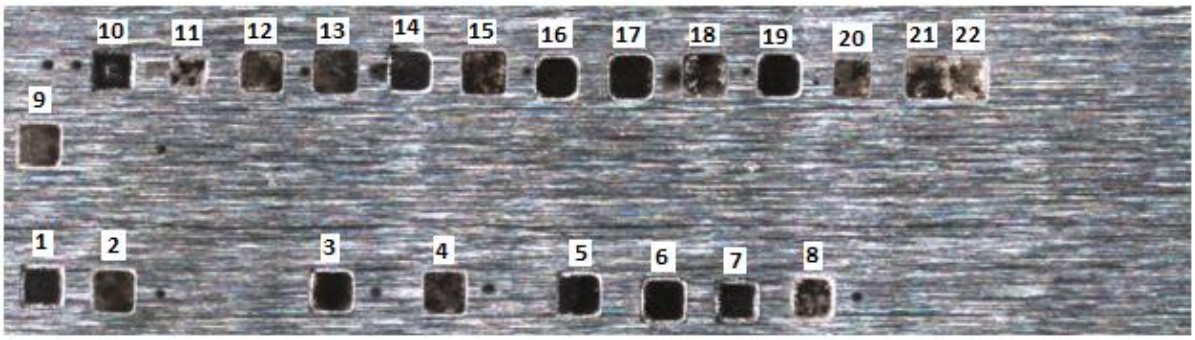


Figura 4. 4. Vista general amb la totalitat dels experiments.

4.3.2. MESURES DE LES CAVITATS

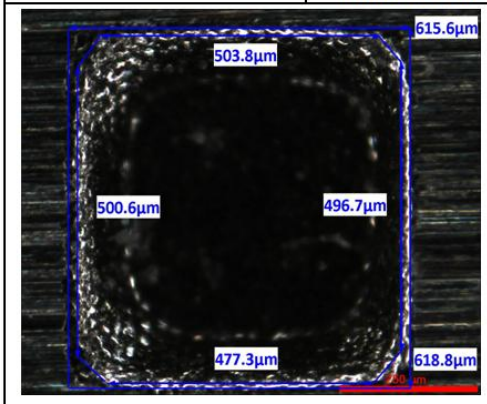
Tal i com es podrà comprovar en els subapartats que es presenten a continuació, es divideixen les mesures del resultats obtinguts per secció i perfils i profunditats. D'aquesta manera podrem apreciar quins experiments de cada proveta proporcionen un millor acabat per cadascuna de les diferents categories.

4.3.2.a. SECCIÓ

L'objectiu d'aquest subapartat és poder visualitzar quin resultat és l'obtingut pel que fa a la geometria obtinguda després de l'experimentació. Es tracta de poder observar si s'obté una geometria quadrada o no, i quines són les mesures obtingudes.

En l'apartat 4.3.1. TAULES DE RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ, s'ha realitzat una primera tria dels experiments que presenten un bon acabat a simple vista. Així doncs, es realitzen les mesures d'aquests experiments. Com que resulten ser molts en les dues provetes, al voltant de 40, s'ha seleccionat una mostra il·lustrativa identificativa de cada proveta la qual es pot analitzar en les taules que es presenten a continuació. A més a més, en l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Experimentació final, es disposa de la totalitat dels experiments mesurats, pel que fa a les mesures de secció.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	12



Comentari:

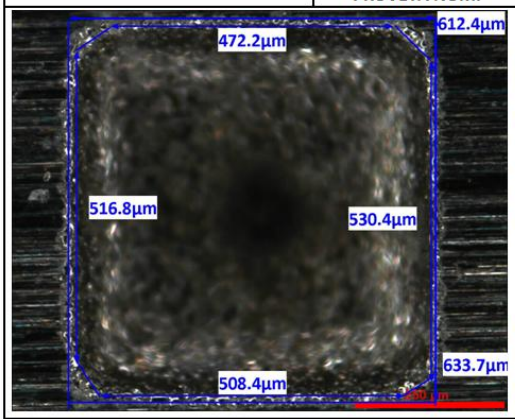
En l'experiment 2.12, tal i com es pot apreciar en la figura del requadre del costat, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. Pel que fa a les mesures aproximades realitzades, s'acosten als valors desitjats tot i poder observar un cert arrodoniment en els vèrtex. Concretament, veiem al voltant de 615µm en el costat horitzontal i unes 618µm en el vertical. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones, al voltant d'unes 500µm.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs, es pot dir que es tracta d'un bon resultat. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats.

Figura 4. 5. Resultat de la secció de l'experiment 12 de la proveta 2

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	26



Comentari:

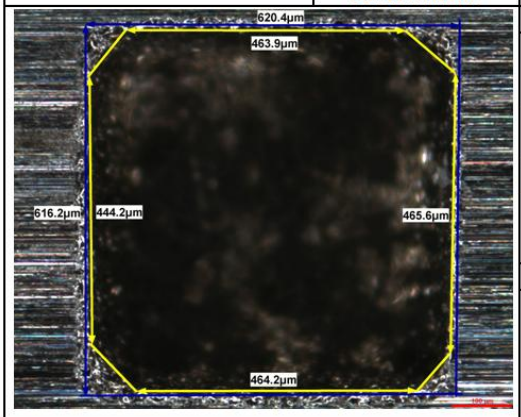
En l'experiment 2.26, tal i com es pot apreciar en la figura del requadre del costat, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. Pel que fa al fons de la cavitat, a simple, vista proporciona una qualitat superficial bastant acceptable. En les mesures aproximades realitzades, aquestes s'acosten als valors teòrics desitjats, tot i tenir un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada. Concretament, pel que fa referència als valors obtinguts, es pot apreciar al voltant de 612µm en el costat horitzontal i unes 633µm en el vertical. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones, superant les 500µm exceptuant un costat de la cavitat quadrada.

Conclusió particular:

Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat quadrada, aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. És el que proporciona uns valors mesurats més pròxims al teòric. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats. En experiències futures serien els valors amb el quals es continuaria treballant

Figura 4. 6. Resultat de la secció de l'experiment 26 de la proveta 2

PROVETA NÚM.	3		EXPERIMENT NÚM.	15	



Comentari:

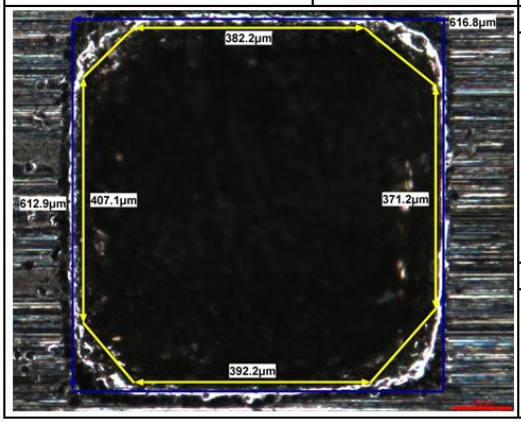
En l'experiment 3.15, es pot apreciar un bon acabat pel que fa a la geometria de la secció. Tot i tenir un cert arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat realitzada, s'obtenen uns valors molt pròxims als esperats, concretament, d'unes 620µm pel costat hortizontal i d'unes 616µm en el vertical. Al mateix temps, en el fons de la cavitat, a simple vista, té una bona qualitat superficial. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones.

Conclusió particular:

Encara que es pugui veure un cert arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada, aquest experiment s'adequa bastant a les condicions esperades, establertes inicialment. Proporciona uns valors mesurats pròxims al teòric. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment provoquen uns bons resultats.

Figura 4. 7.Resultat de la secció de l'experiment 15 de la proveta 3

PROVETA NÚM.	3		EXPERIMENT NÚM.	17	



Comentari:

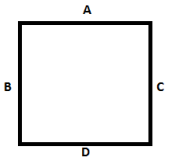
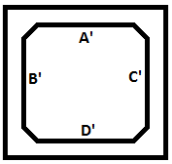
En l'experiment 3.17, tal i com es pot apreciar en els resultats obtinguts, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. En les mesures aproximades realitzades, s'acosten al valor teòric desitjat de 600µm, tot i tenir un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada. Concretament, pel que fa referència als valors obtinguts, es pot apreciar al voltant de 618µm en el costat horitzontal i unes 613µm en el vertical. Pel que fa al fons de la cavitat, a simple, vista proporciona una qualitat superficial bastant acceptable. A més a més, les mesures extretes dels costats (color groc), sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant correctes, tot i que s'hauria d'augmentar aquests valors, permetent així disposar d'un menor arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat.

Conclusió particular:

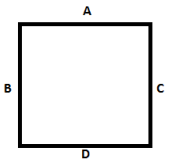
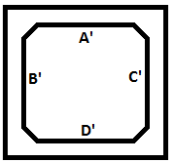
En aquest experiment, tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat quadrada, s'adequa bastant bé a la geometria quadrada desitjada. A més, proporciona uns valors mesurats pròxims al valor teòric de 600µm, establert inicialment. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment provoquen uns bons resultats.

Figura 4. 8. Resultat de la secció de l'experiment 17 de la proveta 3

Addicionalment, en les Taula 4. 10 i Taula 4. 11, que es presenten a continuació, es realitza un recull de tots els valors mesurats de tots els experiments agrupats en les diferents provetes 2 i 3.

PROVETA 2 (mesures en µm)								
Exp. Núm.	**A**	**B**	**C**	**D**	**A'**	**B'**	**C'**	**D'**
2.1	571,7	-	598,2	-	-	-	-	-
2.2	677,6	-	436	424,4	-	-	-	-
2.4	-	584,7	-	-	530,4	-	-	-
2.7	577,5	-	569,1	-	-	-	-	-
2.8	587,9	613,7	-	-	439,3	397,3	461,2	421,2
2.10	605,9	-	616,2	-	445.7	456,7	436	481,9
2.11	606,6	-	610,5	-	463,2	466,4	530,4	467,1
2.12	615,6	-	618,8	-	503,8	500,6	496,7	477,3
2.14	591,7	-	615	-	416,7	427,7	406,4	437,4
2.16	594,3	-	609,2	-	-	-	-	-
2.18	611,1	-	611,1	-	504,5	458,7	459,3	423,8
2.19	620,8	-	611,1	-	506,5	474,2	483,2	474,8
2.20	620,2	-	611,8	-	403,8	420,6	476,2	486,6
2.23	609,8	-	614,3	-	-	-	-	-
2.24	616,9	-	623,4	-	439,9	480,6	469,6	518,7
2.25	618,9	-	617,6	-	528,4	492,9	506,5	505,8
2.26	612,4	-	633,7	-	472,2	516,8	530,4	508,4

Taula 4. 10. Valors de les mesures de secció realitzades en els experiments de la proveta 2

PROVETA 3 (mesures en µm)								
Exp. Núm.	**A**	**B**	**C**	**D**	**A'**	**B'**	**C'**	**D'**
3.1	599,7	609,7	609,4	605,2	446,8	442,3	440	449,4
3.2	590,9	594,2	594,5	591,5	384,5	416,1	378	386,1
3.3	596,9	587,3	587	597,9	313,2	287,7	252,5	221,6
3.4	581	585,8	585,8	582,3	-	-	-	-
3.5	606,8	599	598	608,4	-	-	-	-
3.6	598,7	620,6	599,5	618,7	372,7	373,7	357,2	338,1
3.7	599,5	585,2	585,2	601,4	458,3	444,1	445,1	459,6
3.8	591,3	593,6	592,6	591,6	312,9	348,1	341	325,2
3.9	580	589	590,3	580,1	-	-	-	-
3.10	569,9	-	581,9	-	246,6	-	247,6	-
3.12	577,5	582,4	585,6	576,9	-	-	-	-
3.13	615,9	604,3	601,2	612	-	-	-	-
3.14	590,4	581,5	578,6	593,4	480	581,5	305,1	440,5
3.15	620,4	616,2	-	-	463,9	444,2	465,6	464,2
3.16	609,6	599,6	-	-	368,3	266	292,5	367,3
3.17	618,8	612,9	-	-	382,2	407,1	371,2	392,2
3.18	593,1	598,5	594,3	601,4	-	-	-	-
3.19	584,6	608,6	600,6	598,7	-	-	-	-
3.20	486,2	497,8	505,4	498,4	-	-	-	-
3.21	570,9	606,6	605,6	570,3	-	-	-	-
3.22	551,3	608,2	594,2	559,2	-	-	-	-

Taula 4. 11. Valors de les mesures de secció realitzades en els experiments de la proveta 3

Com es pot apreciar en les Taula 4. 10 i Taula 4. 11 no s'obtenen el mateix tipus de mesura en tots els experiments, és a dir, hi ha experiments on estan molt clares les mesures i en d'altres, que per la presència de l'arrodoniment o per la mala generació de guspires, les mesures es veuen modificades. No obstant, s'ha seguit un criteri de realitzar una mesura aproximada de la cavitat

general i una altra per l'arrodoniment. En la capçalera de les mateixes Taula 4. 10 i Taula 4. 11, hi ha un dibuix il·lustratiu del procediment emprat.

4.3.2.b. RUGOSITAT DE PERFILS I PROFUNDITATS

Tot i obtenir molta informació de les seccions mesurades en l'apartat anterior, un altre punt d'estudi fixat és el perfil i la profunditat de la cavitat. Per això, s'ha elaborat una anàlisi similar a l'usat per les seccions, per poder determinar el perfil i la profunditat de la totalitat del experiments. Igual que en l'anterior apartat, es selecciona algun dels anàlisis realitzats. Al mateix temps, en l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Experimentació final, es disposa de la totalitat dels experiments mesurats segons aquest criteri. Així doncs, en les figures que es presenten a continuació es podrà apreciar les mesures.

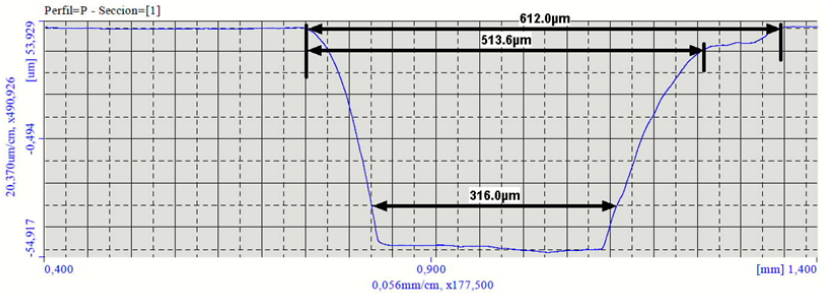
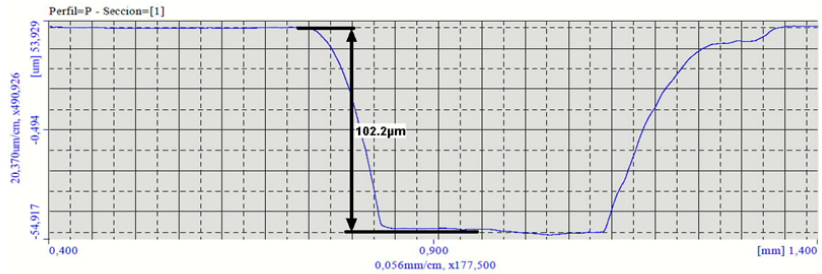
	PROVETA NÚM.	2		EXPERIMENT NÚM.	12	
AMPLADA					Comentari:	
					En l'experiment 2.12 es pot veure com s'obté una geometria de la cavitat bastant ben definida. No obstant, en els extrems de la cavitat hi ha un arrodoniment, fet que provoca que la mesura en la part superior sigui superior que en el fons de la cavitat. La mesura en la part superior resulta bastant bona, ja que mesura unes 612µm, per les 316µm del fons de la cavitat. Aquest arrodoniment és més important en la part dreta del perfil obtingut. Aquest mal perfil de la cavitat ve provocat per l'elèctrode, el qual deu acumular una rebava o viruta que faci que no es generi el perfil desitjat.	
PROFUNDITAT					Comentari:	
					En la gràfica de profunditat es pot apreciar un molt bon resultat. En els paràmetres de procés introduïts en la màquina electroerosionadora, s'havia introduït un valor teòric de profunditat de 100µm. Tal i com es pot veure en la gràfica, s'obté una mesura d'unes 102µm de profunditat, un valor molt correcte.	

Figura 4. 9. Resultat del perfil de l'experiment 12 de la proveta 2

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	26

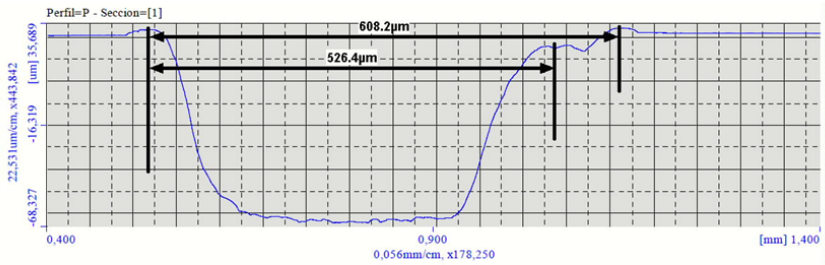
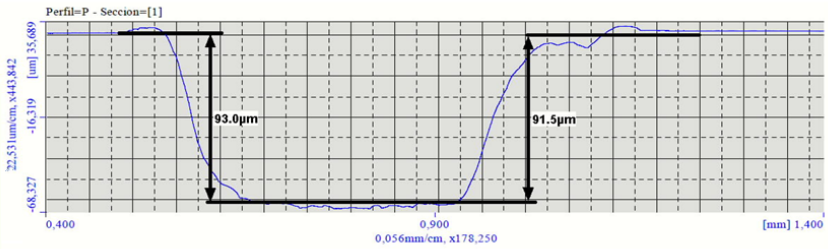
AMPLADA	Comentari:
	En l'experiment 2.26 es pot veure com s'obté una geometria de la cavitat bastant definida. No obstant, en els extrems de la cavitat, tant inferiors com superiors, hi ha un arrodoniment, fet que provoca que la mesura en la part superior sigui diferent que en el fons de la cavitat. La mesura en la part superior resulta bastant bona, ja que mesura unes 608µm, però tot i així, amb aquest error provocat per l'arrodoniment, s'obté una cavitat d'amplada inferior a l'esperada de 600µm. Aquest arrodoniment és més important en la part dreta del perfil obtingut. Aquest mal perfil de la cavitat ve provocat per l'elèctrode, el qual deu acumular una rebava o viruta que faci que no es generi el perfil desitjat.
PROFUNDITAT	**Comentari:**
	En la gràfica de profunditat es pot apreciar un bon resultat. El paràmetre de procés teòric era de 100µm. Tal i com es pot veure en la gràfica, s'obté una mesura d'unes 93µm de profunditat pel costat esquerre i d'unes 91µm, per l'altre. Així doncs, els valors obtinguts són bastant bons ja que només diferencia d'unes 7 o 8µm del valor teòric.

Figura 4. 10. Resultat del perfil de l'experiment 26 de la proveta 2

PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	15

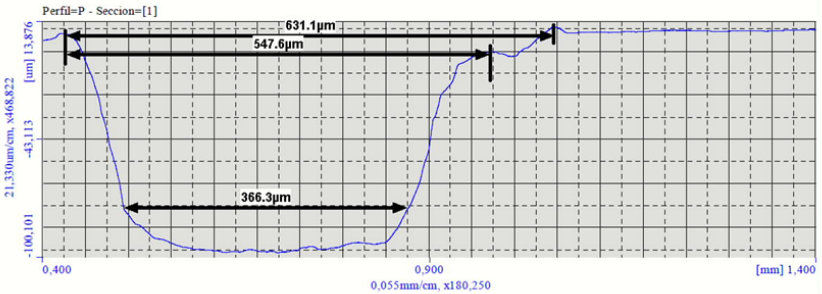
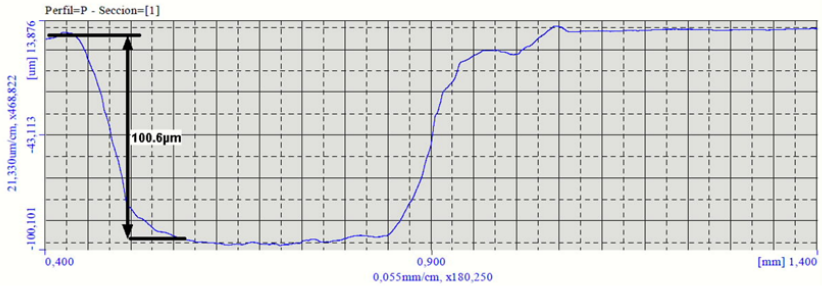
AMPLADA	Comentari:
	En l'experiment 3.15 es pot veure com s'obté una geometria de la cavitat força definida. No obstant, hi ha un arrodoniment en els extrems de la cavitat, fet que provoca que la mesura en la part superior sigui superior que en el fons de la cavitat. La mesura en la part superior resulta bastant bona, ja que mesura unes 631µm, en canvi, el fons de la cavigtat mesura unes 366µm. Aquest arrodoniment és més important en la part dreta de la gràfica obtinguda. Aquest mal perfil de la cavitat ve provocat per l'elèctrode, el qual deu acumular una rebava o viruta que faci que no es generi el perfil desitjat.
PROFUNDITAT	**Comentari:**
	En la gràfica de profunditat es pot apreciar un molt bon resultat. En els paràmetres de procés teòrics, s'havia establert un valor de profunditat de 100µm. Tal i com es pot veure en la gràfica, s'obté una mesura de 100,6µm de profunditat, un valor molt correcte.

Figura 4. 11. Resultat del perfil de l'experiment 15 de la proveta 3

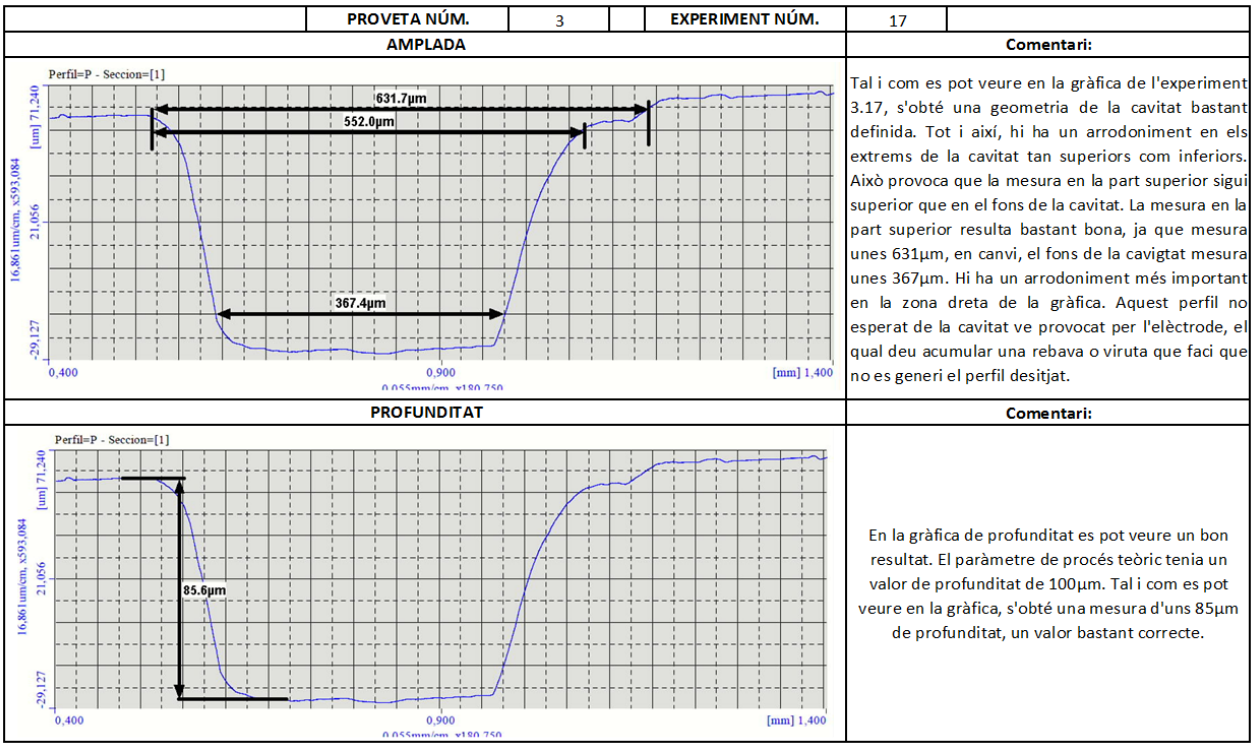


Figura 4. 12. Resultat del perfil de l'experiment 17 de la proveta 3

Paral·lelament a l'anàlisi del experiments en funció de la secció, en les taules que es presenten a continuació, Taula 4. 12 i Taula 4. 13, es realització la recopilació dels valors de les mesures de la totalitat dels experiments agrupats en les diferents provetes 2 i 3.

PROVETA 2	Mesures del perfil de la cavitat				
Exp. Núm.	Amplada (µm)			Profunditat (µm)	
	Superior 1	Superior 2	Inferior	Esquerra	Dreta
2.1	550,6	-	-	14,27	12,07
2.2	641,8	-	378,8	94,6	-
2.4	742,4	-	424,6	49,7	46,8
2.7	619,8	-	423,4	-	13,06
2.8	592	-	-	19,95	-
2.9	531	-	-	-	10,48
2.10	590,5	474,9	348,6	84,2	76,6
2.11	612	513,6	316	102,2	-
2.12	548,3	-	-	31,2	16,5
2.14	457,1	-	254	9,81	3,34
2.16	609	-	-	28,5	13,7
2.18	633,2	-	431,2	45,4	-
2.19	618,4	516,4	-	29,9	-
2.20	612,4	513,8	356,1	83,1	-
2.23	536,7	-	-	12,04	-
2.24	595,3	506,3	348,9	77,3	-
2.25	619,3	522,8	-	60,4	59,6
2.26	608,2	526,4	-	93	91,5

Taula 4. 12. Valors de les mesures de perfil realitzades en els experiments de la proveta 2

PROVETA 3	Mesures del perfil de la cavitat				
Exp. Núm.	Amplada (µm)			Profunditat (µm)	
	Superior 1	Superior 2	Inferior	Esquerra	Dreta
3.1	594,1	507,6	332,2	49,3	38,6
3.2	528	-	349	81,7	-
3.3	530,7	-	262,8	89,1	-
3.4	594,9	510	358,3	58,7	-
3.5	592,4	-	-	74,2	-
3.6	607,2	520,4	277,5	108,8	-
3.7	613,8	523,9	326,7	53,8	45,6
3.8	622,5	528,8	269,4	77,7	-
3.9	612,4	512,6	376,8	61,2	39
3.10	613,4	512,7	309,4	39,1	16,8
3.11	495,5	-	-	21,8	-
3.12	591,9	506,3	350,4	51,3	-
3.13	626,6	534,1	407,5	51,3	50,1
3.14	626,4	-	-	20,36	-
3.15	631,1	547,6	366,3	100,6	-
3.16	605,8	497,3	327,3	90,4	-
3.17	631,7	552	367,4	85,6	-
3.18	604,5	490,1	256,8	97,8	93,5
3.19	618,5	526,9	315,1	120,2	-
3.20	505,4	397,7	201,1	77,8	71,4
3.21	519	-	-	88,5	-
3.22	523	-	-	90	-

Taula 4. 13. Valors de les mesures de perfil realitzades en els experiments de la proveta 3

Com es pot apreciar en la Taula 4. 12 i Taula 4. 13, no s'obtenen el mateix tipus de mesura en tots els experiments, és a dir, hi ha experiments on estan molt clares les mesures i en d'altres, que pel mal perfil obtingut o per la presència d'arrodoniment en els vèrtexs, les mesures es veuen modificades. No obstant, pel que fa a l'amplada s'ha seguit un criteri de realitzar dues mesures aproximada de la cavitat en la zona superior i una altra al fons de la cavitat, i per la profunditat, dues mesures en la dreta i l'esquerre.

4.3.2.c. ANÀLISIS QUALITATIU

Per poder avaluar amb més detall els experiments obtinguts es durà a terme un anàlisi qualitatiu que ens permetrà identificar quins experiments obtenen un bons resultats segons la secció i el perfil. Per poder dur a terme aquest anàlisi qualitatiu s'ha usat el mateix mètode emprat en l'apartat 3.4.2.c. SUBFASE 3: MODIFICACIÓ DELS PARÀMETRES MÉS SIGNIFICATIUS: INTENSITAT I VOLTATGE. Així doncs, en funció dels valors de secció i perfil obtinguts, s'ha definit una ponderació des 1 fins a 4, de menor a major qualitat respectivament. Així doncs, segons els resultats obtinguts en l'avaluació de la secció i del perfil de les cavitats obtingudes en les provetes 2 i 3, s'obtenen les taules, (Taula 4. 14 i Taula 4. 15) següents:

PROVETA NÚM. 2	QUALITAT DE LES CAVITATS OBTINGUDES			PROVETA NÚM. 3	QUALITAT DE LES CAVITATS OBTINGUDES		
1	2	3	4	1	2	3	4
Exp. 2.1	Exp. 2.4	Exp. 2.10	Exp. 2.2	Exp. 3.3	Exp. 3.1	Exp. 3.2	Exp. 3.12
Exp. 2.7	Exp. 2.18	Exp. 2.24	Exp. 2.12	Exp. 3.5	Exp. 3.14	Exp. 3.4	Exp. 3.13
Exp. 2.8	Exp. 2.19	Exp. 2.25	Exp. 2.20	Exp. 3.6	Exp. 3.16	Exp. 3.9	Exp. 3.15
Exp. 2.14			Exp. 2.26	Exp. 3.7		Exp. 3.18	Exp. 3.17
Exp. 2.15				Exp. 3.8		Exp. 3.20	Exp. 3.19
Exp. 2.16				Exp. 3.10			
Exp. 2.23				Exp. 3.11			
				Exp. 3.21			
				Exp. 3.22			

Taula 4. 14. Ponderació de les cavitats de les provetes 2 i 3 en funció de la secció obtinguda

PROVETA NÚM. 2	QUALITAT DE LES CAVITATS OBTINGUDES			PROVETA NÚM. 3	QUALITAT DE LES CAVITATS OBTINGUDES		
1	2	3	4	1	2	3	4
Exp. 2.1	Exp. 2.8	Exp. 2.10	Exp. 2.12	Exp. 3.5	Exp. 3.1	Exp. 3.2	Exp. 3.15
Exp. 2.2	Exp. 2.18	Exp. 2.11	Exp. 2.25	Exp. 3.10	Exp. 3.4	Exp. 3.3	Exp. 3.16
Exp. 2.4	Exp. 2.19	Exp. 2.20	Exp. 2.26	Exp. 3.11	Exp. 3.7	Exp. 3.6	Exp. 3.17
Exp. 2.7		Exp. 2.24		Exp. 3.14	Exp. 3.9	Exp. 3.8	Exp. 3.19
Exp. 2.14				Exp. 3.21	Exp. 3.13	Exp. 3.12	
Exp. 2.16				Exp. 3.22	Exp. 3.20	Exp. 3.18	
Exp. 2.23							

Taula 4. 15. Ponderació de les cavitats de les provetes 2 i 3 en funció del perfil obtingut

A continuació s'adjunta les gràfiques, Figura 4. 13 i Figura 4. 14, on es podrà visualitzar la qualitat de la secció i del perfil de cada experiment en funció de la ponderació atorgada.

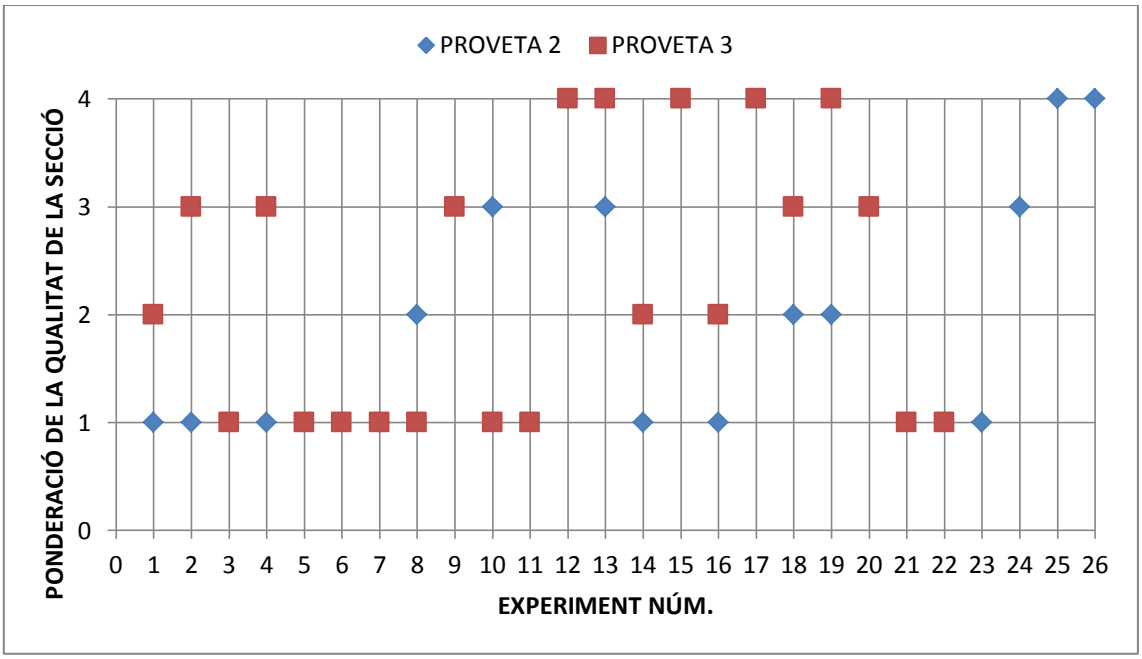


Figura 4. 13. Gràfica de les ponderacions de qualitat de les seccions de les cavitats obtingudes de cada experiment

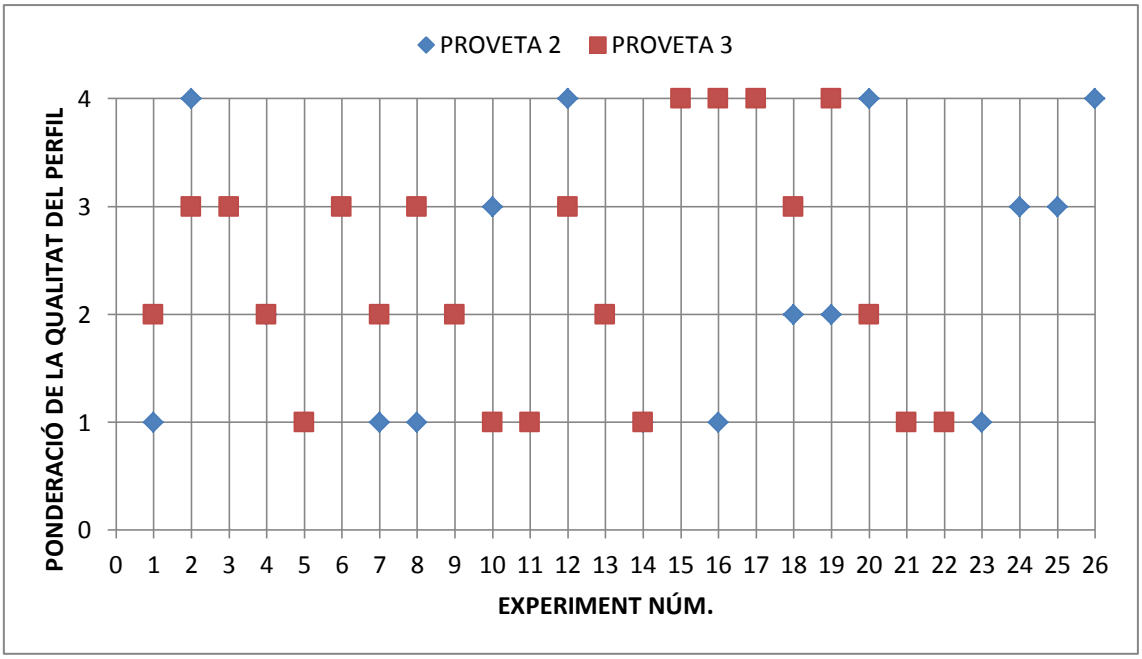
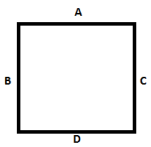


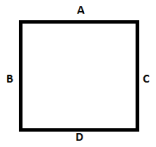
Figura 4. 14. Gràfica de les ponderacions de qualitat dels perfils de les cavitats obtingudes de cada experiment

4.3.2.d. ANÀLISIS QUANTITATIU

En l'anàlisi quantitatiu es buscarà trobar el percentatge d'error que hi ha en les mesures de la cavitat en funció del valor teòric. Cal recordar que el valor teòric del costat de la cavitat resulta de 600µm. A més, com que hi ha alguns experiments en els que es disposa de mesures interiors en la cavitat, per tal de facilitar l'anàlisi, es realitzarà l'estudi sense tenir en compte aquestes dades. Així doncs, en les Taula 4. 16 i Taula 4. 17, que es presenten continuació es podrà visualitzar tot el procés realitzat així com també els valors percentuals d'error que s'han comès per a cada una de les provetes.

	Exp. Núm.	A	B	C	D	VALOR TEÒRIC ESPERAT	% ERROR			
							A	B	C	D
PROVETA 2 (mesures en µm)	2.1	571,7	-	598,2	-	600	4,72%	-	0,30%	-
	2.2	677,6	-	436	424,4		-12,93%	-	27,33%	29,27%
	2.4	-	584,7	-	-		-	2,55%	-	-
	2.7	577,5	-	569,1	-		3,75%	-	5,15%	-
	2.8	587,9	613,7	-	-		2,02%	-2,28%	-	-
	2.10	605,9	-	616,2	-		-0,98%	-	-2,70%	-
	2.11	606,6	-	610,5	-		-1,10%	-	-1,75%	-
	2.12	615,6	-	618,8	-		-2,60%	-	-3,13%	-
	2.14	591,7	-	615	-		1,38%	-	-2,50%	-
	2.16	594,3	-	609,2	-		0,95%	-	-1,53%	-
	2.18	611,1	-	611,1	-		-1,85%	-	-1,85%	-
	2.19	620,8	-	611,1	-		-3,47%	-	-1,85%	-
	2.20	620,2	-	611,8	-		-3,37%	-	-1,97%	-
	2.23	609,8	-	614,3	-		-1,63%	-	-2,38%	-
	2.24	616,9	-	623,4	-		-2,82%	-	-3,90%	-
	2.25	618,9	-	617,6	-		-3,15%	-	-2,93%	-
	2.26	612,4	-	633,7	-		-2,07%	-	-5,62%	-

Taula 4. 16. Diferència percentual del valor teòric desitjat enfront al valor experimental de la proveta 2

PROVETA 3 (mesures en µm)	Exp. Núm.	A	B	C	D	VALOR TEÒRIC ESPERAT	% ERROR			
							A	B	C	D
	3.1	599,7	609,7	609,4	605,2		0,05%	-1,62%	-1,57%	-0,87%
	3.2	590,9	594,2	594,5	591,5		1,52%	0,97%	0,92%	1,42%
	3.3	596,9	587,3	587	597,9		0,52%	2,12%	2,17%	0,35%
	3.4	581	585,8	585,8	582,3		3,17%	2,37%	2,37%	2,95%
	3.5	606,8	599	598	608,4		-1,13%	0,17%	0,33%	-1,40%
	3.6	598,7	620,6	599,5	618,7		0,22%	-3,43%	0,08%	-3,12%
	3.7	599,5	585,2	585,2	601,4		0,08%	2,47%	2,47%	-0,23%
	3.8	591,3	593,6	592,6	591,6		1,45%	1,07%	1,23%	1,40%
	3.9	580	589	590,3	580,1		3,33%	1,83%	1,62%	3,32%
	3.10	569,9	-	581,9	-		5,02%	-	3,02%	-
	3.12	577,5	582,4	585,6	576,9	600	3,75%	2,93%	2,40%	3,85%
	3.13	615,9	604,3	601,2	612		-2,65%	-0,72%	-0,20%	-2,00%
	3.14	590,4	581,5	578,6	593,4		1,60%	3,08%	3,57%	1,10%
	3.15	620,4	616,2	-	-		-3,40%	-2,70%	-	-
	3.16	609,6	599,6	-	-		-1,60%	0,07%	-	-
	3.17	618,8	612,9	-	-		-3,13%	-2,15%	-	-
	3.18	593,1	598,5	594,3	601,4		1,15%	0,25%	0,95%	-0,23%
	3.19	584,6	608,6	600,6	598,7		2,57%	-1,43%	-0,10%	0,22%
	3.20	486,2	497,8	505,4	498,4		18,97%	17,03%	15,77%	16,93%
	3.21	570,9	606,6	605,6	570,3		4,85%	-1,10%	-0,93%	4,95%
	3.22	551,3	608,2	594,2	559,2		8,12%	-1,37%	0,97%	6,80%

Taula 4. 17. Diferència percentual del valor teòric desitjat enfront al valor experimental de la proveta 3

Analitzant les taules mostrades anteriorment, Taula 4. 16 i Taula 4. 17, es pot apreciar la diferència amb el valor teòric en percentatge. Així doncs, quan trobem un percentatge positiu voldrà dir que no s'assoleix la cota desitjada, en canvi, per percentatges negatius significarà que excedim aquest valor teòric de 600µm.

A simple vista, es pot afirmar que en les mesures obtingudes, exceptuant els experiments 2.2 i 3.20, no s'obté una diferència superior a al 5%, ja sigui per defecte o excés. Això ens fa indicar que els resultats obtinguts es podrien considerar bastant vàlids.

4.3.3. DESGAST DE L'ELÈCTRODE

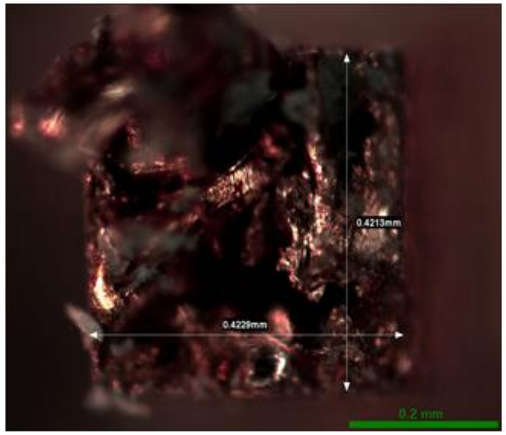
Una altra dada a analitzar és el desgast de l'elèctrode. Com a dada important en el procés, s'ha de procurar de minimitzar el seu valor per tal d'allargar la vida de l'elèctrode i d'obtenir uns millors resultats després de vàries aplicacions. Per tal de poder analitzar aquesta dada es seleccionen alguns elèctrodes. El criteri que s'ha seguit en la selecció d'aquests ha estat en funció del les mesures inicials obtingudes, és a dir, s'ha seleccionat els millors elèctrodes obtinguts amb la fresadora DECKEL MAHO 64V LINEAR. Així doncs, en la Taula 4. 18 que es presenta a continuació, s'enumeren els elèctrodes seleccionats i les mesures inicials abans i després de la realització del procés.

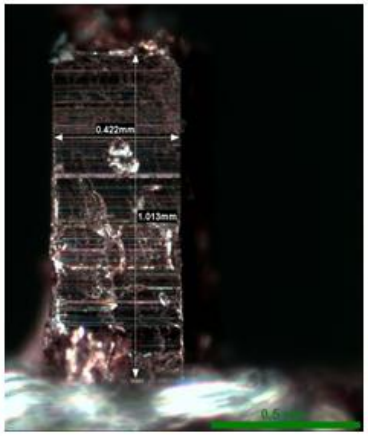
Elèctrode núm.	Alçat (µm)				Planta (µm)					
	Inicial 1	Inicial 2	Mesura 1	Mesura 2	Inicial X	Inicial Y	Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
2	-	1013,0	849,9	928,6	422,9	421,3	425,1	418,4	267,1	254,7
7	-	902,0	690,1	772,2	405,7	404,1	424,4	427,5	-	-
10	863,0	925,0	715,3	802,8	417,2	410,9	424,9	427,5	-	-
18	983,0	1039,0	817,1	904,9	422,4	414,1	436,6	426,8	-	-
19	-	890,0	732,0	810,4	419,8	404,2	417,9	418,3	272,7	276,8

Taula 4. 18. Elèctrodes seleccionats per avaluar el seu desgast després de la realització del procés

Un cop obtingudes totes les mesures pre-electroerosió i post-electroerosió, es realitza un estudi particular de cada elèctrode seleccionat, que ens permetrà fixar-nos més en el desgast present en cada un d'ells. Així doncs, a continuació es presenta a l'anàlisi particular dels elèctrodes.

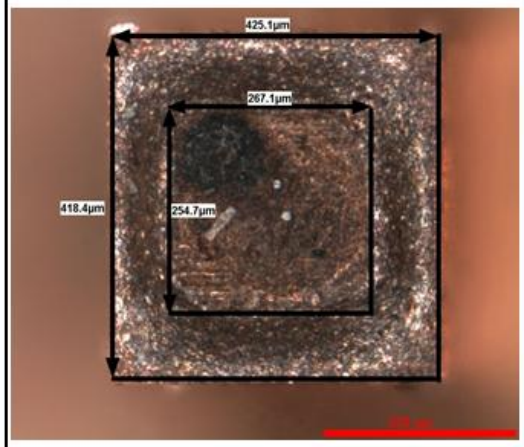
Elèctrode núm.	2		
Imatges elèctrode ABANS de l'electroerosió			

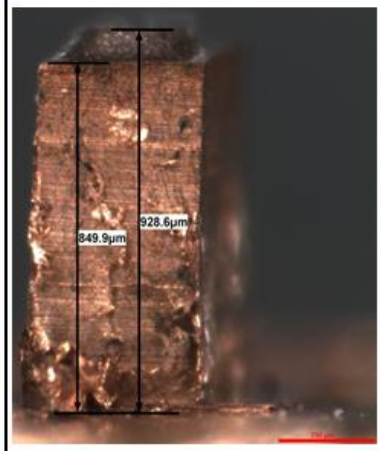




VALORS MESURATS			
Alçat (µm)			
Inicial		Mesura 1	Mesura 2
1013,0		849,9	928,6
Planta (µm)			
Inicial X		Inicial Y	
422,9		421,3	
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
425,1	418,4	267,1	254,7
DESGAST ELÈCTRODE			
Alçat (µm)			
163,1		84,4	
Planta (µm)			
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
-2,2	2,9	155,8	166,6

Imatges elèctrode DESPRÉS de l'electroerosió





COMENTARI:

Tal i com es pot comprovar en els valors mesurats de l'elèctrode, pel que fa a l'alçat, és a dir, en l'erosió en z, es desgasta de diferent manera. Aquest desgast diferent pot venir provocat per la quantitat de rebaves present en l'elèctrode abans de electroerosionar. Pel que fa a la planta, és a dir, en la secció quadrada de l'elèctrode, es pot comprovar que no hi ha un excessiu desgast. Concretament, en un costat de la secció es desgasta -2,2µm i l'altre 2,9µm. El primer valor negatiu indicaria que no s'ha desgast sinó que ha augmentat de volum. Evidentment, aquest succés no és possible i el fet de que passi això ve determinat per l'error en la mesura de l'operari. No obstant, aquests resultats indiquen que es desgasta en el sentit de l'eix Z i no hi ha gairebé desgast en la secció quadrada.

Taula 4. 19. Anàlisi de desgast de l'elèctrode número 2

En l' l'Annex D: Anàlisis de resultats, en l'apartat d'Experimentació final, es facilita les taules de la resta dels elèctrodes analitzats.

CONCLUSIONS PARTICULARS:

Després de l'anàlisi realitzat es pot comprovar com després del procés d'electroerosió, el desgast de l'elèctrode es presenta principalment en l'eix Z, és a dir, es va reduint l'alçada de l'elèctrode. Així doncs, a l'hora de la fabricació futura d'elèctrodes, on es pretengui la reutilització d'aquests, s'haurà de tenir en compte la mesura d'alçat adient per tal de poder garantir el mínim d'experiments amb l'elèctrode seleccionat.

5. DISCUSSIÓ DE RESULTATS

En l'apartat 4. Experimentació final, s'ha desenvolupat una tasca d'investigació satisfactòria. Amb l'aplicació de les accions descrites en el subapartat d'introducció (rectificació en les superfícies de les provetes i fabricació controlada de nous elèctrodes), s'han pogut obtenir uns resultats correctes. No obstant, com en tota investigació, s'han produït resultats inesperats.

D'acord amb els anàlisis i estudis obtinguts, en funció de les característiques dels elèctrodes i dels paràmetres de procés, s'han obtingut uns perfils i unes seccions bastant semblants a les pretensions teòriques. Al mateix temps, hi ha hagut resultats que disten considerablement de les condicions inicials.

Particularment, a nivell de secció de les cavitats, s'han obtingut uns resultats bastant bons. Prova d'això es pot evidenciar en l'anàlisi quantitatiu realitzat, on els resultats de les mesures de les cavitats difereixen en un percentatge molt petit, el qual es pot considerar acceptable.

Paral·lelament, en els perfils dels resultats obtinguts es pot observar que no s'obté sempre els valors esperats. No obstant, hi ha algunes cavitats com els experiments 2.26, 3.15 o 3.16, on els valors de perfil i profunditat són bastant bons. Tot i així, hi ha un gran nombre d'experiments en els quals no s'assoleix el valor de profunditat esperat (Taula 4. 12 i Taula 4. 13) o el perfil obtingut presenta irregularitats degudes al procés (ANNEX D: Anàlisis de resultats, Experimentació final).

6. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost total del l'experimentació de la fabricació de micro-cavitats en acer, amb la preparació del taller, obtenció d'eines i material, adquisició de dades, resultats i posterior anàlisi, incloses les despeses generals i la redacció del projecte es disposa en l'Annex E: Pressupost, el qual ascendeix a un total de:

Nou mil cinc-cents seixanta tres Euros amb cinquanta cèntims ..... (9.563,50€).

El redactor,

Daniel Gurguí Cabrejas

Girona, 3 de setembre de 2012

7. CONCLUSIONS

En el treball de fi de carrera "Influència de la dinàmica de la màquina d'electroerosió en la fabricació de micro-cavitats" ha permès avançar en la investigació de la tecnologia d'electroerosió en la fabricació de micro-cavitats.

Davant la desconeixença de la validesa de la màquina d'electroerosió, que es disposa al taller del Grepp en el Parc Tecnològic, en l'adaptació dels paràmetres de micro escala en una màquina preparada per meso escala, s'han assolit una sèrie de resultats que es consideren bastant correctes. No obstant, en el camí per a l'obtenció d'uns resultats que permetin usar la tecnologia en aplicacions futures hi ha un seguit d'aspectes en els qual s'haurien de continuar investigant. Aquests paràmetres a analitzar podrien ser:

1. Fabricació d'uns elèctrodes millorats.
2. Control de les dimensions de l'elèctrode en funció del desgast per tal de poder garantir un bon acabat .
3. Major control dels orbitals quadrats en la realització de les cavitats per evitar els arrodoniments presents i les possibles diferències de resultats vers el teòric pel que fa a les seccions, perfils i profunditats.
4. Trobar una metodologia millorada per tal d'obtenir unes mesures més precises.

Pel que fa a l'obtenció d'uns bons resultats en les cavitats, un dels efectes més influents en la electroerosió és la fabricació d'uns bons elèctrodes. Com que aquesta tecnologia es basa en l'obtenció del negatiu, mitjançant la geometria dels elèctrode, és molt determinant en el resultat final. A més a més, si es treballa amb aquesta tecnologia a escala micro, aquests errors comesos en la fabricació, es veuen augmentats en els resultats finals.

Un altre dels efectes més influents que s'ha observat en aquest projecte, és la importància del desgast de l'eina o elèctrode. Tot i un correcte procediment en les col·locacions dels eixos i els seus respectius zeros, un desgast inesperat comportarà que no es pugui treballar més amb l'elèctrode en qüestió ja que no s'obtindrà el resultat desitjat ja sigui en secció, perfil o profunditat.

Amb l'obtenció dels resultats presentats en el treball de fi de carrera realitzat, s'ha aconseguit assolir la major part dels requeriments exposats inicialment. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Taula 7. 1 que s'adjunta a continuació es mostren les especificacions del projecte que s'han completat satisfactòriament.

DESCRIPCIÓ	COMPLETAT
Estudiar i analitzar la tecnologia a partir de la màquina electroerosionadora ONA DB300	Sí
Realització d'experiments a meso escala per tal de conèixer els paràmetres de procés i les seves dependències	Sí
Experimentació, a escala micro, amb la màquina d'EDM, adaptant els paràmetres de procés	Sí
Valoració dels resultats experimentals de les micro-cavitats	Sí

Taula 7. 1. Comprovació de les especificacions

El redactor,

Daniel Gurguí Cabrejas

Girona, 3 de setembre de 2012

8. BIBLIOGRAFIA

CT ELECTROMECÁNICA SRL. Buenos Aires, 2003 - Departamento Técnico – SC. Consultat el dia 23 de febrer de 2012, a http://www.ctarg.com.ar/biblioteca/Descripedmes.pdf

D.T. Pham*, S.S. Dimov, S. Bigot, A. Ivanov, K. Popov. Micro-EDM—recent developments and research issues. Journal of Materials Processing Technology 149 (2004) 50–57.

J B. Giraudi, C. Altini, Universidad de Buenos Aires. Facultad Ingeniería. "Apuntesde clase: electroerosion" http://www.fi.uba.ar/materias/6727/electroerosion.pdf3

Katz Z., Tibbles C.J. "Analysis of Micro-scale EDM process", International Journal of Advanced Manufacturing Technologies, 25 (2005) - 923-928.

Masuzawa T., "Micro EDM". Proceedings of the ISEM XIII (2001). 3-19. FundaciónTekniker. ISBN 932064-0-7.

MICRO-MANUFACTURING. Consultat el 3 de marc de 2012, a http://es.scribd.com/doc/61335621/Tutorial-EDM

ONA EDM – ONA ELECTROEROSION. Consultat el 15 de desembre de 2011, a http://www.ona-electroerosion.com/

ONA ELECTROEROSION, SA. Manual de descripción y mantenimiento preventivo - Màquina de electroerosión (ONA Serie "DB 300").

ONA ELECTROEROSION, SA. Manual de instrucciones - Màquina de electroerosión (ONA Serie "DB 300"). Versión 10.1.0.

ONA ELECTROEROSION, SA. Manual TECNOLOGIA ONA – CS / HS / DB.

PELLICER SABADÍ, N. Investigations on Electrical Discharge Machining (EDM). Projecte / Treball Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Septembre 2008.

Slideshare (2012). Consultat el 29 de noviembre de 2011, a http://www.slideshare.net/dgof0000/electroerosiononamio

Slideshare (2012). Consultat el 29 de noviembre de 2011, a http://www.slideshare.net/sena181309/electroerosin-8672669

TECNUN – Escuela Superior de Ingenieros (San Sebastián). Campus Tecnològicp de la Universidad de Navarra. Introducción a la electroerosión. 2010.

VÁZQUEZ LEPE, E., DE CIURANA GAY, J., RODRÍGUEZ GÓNZALEZ, C.A., Micromachining Technologies for Micromechanical Components. Gitasp, 4. Documenta Universitaria. Girona. 2010.

VÁZQUEZ LEPE, E. Evaluation of manufacturing tecnologies to produce Micro-chanels. Tesis de Màster. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Septembre, 2009.

WIKIPEDIA (2012). Consultat el 30 d'abril de 2012, a http://enciclopedia.us.es/index.php/Electroerosi%C3%B3n

ANNEXOS

ANNEX A. MANUAL DE LA MÀQUINA D'ELECTROEROSIÓ ONA 70

A.1. CONNEXIÓ DE LA MÀQUINA 71

A.1.1. INTERRUPTOR GENERAL 71

A.1.2. POSTA EN MARXA GENERAL 72

A.2. DESCONNEXIÓ DE LA MÀQUINA 73

A.2.1. PARADA D'EMERGÈNCIA 73

A.2.2. DESCONNEXIÓ GENERAL 73

A.3. UNITATS DE COMANDAMENT NUMÈRIC 74

A.3.1. PILOT DE RED 74

A.3.2. AMPERÍMETRES 74

A.3.3. VISUALITZADOR DE PROCÉS 74

A.4. SEGURETAT 75

A.5. COMANDAMENTS 76

A.5.1. MODES DE DESPLAÇAMENT DELS EIXOS 77

A.6. PANTALLA BASE 78

A.7. POSICIONAMENT DEL 0 DE LA PEÇA 79

A.8. EMDI 80

A.9. PROGRAMACIÓ 81

A.10. EXECUCIÓ 82

A.11. MÀQUINA 83

A.12. MANTENIMENT 87

A.12.1. FILTRES D'OLI 87

A.12.2. GUIES I "USILLOS" 87

A.12.3. FILTRE DEL CONTROL 87

A.12.4. DETECTOR DE FLAMES 87

A.12.4.a. FUNCIÓ 87

A.12.4.b. MANTENIMENT 87

A.13. EXEMPLES DE PASSOS A SEGUIR PER LA REALITZACIÓ D'EXPERIMENTS 89

Exemple de programa 89

Exemple de càlcul d'elèctrodes 89

ANNEX B. TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ 92

B.1. TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ 93

B.1.1. TERMINOLOGIA GENERAL 93

B.1.2. TERMINOLOGIA ELÈCTRICA 94
B.1.3. TERMINOLOGIA DE PARÀMETRES DE PROCÉS 96
ANNEX C. ELECTROEROSIÓ (EDM) 99
C.1. NETEJA 100
C.1.1. DEFINICIÓ 100
C.1.2.INFLUÈNCIA DE LA CONTAMINACIÓ DEL GAP EN EL PROCÉS D'ELECTROEROSIÓ 101
C.1.3. FORMES DE NETEJA 101
C.1.3.a. Neteja per pressió 102
C.1.3.b. Neteja per aspiració 104
C.1.3.c. Neteja per llança lateral 105
C.1.3.d. Neteja amb temporització 107
C.1.3.e. Neteja amb pressió intermitent 108
ANNEX D. ANÀLISIS DE RESULTATS 109
D.1.ESTUDI PRELIMINAR 110
FASE 1 - PROVA A MICRO ESCALA AMB PARÀMETRES DE MESO ESCALA 110
FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (NIVELL DE SEGURETAT) 113
FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (SERVO) 118
FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (INTENSITAT I VOLTATGE) 123
FASE 3 - CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS (RESULTATS NO ESPERATS) 142
FASE 3 - CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS (RESULTATS BONS) 147
D.2. EXPERIMENTACIÓ FINAL 152
D.2.1. IMATGES DE LES MESURES DELS ELÈCTRODES 152
D.2.2. PROGRAMA D'INTRODUCCIÓ DE DADES A LA MÀQUINA ELECTROEROSIONADORA ... 160
D2.3. MESURA DE LES CAVITATS (SECCIÓ) 161
D.2.4. MESURA DE LES CAVITATS (PERFIL) 171
D.2.5. DESGAST DELS ELÈCTRODES DESPRÉS DE LA UTILITZACIÓ 191
ANNEX E. PRESSUPOST 195
E.1. ANÀLISI DE COSTOS 196
E.1.1. MODEL D'ESTIMACIÓ DE COSTOS 196
E.2. ANÀLISI ECONÒMIC 197
E.3. CÀLCUL DEL COST DE LA FABRICACIÓ DE L'ELÈCTRODE 197
E.4. CÀLCUL DEL COST DE LA MECANITZACIÓ D'UNA CAVITAT 197
E.4. CÀLCUL DEL COST TOTAL DEL PROJECTE 198

ÍNDEX DE FIGURES

Figura A. 1. Quadre de comandaments d'encesa de la màquina 71
Figura A. 2. Interruptor general 72
Figura A. 3. Detall de la màquina electroerosionadora 75
Figura A. 4. Esquema il·lustratiu del quadre de comandaments de la màquina electroerosionadora 76
Figura A. 5. Esquema il·lustratiu dels modes de desplaçament dels eixos 77
Figura A. 6. Esquema il·lustratiu de la pantalla base de la màquina electroerosionadora 78
Figura A. 7. Esquema il·lustratiu de la pantalla EMDI 80
Figura A. 8. Esquema il·lustratiu de la pantalla d'execució 82
Figura A. 9. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora 83
Figura A. 10. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora 84
Figura A. 11. Detall de la Taula Tecnològica facilitada pel fabricant. 85
Figura A. 12. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora 86
Figura A. 13. Detall de la Taula Tecnològica facilitada pel fabricant 90

Figura B. 1. Desgasta d'un elèctrode 93
Figura B. 2. GAP frontal i lateral 94
Figura B. 3. Terminologia elèctrica (VDI 3402) 95

Figura C. 1. Fotografies de residus de l'electroerosió (TECNUN, 2006) 100
Figura C. 2. Grau de contaminació i dimensió del GAP 101
Figura C. 3. Neteja per pressió a través de la peça 102
Figura C. 4. Neteja per pressió a través de l'elèctrode 102
Figura C. 5. Conicitat en un cas de neteja per pressió a través de la peça 103
Figura C. 6. Conicitat en un cas de neteja per pressió a través de l'elèctrode 103
Figura C. 7. Neteja per aspiració amb vas a través de la peça 104
Figura C. 8. Neteja per aspiració a través de l'elèctrode 104
Figura C. 9. Conicitat per aspiració a través de la peça 105
Figura C. 10. Conicitat amb neteja per aspiració a través de l'elèctrode 105
Figura C. 11. Neteja amb llança lateral 106
Figura C. 12. Neteja de ranures 106
Figura C. 13. Neteja per temporització 107
Figura C. 14. Neteja amb pressió intermitent 108

ÍNDEX DE TAULES

Taula A. 1. Taula de rang de valors dels paràmetres seleccionats 84

Taula B. 1. Valors d'intensitats 96
Taula B. 2.Totalitat de paràmetres de control del procés d'electroerosió 98

Taula E. 1. Cost de fabricació d'un elèctrode 197
Taula E. 2. Cost de mecanització d'una cavitat 198
Taula E. 3. Resum de costos total del projecte 198

ANNEX A. MANUAL DE LA MÀQUINA D'ELECTROEROSIÓ ONA

A.1. CONNEXIÓ DE LA MÀQUINA

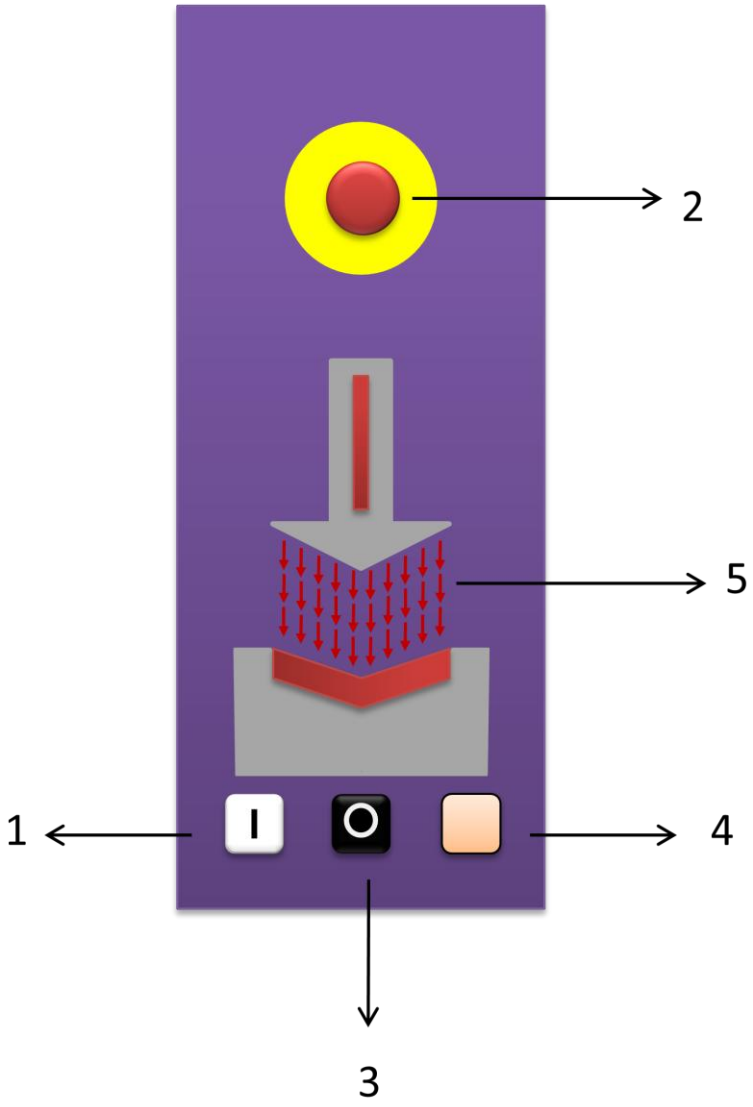


Figura A. 1. Quadre de comandaments d'encesa de la màquina

A.1.1. INTERRUPTOR GENERAL

Dispositiu de seguretat que treu l'alimentació general de la màquina. Es desconnecta situant el dispositiu en la POSICIÓ OFF (Veure Figura A. 2).

Figura A. 2. Interruptor general

NOTA IMPORTANT: Abans d'accedir a qualsevol part elèctrica de la màquina, treure l'alimentació general mitjançant un interruptor. Això és imprescindible per operacions de manteniment (canvi de fusibles, etc.)

A.1.2. POSTA EN MARXA GENERAL

Dispositiu polsador que permet l'alimentació elèctrica a l'equip, mantenint-se encès mentre dura la mateixa i permetent iniciar-se qualsevol maniobra (Veure nº1 Figura A. 1).

A.2. DESCONNEXIÓ DE LA MÀQUINA

A.2.1. PARADA D'EMERGÈNCIA

Per tal de poder realitzar una parada d'emergència disposem d'un dispositiu ubicat al costat de la pantalla principal (Veure nº 2 Figura A. 1). Per tal de fer efectiva la seva funció de parada s'ha de prémer el polsador. Per tal de poder continuar amb el funcionament només s'ha de desenclavar el dispositiu.

A.2.2. DESCONNEXIÓ GENERAL

Amb aquest polsador protegit es desconnecta l'alimentació elèctrica de l'equip (Veure nº 3 Figura A. 1).

A.3. UNITATS DE COMANDAMENT NUMÈRIC

A.3.1. PILOT DE RED

Aquest dispositiu ens indica si està connectat (ON) o desconnectat (OFF) l'interruptor general (Veure nº4 Figura A. 1).

A.3.2. AMPERÍMETRES

Amb aquest dispositiu s'indica la intensitat que circula per l'elèctrode. En el treball monocanal es saturaran els amperímetres un a un i en el treball multicanal actuen simultàniament (Veure nº 5 Figura A. 1).

A.3.3. VISUALITZADOR DE PROCÉS

Amb aquest dispositiu es mostra l'evolució de les descàrregues de GAP (veure nº5 Figura A. 1).

La barra vertical és la realimentació de GAP. Durant l'erosió, s'il·lumina més o menys depenent de l'obertura o el tancament d'aquest GAP.

La zona central representa l'eficiència de l'erosió. Durant l'erosió, s'il·lumina en funció de l'eficiència instantània de la mateixa.

La zona inferior, en forma de "V" indica la presència d'espurnes entre elèctrode i peça.

En mode contacte, utilitzat per centratges i contactes peça, s'il·lumina la zona central pràcticament en la seva totalitat quan NO hi ha contacte amb la peça i la zona en "V" s'il·lumina totalment quan SI hi ha contacte.

A.4. SEGURETAT

- Hi ha un risc important d'enrampar-se perillosament amb la màquina. Mentre la màquina està erosionant no es pot tocar cap punt del capçal. En el moment que toquem capçal i peça a la vegada, o capçal i tanc d'oli tancarem el circuit elèctric i ens enramparem.
- Utilitzar guants. L'oli es agressiu amb les mans.
- Cobrir sempre la peça d'oli amb el nivell suficient. S'aconsella cobrir-la uns 50mm d'oli. En cas que l'elèctrode sigui molt curt, s'aconsella que el nivell d'oli no sobrepassi la base de l'utillatge Erowa perquè no entri oli a dintre les boles i el facin malbé.

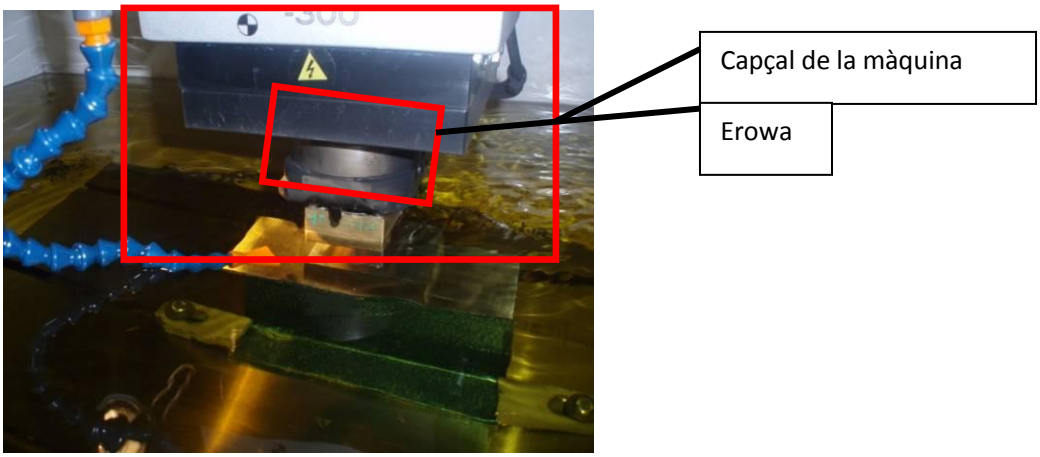


Figura A. 3. Detall de la màquina electroerosionadora

- La màquina té un sistema de seguretat per col·lisions. No hi ha perill perquè quan detecta contacte elèctric la màquina es bloqueja. Quan passa, s'ha de prémer el botó "Modo" per poder retirar l'elèctrode. Si el mode està en "vacío", aquesta seguretat queda desactivada i podrem col·lisionar.
- És molt important que no entri NI UNA gota d'aigua al tanc. Si es barreja amb l'oli i passa pels filtres es pot fer malbé. Totes les peces i elèctrodes els netejarem amb aire comprimit.

A.5. COMANDAMENTS

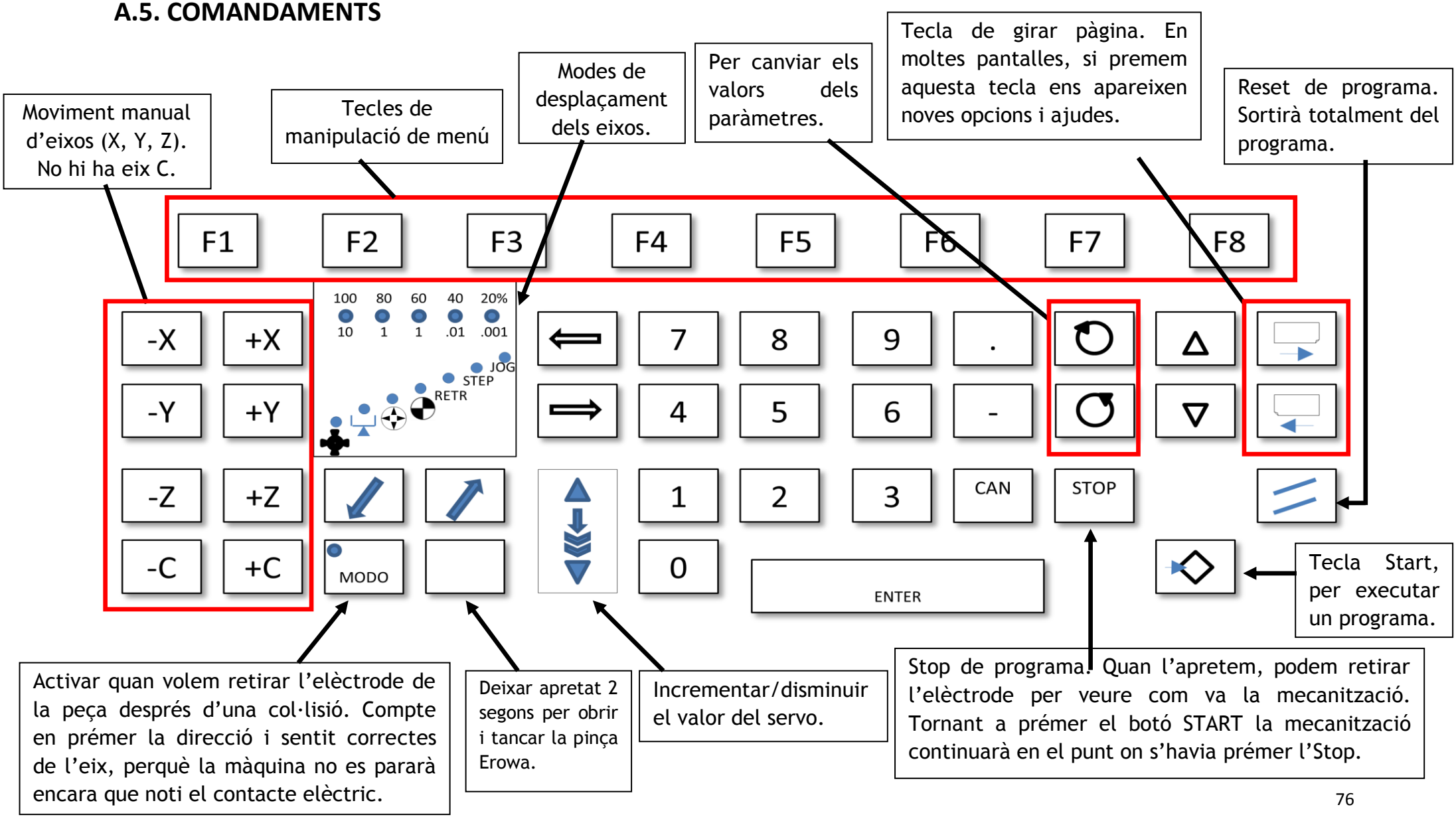
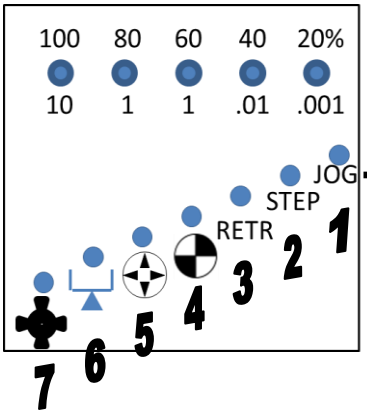


Figura A. 4. Esquema il·lustratiu del quadre de comandaments de la màquina electroerosionadora

A.5.1. MODES DE DESPLAÇAMENT DELS EIXOS



1- Jog. Moure els eixos de forma manual segons la velocitat que es tingui triat a dalt (100%, 80%...).

2- Step. Moure els eixos pas a pas segons el que es tingui triat a dalt (10mm, 1mm, 0.1mm...)

3- Rettr. Retorna a un punt memoritzat concret.

4- Apretant X,Y o Z durant 2 segons el capçal va a buscar el 0 màquina.

5- Centratge interior.

6- Contacte peça. Al prémer el botó de moviment d'un eix, el capçal es mou fins tocar la peça. Quan canviem el mode l'elèctrode es retira 1mm.

7- Centratge exterior.

Figura A. 5. Esquema il·lustratiu dels modes de desplaçament dels eixos

A.6. PANTALLA BASE

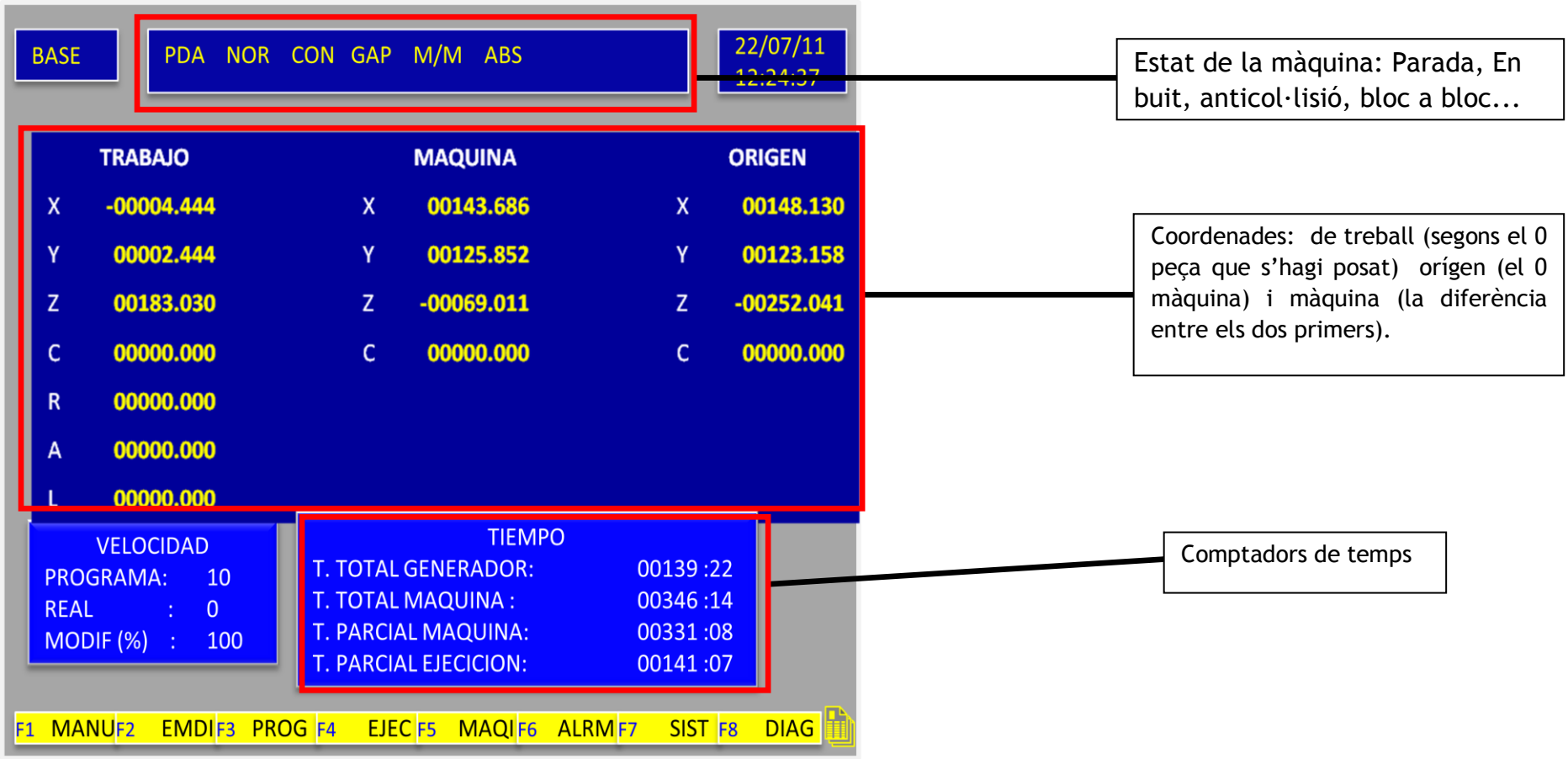


Figura A. 6. Esquema il·lustratiu de la pantalla base de la màquina electroerosionadora

A.7. POSICIONAMENT DEL 0 DE LA PEÇA

- Posicionar el 0 peça manualment:

  Ens acostem a la peça en mode "jog". Posem la màquina en mode "contacte peça" i apretem el botó del moviment de l'eix per tocar la peça. Mentre l'elèctrode està en contacte anem a la pantalla Base>Manual i posem la coordenada que volem (tenint en compte l'amplada de l'eina). Tornem a al mode "jog" (l'elèctrode s'enretira 1mm). S'ha de fer pels tres eixos.

- Posicionar el 0 peça automàticament (només servirà per posar el 0 en X i Y):

Base>Manual>Ciclos

- Centratge interior. Es pot fer en X,Y,Z i a 45 graus (diagonals). Es canvia amb el botó

  Per fer servir la opció, un cop programada, ens posem en mode 5 de la Figura 2 i apretem el moviment en un eix.

- Centratge exterior. Tenim dos opcions: 1. Punto medio: La màquina es posicionarà al mig dels dos últims punts que ha tocat. 2. Centraje exterior: AB ho fa en recte, 45º ho fa en diagonal.
  Amb el botó anem a l'ajuda per saber què és cada paràmetre. Per fer servir la opció, un cop programada, ens posem en mode 7 de la Figura 2 i apretem el moviment en un eix.

- Decalatge:
  Base>Manual>Decalaje. L'elèctrode ha d'estar físicament al seu 0,0,0. Programem el nº de decalatge que volem guardar (fins a 255) i anem apretant el botó "." (punt) en cada coordenada per anar-ho gravant. És com posar diferents 0 peça.

- Correcció dels elèctrodes:
  Base>Manual>Electrodo. Serveix per corregir elèctrodes per mala mecanització, desgast, etc...

A.8. EMDI

Base>EMDI

És com programar amb un MDI amb la Deckel. Cada línia que anem programant s'executarà de forma immediata al validar-la amb l'enter.

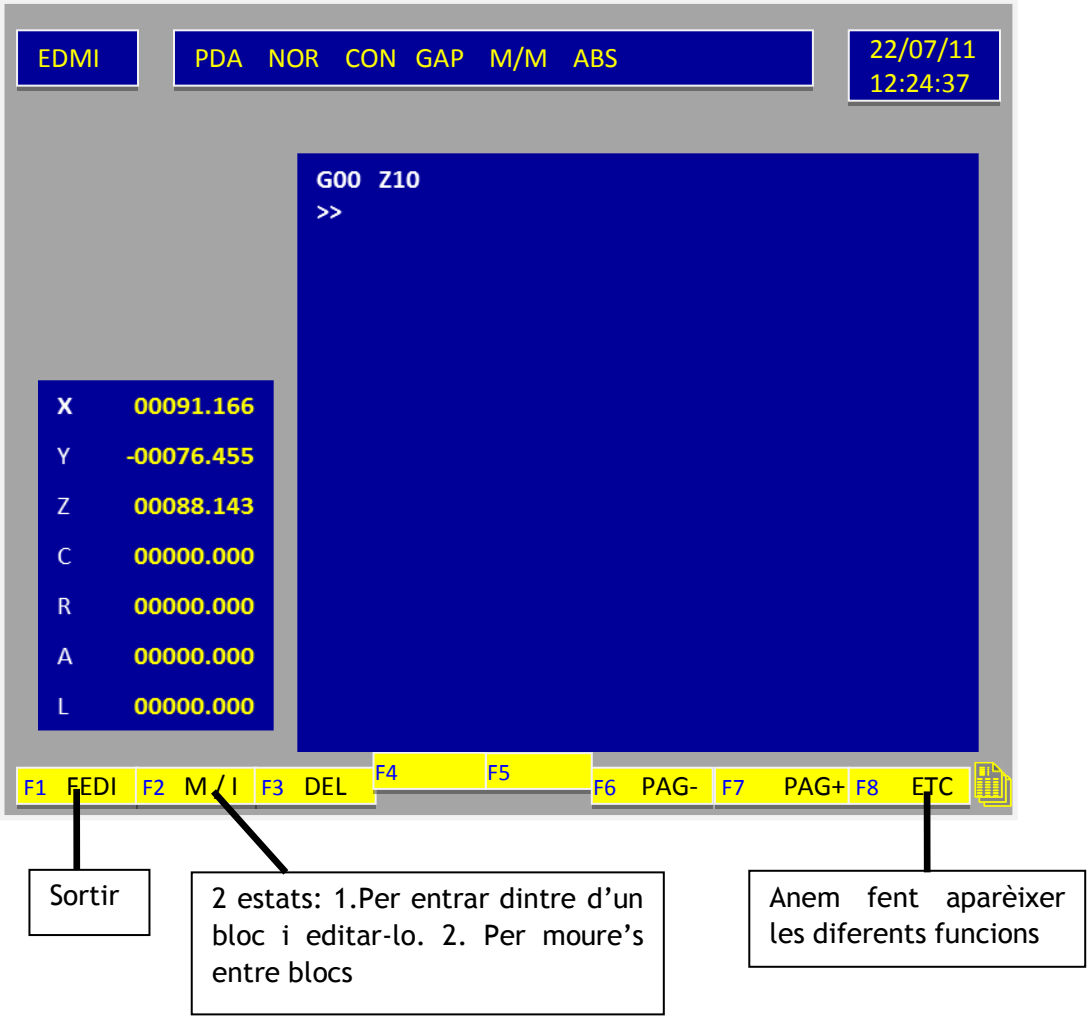


Figura A. 7. Esquema il·lustratiu de la pantalla EMDI

A.9. PROGRAMACIÓ

Base>Programa

Permet veure els programes en memòria, borrar-los, crear-ne i editar-los.

Creació de programes:

Seleccionem el programa de destí que volem crear i premem la tecla "Edit". Fem la programació i al sortir ja es quedarà guardat.

Còpia:

Seleccionar el programa d'origen, seleccionar el programa de destí. Apretar tecla "Copi".

Borrat:

Seleccionar programa destí i prémer tecla "Borr".

Edició:

Seleccionem el programa destí que volem editar i prémer la tecla "Edit". A la pàg. 4-37 del manual d'ONA ho explica tot en detall.

A.10. EXECUCIÓ

Base>Ejecutar

Serveix per triar el programa que volem executar i per monitoritzar algunes paràmetres del procés, com temporitzadors, eficiència, orbitals, etc. en temps real.

Figura A. 8. Esquema il·lustratiu de la pantalla d'execució

A.11. MÀQUINA

Base>Maquina

Per seleccionar els paràmetres de procés en temps real. Es poden anar modificant durant la mecanització. Quan carreguem un nou programa els paràmetres que prevalen són els del programa, no els que hi havia a la pantalla màquina. Si es volen canviar s'ha de tornar anar a la pantalla màquina i canviar-los de nou.

Hi ha dues maneres de treballar:

- Per rugositat: Triem rugositat final desitjada (hi ha una conversió VDI-Ra al manual de Tecnologia ONA), triem parell elèctrode-peça, criteri (1: màx arranc material, 2: intermig, 3:mínim desgast de l'elèctrode) i polaritat D:directa (elèctrode +, peça-), I:inversa. Veurem com els paràmetres de procés es defineixen automàticament segons les taules d'usuari que hi ha programades a Base>Maq>Tecn i que es corresponen a les que hi ha al llibre de Tecnologia ONA.
- Controlant paràmetres de procés de forma individual. Podem variar un a un els paràmetres. Veurem que al tocar-los apareixerà un "?" al costat de la rugositat, volent dir que no l'aconseguirem.

Figura A. 9. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora

Pàrametres		***Nivells***
Temps on (T_{on})	[µs]	0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 13, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200
Temps off (T_{off})	[µs]	0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 13, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200
Intensitat	[A]	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 14, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256
Voltatge	[V]	±80, 120, 160, 200
Servo		10, 11, 12, ..., 89, 90
Condensadors		0, 1, 2, ..., 38, 39
Temps de treball (T_w)	[s]	0.11, 0.12, 0.13, ..., 25.49, 25.50
Temps de pausa (T_p)	[s]	0.11, 0.12, 0.13, ..., 25.49, 25.50
Caudal de neteja		1, 2, 3, ..., 30, 31

Taula A. 1. Taula de rang de valors dels paràmetres seleccionats

NOTA: No utilitzar altres valors d'aquests paràmetres encara que es puguin canviar manualment per no fer malbé l'electrònica de la màquina.

- Nivell de seguretat: Auto regula les freqüències de pols i treball. Mirar pàgina 4-70 de les instruccions. Si utilitzem elèctrodes de grafit, posar NS=0.
- Servo: Relació entre la potència disponible i la utilitzada. + servo = + profunditat de passada.

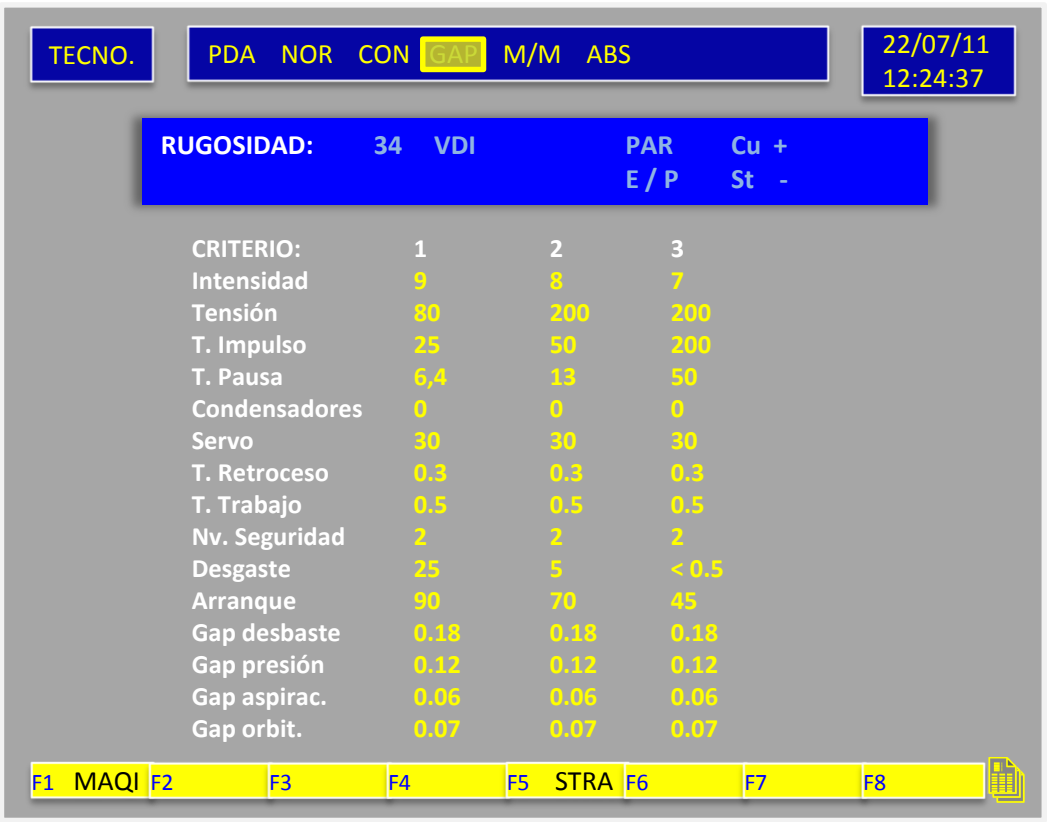


Figura A. 10. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora

Totes les dades extretes d'aquesta pantalla es disposen al manual de la màquina TECNOLOGIA ONA CS/HS/DB. Concretament, les dades que es poden apreciar a la imatge anterior es troben a la pàgina següent:

ONA

TECNOLOGIA ONA CS / HS

E - Cu

St

TECNO:

VDI	32			33			34		
CRITERIO	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I		7	6		8	7	9	8	7
V		200	200		200	200	80	200	200
ti µseg		50	100		25	100	25	50	200
to µseg		13	25		6.4	25	6.4	13	50
C		0	0		0	0	0	0	0
N.S.		2	2		2	2	2	2	2
V		30	30		30	30	30	30	30
seg		0.2	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
seg		0.8	0.8		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
V % vol.		0.90	<0.50		8.50	0.60	25.00	5.00	<0.50
V w in³/h		0.1647	0.0805		0.2050	0.1830	0.3295	0.2563	0.1647
V w mm³/min		45	22		56	50	90	70	45
▽	150			165			180		
µm ▽▽	100			110			120		
▽▽	50			55			60		
▽▽	60			65			70		

Figura A. 11. Detall de la Taula Tecnològica facilitada pel fabricant.

Anant a Base>Maq>Tecn podem introduir les nostres pròpies taules tecnològiques. En elles posem una VDI objectiu i programem tots els paràmetres per obtenir-la. Ho guardem i ho podem anar utilitzant quan volem.

Si des de la pantalla màquina apretem el botó , anirem a la pantalla següent:

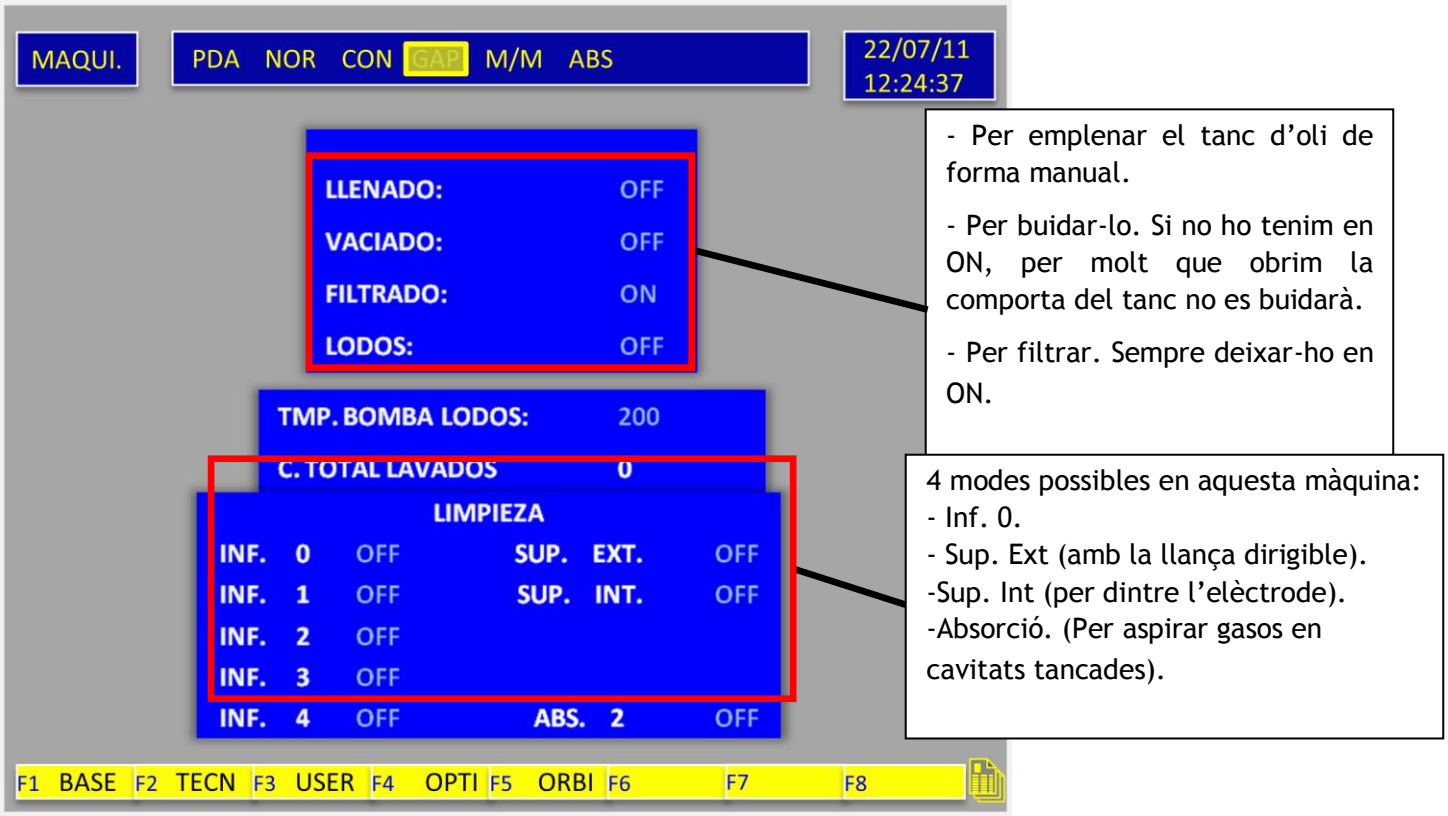


Figura A. 12. Esquema il·lustratiu de la pantalla de la màquina electroerosionadora

Anant a Base>Maq>Tecn>Strat podrem anar a un espècie d'assessor per fer un programa.

- **Profunditat:** El que volem que mengi, sense comptar el gap.
- **Cota final (CF):** Posar la cota absoluta a assolir, en negatiu si cal.
- **Criteri:** Mínim desgast, màxim arranc,...
- **Ranura:** Si el l'elèctrode mecanitzarà una ranura.
- **Sel Reg Desbaste:** Fer-ho per superfície d'elèctrode millor, no per VDI. Cal posar els CM^2 que té l'elèctrode.
- **Sel Reg Final:** Aquí si, seleccionar-ho per VDI en comptes de per superfície.
- **Sup real electrodo:** Hem de posar la diferència en radi de la mida de l'elèctrode respecte el forat, sense comptar el gap. Si posem 0, vol dir que no tenim l'elèctrode fet i, llavors, ell ens recomanarà la mida a la que hem de mecanitzar-lo.
- **Tabla usuario**: si en farem servir o no.
- **Velocitat**: Si posem 0 agafa el 100%.
- **Sentit:** Sentit del mecanitzat. Generalment – (cap a baix).
- **ANLS (F2):** ens dirà la VDI que aconseguirem, i el subdimensionament de l'elèctrode.
- **Selecció de neteja:**
- **N.Prog:** el número de programa on enviarà el codi.
- **GENP (F4):** generem el programa.

A.12. MANTENIMENT

A.12.1. FILTRES D'OLI

Canviar-los quan es vegi que costa regenerar l'oli (l'oli que entra no és del tot net).

A.12.2. GUIES I "USILLOS"

Recomanen cada 3 mesos, però nosaltres si no la fem servir molt ho podem fer 1 cop l'any aproximadament. Per realitzar les tasques de manteniment hem de desmuntar els acordions i engrassar les guies i els "usillos" dels 3 eixos. Es pot demanar grassa a ONA. Es recomana grassa Shell Alvania R2.

A.12.3. FILTRE DEL CONTROL

Per un manteniment òptim s'ha de realitzar 2 cops l'any. En aquest procés s'ha de netejar aigua i aire comprimit. Muntar la reixa i tirar l'esprai blanc (Viscosina).

A.12.4. DETECTOR DE FLAMES

A.12.4.a. FUNCIÓ

Tal i com el seu nom indica, la seva funció es detectar les flames en la zona de treball.

L'actuació d'aquest dispositiu provoca les següents situacions:

- Desactivació de la potència
- Desactivació de l'erosió
- Aïllament del tanc de treball. Mitjançant electrovàlvules s'evita el pas de dielèctric del tanc de treball al filtre i viceversa
- Generació d'una senyal elèctrica per ús del client (possible connexió al sistema general d'alarmes, etc.). La descripció d'aquesta senyal es pot localitzar en l'apartat 1.4.3 de connexions exteriors del capítol 1 del *Manual d'instruccions*
- Alarma "DETECTOR DE FLAMA" en el CNC

ADVERÈNCIA: La proximitat de soldadura elèctrica o de qualsevol tipus de flama (encenedors, llumins, etc.) pot activar aquest dispositiu.

Per resetejar aquesta alarma eliminar la causa que l'ha provocat, accionar el polsador de RESET BLANC del detector de flames, i polsar la tecla "RST" en la pàgina de "ALARMA" del CNC.

A.12.4.b. MANTENIMENT

Periodicitat: setmanal

Mètode: durant una operació d'erosió, mitjançant una petita flama (encenedor, llumí, etc.) aplicada just sota de l'element de seguretat, comprovar que:

- El control activa l'alarma "Detector de flames"
- Es desactiva l'erosió
- El nivell de dielèctric en el tanc de treball es manté constant (ni es buida, ni s'emplena més)

NOTA IMPORTANT: Per més detall dels processos de manteniment a seguir de la màquina es disposa d'un manual addicional exclusiu per aquest apartat (MANUAL DE DESCRIPCIÓ I MANTENIMENT PREVENTIU ONA SÈRIE DB 300).

A.13. EXEMPLES DE PASSOS A SEGUIR PER LA REALITZACIÓ D'EXPERIMENTS

Exemple de programa

Anirem trobant les diferents funcions de màquina apretant la tecla ETC dintre de l'edició de programa.

Establiment del decalatge nº1: ESTB:DECA:1
Emplenat del tanc: LTNQ.
Activació de neteja: ACT:LIMP:SUPE:EXT
SPRG:LIMP (tipus de neteja)
SPRG: CAUDAL

Paràmetres: SREG: VDI:38, Criterio:3, Tecnologia:1
(Si volem programar paràmetres manualment, en comptes de fer SREG fer SPRG)
Posicionament amb moviment ràpid: TRAV: X15, Y15, Z2.
Activar rellotge nº 1: ATMP: reloj nº1
Començar erosió: Eros:Z-1.890 (tindrem en compte el gap real per deixar-ho a profunditat de 2mm) + RTAV (per retornar al punt inicial quan acabi).
Moviment ràpid: TRAV: X20, Y-16.
Començar erosió: Z-1.890.
Orbital quadrat: ORBI:QUAD:0.2, farà orbitals quadrats amb radi 0.2mm. Posant-ho després de l'erosió el que farà és baixar fins a -1.890 i quan arribi orbitar.
Tornem a posició inicial: TRAV: Z2. Ara no podem usar el RTAV com abans, xk hem fet l'orbital pel mig i només recorda on estava en la línia anterior.
Posicionament ràpid: TRAV: X20 Y7
Erosió: EROS:Z-1.890 + ORBI:QUAD:0.2 + RTAV. Ara anirà baixant i orbitant en les diferents capes de Z.
Posicionament ràpid: TRAV: X-7 Y-2.
Erosió: EROS:Z-1.890
Interpolació lineal: INTER:LINEL:X-13 Y-4 (En coordenades absolutes). Anirà erosionant en línia recta.
Retorn a l'inici: TRAV:Z2
Posicionament ràpid: X-15, Y-15.
Erosió: EROS:Z-1.890.
Vector:VECT:4:ANGL:15. Vector de mòdul 4mm i angle 15º, sentit antihorari.
Parem rellotge nº1: PTMP:nº1.
Retorn: TRAV:Z50.
Desactivem neteja i buidem tanc: SPRG:LIMP: DESA + VTNQ.

Exemple de càlcul d'elèctrodes

A continuació es presenta com es pot programar, de forma manual, per fer un forat amb precisió, tenint en compte el gap. Una altra manera de fer això de forma més automàtica seria utilitzar "l'assessor de programació" que trobarem a Base>Maq>Tecn>Strat, que s'ha explicat abans.

Forat objectiu: 10mm.

Tenim dos opcions:

1. Fer directament el forat de cop (amb la rugositat final desitjada)
2. 2. Fer el forat amb desbast per anar més ràpid. Caldrà fer orbitals per obtenir la rugositat i dimensió final desitjades.

ONA

TECNOLOGIA ONA CS / HS

E - Cu
St
TECNO:

VDI	35			36			37		
CRITERIO	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	9	8	7		9	8	10	9	8
V	80	200	200		80	200	80	80	200
µseg	50	100	400		100	200	50	100	400
µseg	6.4	25	50		13	50	13	13	100
C	0	0	0		0	0	0	0	0
N.S.	2	2	2		2	2	2	2	2
V	30	30	30		30	30	20	20	20
seg	0.2	0.2	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
seg	0.8	0.8	0.8		0.8	0.8	1.6	1.6	1.6
V % vol.	16.00	1.00	<0.50		5.00	0.50	30.00	5.00	<0.50
V_w in³/h	0.4210	0.2746	0.1171		0.4400	0.2380	0.5858	0.4400	0.2013
V_w mm³/min	115	75	32		120	65	160	120	55
▽	195			225			240		
▽▽	135			140			150		
▽▽	65			75			80		
▽▽	75			80			85		

GAP de desbast: S'utilitza quan es fa el forat en vàries vegades.

GAP d'acabat quan es fa neteja per expulsió.

GAP d'acabat quan es fa neteja per aspiració.

GAP per orbitals

* Totes les mides són en radi

Figura A. 13. Detall de la Taula Tecnològica facilitada pel fabricant

Opció 1:

Triem rugositat VDI=35, tenim neteja d'expulsió. Anem a la segona fila (neteja d'expulsió). L'elèctrode haurà de fer 10mm- 2x135µm=9.730mm de diàmetre.

Opció 2:

Arribarem a VDI=35 passant per VDI=37. Anem a la primera fila (càlcul). L'elèctrode haurà de fer 10mm-2x240 µm=9.520mm de diàmetre. Fem el forat, que realment quedarà a 9.520+2x150µm= 9.820mm.

La diferència entre 10mm i 9.820mm s'haurà de compensar amb orbitals:

(10-9.820)/2=90 µm en radi

Que és proper al que apareix a la última fila (85 µm). Aquestes taules serveixen per fer cavitats amb més precisió, però també tenen un marge d'error.

ANNEX B. TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ

B.1. TERMINOLOGIA DE L'ELECTROEROSIÓ

B.1.1. TERMINOLOGIA GENERAL

Arc: Successió de descàrregues elèctriques que es focalitzen en un punt. Tenen un efecte destructor.

Aspiració: Succió del líquid dielèctric a través de la peça o elèctrode.

Curtcircuit: Situació donada quan existeix contacte directe entre els dos elèctrodes (elèctrode i peça). No té efecte destructor però, tot i així, el seu efecte és negatiu pel procés.

Cràter: Cavitat realitzada per cada un dels impulsos sobre la superfície que s'està mecanitzant.

Desgast: Es denomina desgast volumètric relatiu (θ_v) a la relació entre el volum de material arrencat de l'elèctrode i l'arrencat de la peça (en tant per cent).

$$\theta_v = \frac{Volum\ arrencat\ en\ l'elèctrode}{Volum\ arrencat\ de\ la\ peça} \times 100$$

Es pot mesurar també el desgast frontal, que es tracta de la zona desgastada de l'elèctrode (figura 3.1.).

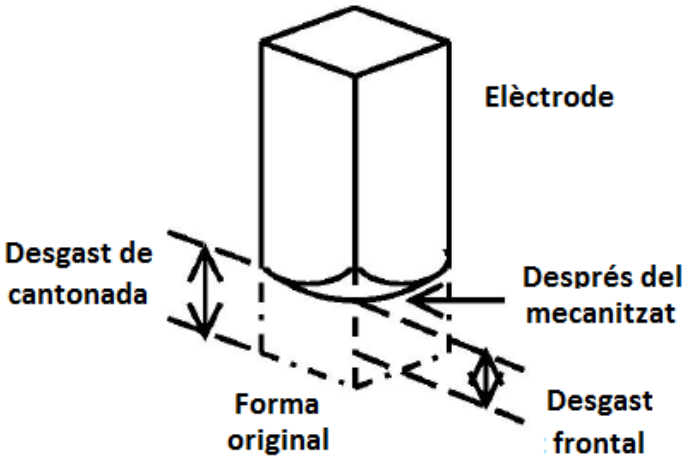


Figura B. 1. Desgasta d'un elèctrode

Desionització: Retorn del líquid dielèctric a la situació normal no conductora després de cada descàrrega elèctrica.

Dielèctric (líquid): Fluid líquid no conductor de l'electricitat que s'utilitza en electroerosió. És on es submergeixen la peça i l'elèctrode durant el procés de mecanitzat.

Elèctrode: Eina de treball que s'utilitza en l'electroerosió.

Estabilitat de funcionament: En una màquina d'electroerosió es treballa de forma estable quan hi ha absència de curtcircuits i arcs.

Estat de superfície (Rugositat): Es tracta d'un estat superficial multidireccional. Està relacionat amb la rugositat mitjana (Ra) per mitjà del número de rugositat (Nr) VDI 3.402. Es compleix la relació següent:

$$Nr = 20 \cdot \log(10 \cdot Ra)$$

Estant Ra expressat en µm.

GAP: Espai entre elèctrode i peça en el qual tenen lloc les descàrregues. Es pot distingir entre:

- GAP FRONTAL (figura 3.2.): quan l'espai citat anteriorment no és paral·lel a la direcció de l'eix de penetració.
- GAP LATERAL (figura 3.2.) : GAP paral·lel a l'eix de penetració. En aquest cas el GAP és més gran.

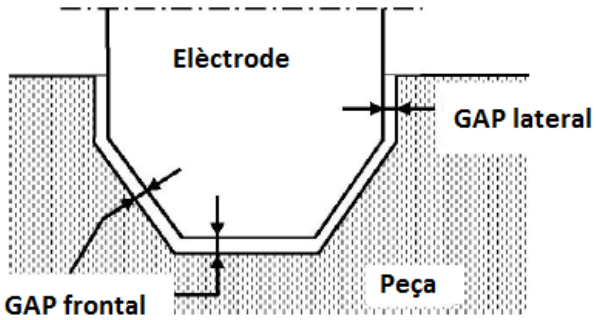


Figura B. 2. GAP frontal i lateral

Injecció de dielèctric (neteja per): Introducció de dielèctric en el GAP per injecció a una pressió donada.

Ionització: Període anterior al pas de descàrrega elèctrica durant el qual el líquid dielèctric es converteix en conductor en un punt donat. Per això s'ha d'aplicar la tensió elèctrica en ambdós elèctrodes.

Neteja: Arrossegament del dielèctric que es troba contaminat dins del GAP, substituint-lo per un altre de net.

Polaritat: Pol al qual s'ha unit l'elèctrode.

Pol·lució: Grau de brutícia del dielèctric del GAP. Aquest conté restes del craking del dielèctric i del material erosionat.

Rendiment: Conjunció entre una bona velocitat d'arrencada de material i un desgast el més baix possible. Per obtenir un bon rendiment s'ha de tenir una bona estabilitat en el treball.

Rigidesa dielèctrica: Camp elèctric que és capaç de resistir el dielèctric sense ionitzar-se, és a dir, sense tornar-se conductor ([KV/cm]).

Viscositat: La viscositat d'un fluid correspon a la resistència de fregament que exerceix el desplaçament relatiu de les seves molècules quan es troba el fluid en moviment ([St] o [cSt]).

B.1.2. TERMINOLOGIA ELÈCTRICA

Descàrrega: Pas de corrent a través d'algun punt del GAP, deguda a un impuls de tensió.

- DESCÀRREGA ISOENERGÈTICA: Cas en el que es compleix que totes les descàrregues tenen la mateixa energia.

- DESCÀRREGA ISOFREQÜENCIAL: Cas en el que es compleix que la freqüència de descàrregues es constant.

Freqüència d'impuls (fp): Nombre d'impulsos que es produeixen per segon.

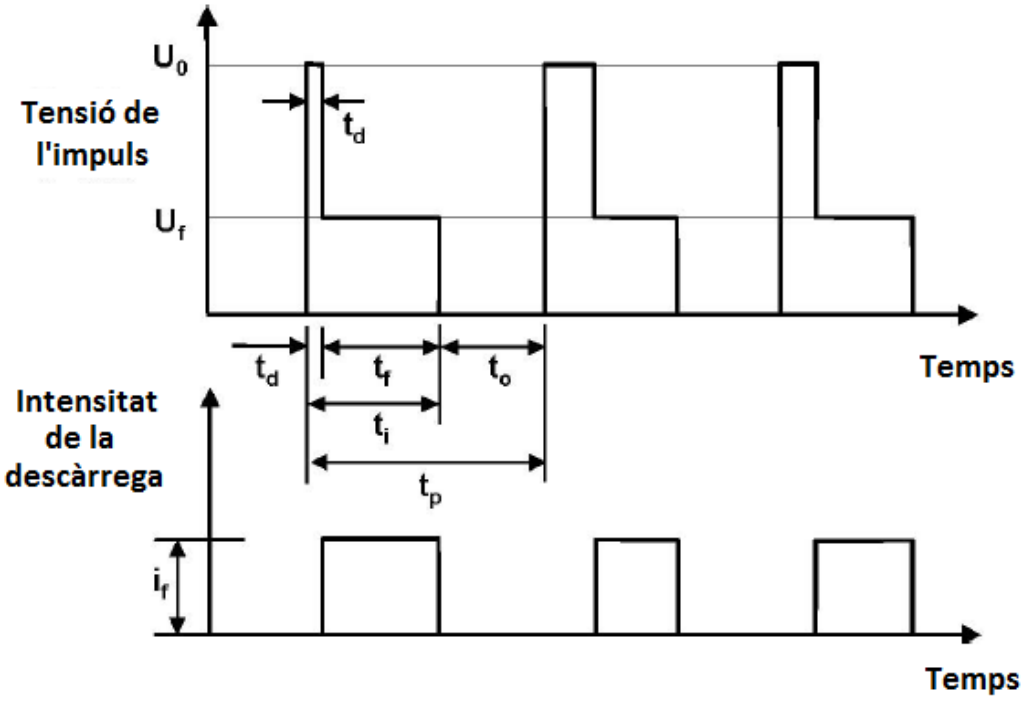


Figura B. 3. Terminologia elèctrica (VDI 3402)

Període (t_p): Temps que passa des de l'inici d'un impuls fins a l'inici de l'impuls següent.

Tensió de descàrrega (U_f): Tensió entre elèctrode i peça després de cebar de la descàrrega.

Tensió en buit (U_0): Tensió entre l'elèctrode i la peça abans de cebar la descàrrega, o tensió entre elèctrodes si no hi ha descàrrega.

Impuls de tensió: Tensió aplicada a ambdós elèctrodes durant un temps determinat.

Intensitat mitja de corrent (I_{fm}): Valor mig del corrent que circula pel GAP durant el mecanitzat. És el valor que es llegeix en l'amperímetre.

Intensitat d'impuls (I_f): Intensitat que circula pel GAP durant una descàrrega.

Temps de descàrrega (t_f): Tems durant el qual passa la descàrrega fins que elèctricament es talla el corrent.

Temps d'impuls (t_i): Temps que dura l'impuls d'erosió entre ambdós elèctrodes.

Temps de pausa (t_0): Interval de temps que transcorre entre el final d'un impuls i l'inici del següent. Es verifica que:

$$t_p = t_i + t_0$$

Temps de retràs de descàrrega o d'ionització (t_d): Temps que transcorre entre l'aplicació de l'impuls de tensió i l'inici de la descàrrega. Sol ser molt petit, de l'ordre de 0,5 a 2µs. Es compleix que:

$$t_i = t_d + t_r$$

B.1.3. TERMINOLOGIA DE PARÀMETRES DE PROCÉS

Intensitats: Indica els diferents nivells de potència que es poden obtenir del generador. Cada nivell de potència porta associada una intensitat mitja.

INTENSITAT Nº	INTENSITAT DE VALOR MIG (A)	INTENSITAT Nº	INTENSITAT DE VALOR MIG (A)
1	0,5 A	9	24 A
2	1 A	10	32 A
3	2 A	11	48 A
4	4 A	12	64 A
5	6 A	13	96 A
6	8 A	14	128 A
7	12 A	15	192 A
8	14 A	16	256 A

Taula B. 1. Valors d'intensitats

Tensió d'encesa: Indica els diferents nivells de tensió d'ionització en el "GAP".

Temps d'impuls: Indica el temps de la descàrrega, variable de 1 a 6500 microsegons. El valor de l'impuls és decisiu tant per la capacitat d'arrencada com pel desgast.

Temps de pausa: Indica l'interval entre dues descàrregues successives, variable s'1 a 6500 microsegons. Una pausa excessiva pot ser causa de formació d'arc i una pausa massa llarga redueix la capacitat d'arrencada, augmentant el desgast.

Condensadors: Paràmetre de condensadors actius en el generador de microfi.

Nivell de seguretat: Paràmetre que condiciona l'actuació de l'optimitzador automàtic d'erosió. En funció de l'activitat experimental a realitzar hi ha quatre nivells:

- NIVELL 0: L'optimitzador queda anul·lat i es restringeixen al màxim les actuacions de protecció. Només s'activa la modificació de paràmetres per garantir una mínima qualitat superficial. Està destinat a operaris experts que desitgin tenir control sobre els paràmetres i vigilar personalment l'erosió.
- NIVELL 1: Es prima la consecució de màxima arrencada sobre la qualitat superficial. Destinat a situacions amb bona neteja i/o bones condicions previsibles d'erosió.
- NIVELL 2: És el nivell per defecte. Aquest nivell s'adequa a la gran majoria de situacions. S'obté un bon equilibri entre arrencada i qualitat de superfícies erosionades. L'optimitzador pren com a referència el valor del temps de treball programat per determinades circumstàncies, pel que pot estar ajustat si es considera necessari. En els règims de semiacabats (Intensitat ≤ 6A) es respecta com a temps màxim de treball.
- NIVELL 3: Es prima la qualitat superficial sobre l'arrencada. L'optimitzador respecta el temps de programat com a temps màxim. Destinat a treballs on és prioritari la qualitat de les superfícies erosionades o quan el règim de finalització sigui alt.

Temps de retrocés / de treball: Temporitzador manual en el que es posa el temps de retrocés real i el temps de treball real en segons. Aquest valor pot varia dins de l'interval de 0 a 25 segons. No obstant, quan el temps de treball arriba a 25s, el temporitzador queda anul·lat.

Valor de desgast: El valor que s'indica en les taules és la relació percentual del volum de l'elèctrode gastat, respecte al volum de material arrencat, segons VDI 3402.

Capacitat d'arrencada: Volum de material arrencat de la peça mecanitzada, per unitat de temps, essent el valor indicat en les taules de tecnologia l'obtingut amb una superfície segons normes VDI3402. Les capacitats reals depenen de la superfície de l'elèctrode i tendeixen a augmentar amb la grandària d'aquest a grans intensitats.

"GAP" de desbast: El valor que s'indica en les taules és la suma del GAP, la rugositat màxima i un factor de seguritat. Aquesta dimensió, per una banda, serà la que s'ha de tenir en compte quan es construeixi l'elèctrode de desbast. L'experiència de l'operador farà que pugui ajustar els valors més adequadament.

"GAP" d'acabat (corresponent a l'últim règim a utilitzar i usant neteja per pressió): El valor indicat en les taules és l'espai entre elèctrode i peça.

"GAP" d'acabat (corresponent a l'últim règim a utilitzar i usant neteja per aspiració): El valor indicat en les taules és l'espai entre elèctrode i peça.

"GAP" en erosió amb orbitals: El valor indicat en les taules és l'espai entre elèctrode i peça.

Addicionalment, hi ha alguns paràmetres que influeixen en els resultats de l'experimentació que no es troben en aquesta taula tecnològica facilitada pel fabricant. Aquests són:

- **NETEJA**: A l'Annex C: ELECTROEROSIÓ (EDM), hi ha una explicació més exhaustiva. De totes maneres hi ha tres tipus de neteja: Contínua, Intermitent i d'Absorció.
- **CABAL**: Un cop seleccionada el mode de neteja corresponent, mitjançant aquest paràmetre es regula la pressió d'injecció del dielèctric per la seva sortida corresponent o en cas d'haver seleccionat el mode de neteja per absorció, es regula buit produït. Aquest paràmetre oscil·la entre 0 i 31.

Paral·lelament, tenim una sèrie de paràmetres dins d'una estratègia que ens permet generar un programa o una taula d'usuari. Aquests valors són:

- **PROFUNDITAT**: Profunditat que s'erosionarà en l'eix principal seleccionat sense tenir en compte el GAP.
- **COTA FINAL**: Cota fins la qual es desitja erosionar en l'eix principal seleccionat.
- CA**V**ITAT: Tipologia de l'erosió realitzada, ja sigui una cavitat cega o passant.
- **TIPOLOGIA D'ESTRATÈGIES**: Selecció de diferents estratègies en l'experimentació com Orbitals circulars, Orbitals quadrats, Esferes creixents, Esferes decreixents, Erosions, Funcions angulars, Erosió en l'espai,...
- **CONICITAT DE L'ELÈCTRODE**: Amb aquest paràmetre s'indica l'angularitat de l'elèctrode (angle de la ranura).
- **EIX PRINCIPAL**: S'ha de seleccionar l'eix principal de treball (X, Y, Z).
- **VELOCITAT**: Programa de velocitat de l'estratègia en mm/s. Si el valor que s'introdueix és 0, es selecciona el valor per defecte de 10.
- **SENTIT**: Indica la direcció de l'erosió. Sentit negatiu (-) i Sentit positiu (+).

Com que hi ha molts paràmetres per determinar la màquina ofereix una possibilitat que ens indica si el dimensionament de l'experiment realitzat és correcte. Un cop acabat l'anàlisi pertinent, la mateixa màquina ens indicarà quins paràmetres introduïts són els que presenten errors i, al mateix temps, intenta facilitar alguns paràmetres pròxims als que ha introduït l'usuari i que si serien correctes.

En resum, analitzant tots els paràmetres, en la taula que tenim a continuació es representen tots els seleccionats per un correcte experiment.

Paràmetre		Unitats	Valors	ALTRES PARÀMETRES:			
Intensitat	I	A	1	Neteja	Absorció		
Voltatge	V	V	-200	Cabal	(0-31)	0	
Temps d'impuls	Ti	ms	3,2	Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Temps de pausa	To	ms	3,2	Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
Condensadors	C	-	22	CAVITAT	CEGA		
Nivell de seguretat	NS	-	2	Tipologia d'estratègia	-		
Paràmetre de referència per l'erosió	SERVO	V	65	Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Temps de retrocés	-	s	0,2	Eix principal	Z		
Temps de treball	-	s	0,8	Velocitat	Per defecte (10)		
Valor de desgast	V (%)	%	0	Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Capacitat d'arrencada	V w	mm^3/min	0	Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

Taula B. 2.Totalitat de paràmetres de control del procés d'electroerosió

A partir d'aquí s'ha anat variant diferents paràmetres dels establerts per la taula anterior. El motiu pel qual s'ha anat variant aquests paràmetres ha estat adaptar uns valors inicials, preparats per treballar a meso-escala, per treballar a micro escala. Addicionalment, un altre aspecte a tenir en compte a l'hora de seleccionar uns paràmetres o altres, ha estat la qualitat superficial que s'obtenia. D'aquesta manera, en funció dels resultats obtinguts, el quals s'analitzaran posteriorment, hem pogut fixar uns paràmetres òptims comuns a tots els experiments desenvolupats en l'experimentació final.

ANNEX C. ELECTROEROSIÓ (EDM)

C.1. NETEJA

C.1.1. DEFINICIÓ

Es defineix com a neteja a la circulació del líquid dielèctric entre l'elèctrode i la peça que s'està mecanitzant. Aquest espai és molt petit i ha estat definit com a "GAP".

La neteja és molt important en aquesta tipologia de procés de mecanitzat, ja que d'ella depèn, en gran part, el rendiment. Si la neteja és bona s'obté poc desgast en l'elèctrode i una bona capacitat d'arrencada de material. Si pel contrari no es donen bones condicions de neteja, s'augmentarà el desgast i es disminuirà l'arrencada de material, donant-se per tant, un mal rendiment de l'operació. Només amb una gran experiència s'aconsegueix determinar la forma de neteja en cada cas.

L'objectiu de la neteja és eliminar les impureses presents durant l'erosió en la zona de GAP. Aquestes impureses són:

- Gasos que provenen de la dissociació del dielèctric.
- Partícules de carbó que provenen del "cracking" del dielèctric.
- Partícules procedents de l'erosió, que han esta arrencades d'ambdós elèctrodes.

Degut a les altíssimes temperatures que es donen en els punts on es produeixen les descàrregues elèctriques, el líquid dielèctric pateix un procés de "cracking", és a dir, de descomposició. Això fa que es desprenguin bombolles de gas i partícules de carbó.

Les partícules de carbó són, en general, molt fines i de mol poc pec específic. Això fa que es quedin en suspensió i no siguin fàcilment arrossegades pel dielèctric.

Les bombolles de gas, en general, són evacuades pel GAP. Però una concentració de gas excessiva fa que no es pugui formar bé les descàrregues, perdent-se rendiment.

En quan a les partícules arrencades de l'elèctrode i peça, és a dir, el que es podria considerar com la viruta de l'electroerosió. Poden ser de diferents formes, segons els materials que componen els elèctrodes citats. Segons aquesta característica apareixen diverses formes i grandàries, com són boles massisses, formes tetraèdriques i altres formes de geometria diversa (Figura C. 1).

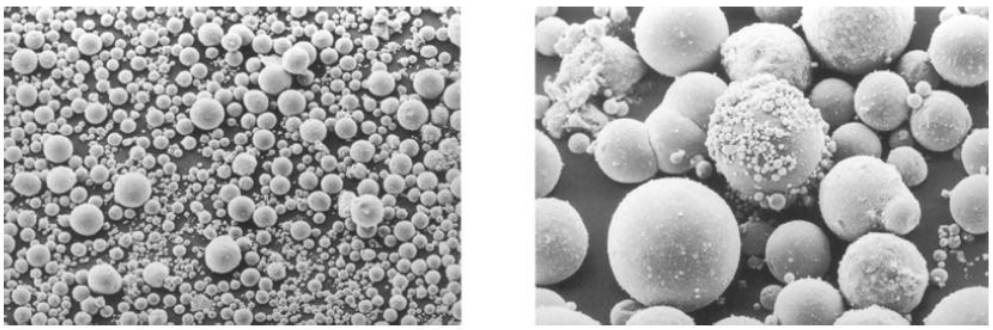


Figura C. 1. Fotografies de residus de l'electroerosió (TECNUN, 2006)

En general, l'acer sol donar boles grans, ben buides o massisses, l'alumini formes espumoses i grans, el coure sol aparèixer en formes petites i, el grafit i el metall dur, en forma de pols fina. A vegades apareixen (es pot observar mirant en un microscopi electrònic), trossos de material d'ambdós elèctrodes en una mateixa partícula.

C.1.2.INFLUÈNCIA DE LA CONTAMINACIÓ DEL GAP EN EL PROCÉS D'ELECTROEROSIÓ

Una pregunta que es pot plantejar és si és millor un GAP amb molta contaminació, amb poca o amb el dielèctric pur.

Al principi del mecanitzat, el líquid dielèctric es pot considerar pur, ja que acaba de ser filtrat. Per això, està totalment exempt de les partícules mencionades en l'apartat anterior.

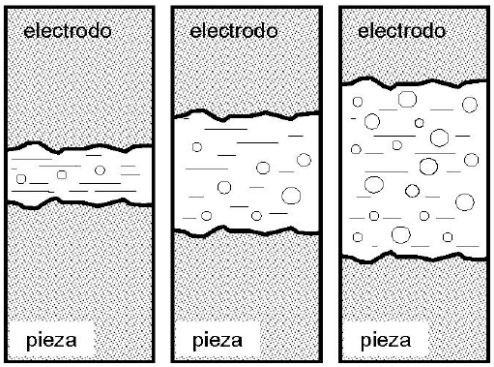


Figura C. 2. Grau de contaminació i dimensió del GAP

Se sap que la resistència que oposa un dielèctric pur al pas de la corrent elèctrica és major que la que s'oposa un dielèctric amb certa quantitat de partícules. Per això, en els primers impulsos, el temps de retràs de l'encesa (t_d) és gran. Una vegada que el dielèctric està contaminant aquest temps disminueix fent la descàrrega més fàcil. A més a més, quan hi ha contaminació, el GAP augmenta (Figura C. 2). Això facilita la regulació al disposar d'un espai major.

No obstant, si la contaminació és molt gran, la resistència del dielèctric disminueix molt i poden esdevenir els fenòmens següents:

a) L'excessiva quantitat de gasos pot donar lloc a que no es formi bé el canal de descàrrega, i que en lloc de ser cilíndric, es ramifiqui perdent rendiment.
b) Es pot donar que part de l'energia s'utilitzi en tornar a fondre les partícules ja arrencades, perdent rendiment.
c) Un excés de contaminació pot donar lloc a que es formin arcs i curtcircuits que danyin a l'elèctrode i a la peça.

Per això, aquest excés de gasos i partícules ha de ser eliminat del GAP per mitjà de la neteja, o sigui, per la circulació del líquid dielèctric a través d'ell.

La neteja és, per tant, tan important com els paràmetres elèctrics (nivell d'intensitat, temps d'impuls i pausa, etc), en quan es refereix a l'obtenció d'un bon rendiment. No ha de ser excessivament forta ni excessivament dèbil, ja que per obtenir un bon rendiment és precís que el GAP es trobi una mica contaminat.

C.1.3. FORMES DE NETEJA

Totes les màquines d'electroerosió es troben equipades per realitzar la neteja pels procediments que a continuació s'indiquen:

C.1.3.a. Neteja per pressió

Aquest mètode consisteix en introduir el dielèctric en el GAP (Figura C. 3 i Figura C. 4), o bé a través de la peça o de l'elèctrode.

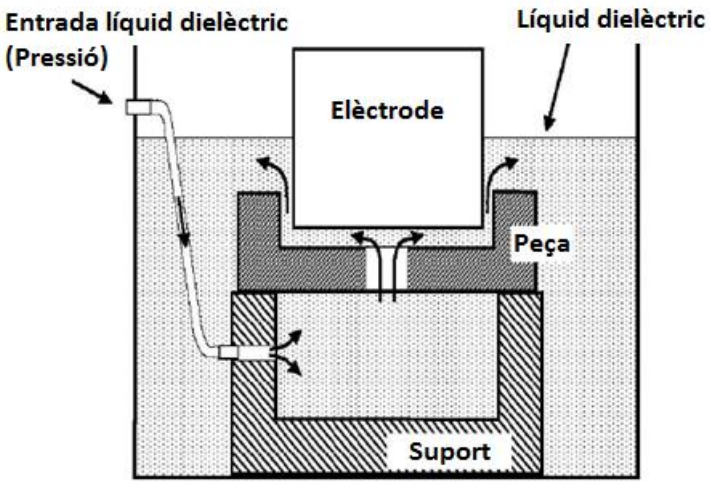


Figura C. 3. Neteja per pressió a través de la peça

La Figura C. 3, mostra el ca de la neteja per pressió a través de la peça. Aquesta es col·loca sobre un suport, el qual arriba el tub que està connectat al comandament de pressió.

El dipòsit s'omple de líquid que surt cap al GAP, espai entre l'elèctrode i la peça, per mitjà d'un orifici que s'ha practicat amb anterioritat en la peça. S'ha de d'anar amb compte de que el taladratge citat sigui realitzat amb anterioritat al temple en el cas de que la peça que s'hagi d'erosionar sigui d'acer trempat.

La neteja per pressió a tracés de l'elèctrode es mostra en la Figura C. 4:

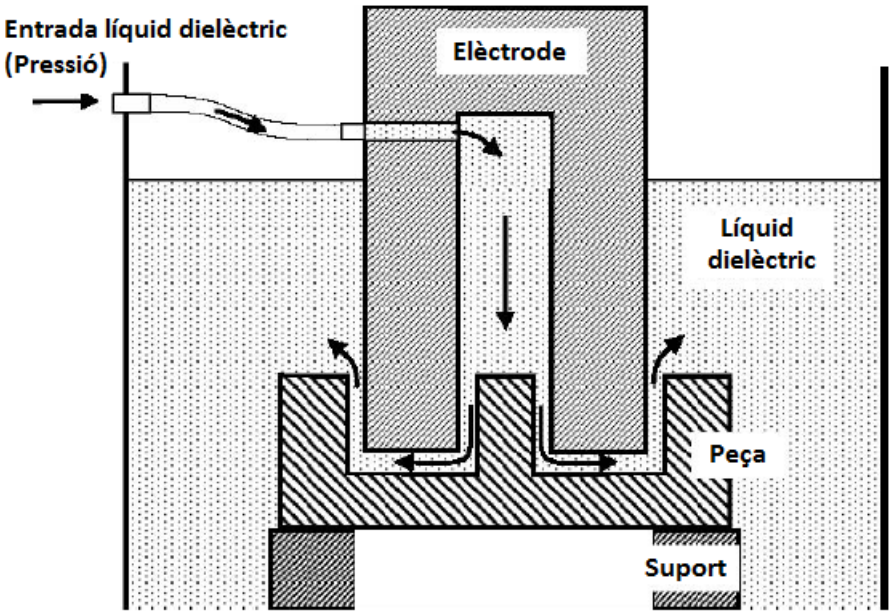


Figura C. 4. Neteja per pressió a través de l'elèctrode

En aquest cas el líquid és injectat per un forat practicat per l'elèctrode.

La neteja per pressió dona com a resultat forats lleugerament cònics (Figura C. 5 i Figura C. 6) quan es realitzen forats amb un elèctrode de secció constant. Aquesta conicitat és deguda a un efecte de l'electroerosió, que es pot dir secundària, en el GAP lateral, a pesar de que com ja s'ha dit, el GAP lateral és major que el frontal.

Aquesta erosió secundària és deguda a que el pas de les partícules pel GAP lateral, crea a vegades condicions idònies per que es donin descàrregues laterals, el qual per un costat constitueix una pèrdua de rendiment, ja que tals descàrregues, que s'haurien de produir frontalment, no es donen així, sinó lateralment.

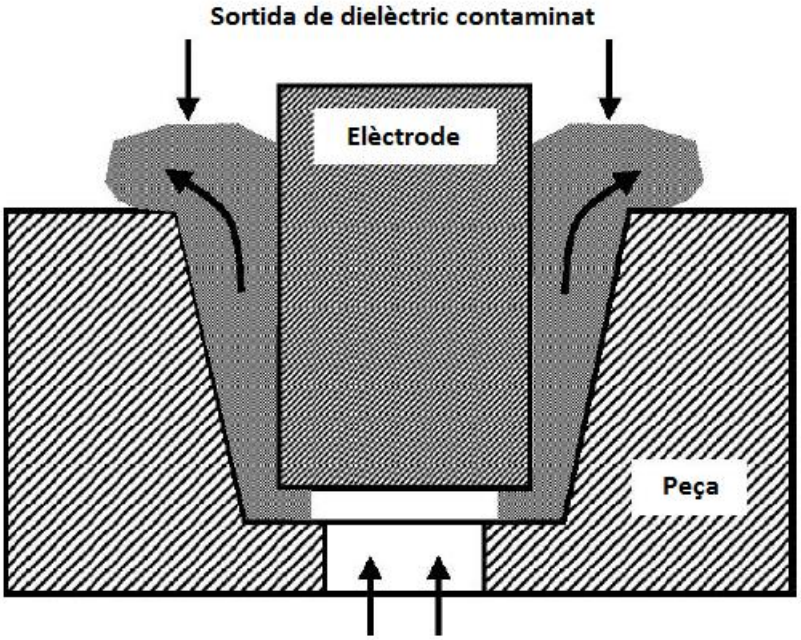


Figura C. 5. Conicitat en un cas de neteja per pressió a través de la peça

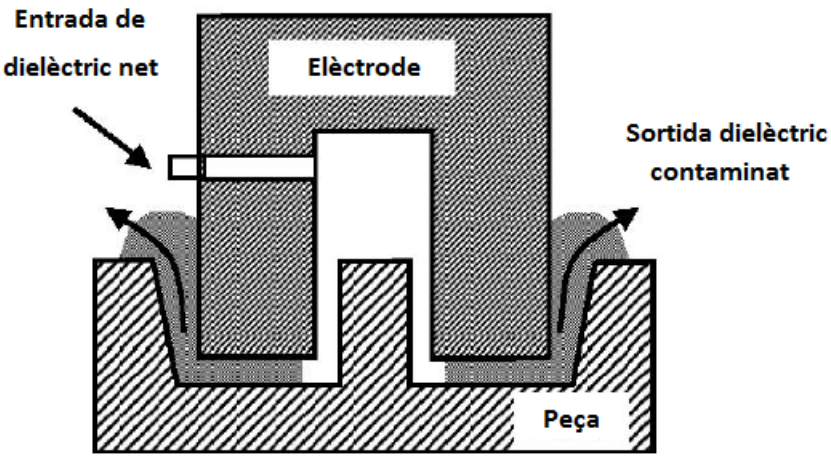


Figura C. 6. Conicitat en un cas de neteja per pressió a través de l'elèctrode

Aquest mode de neteja pot ser usat, i de fet s'utilitza, en el mecanitzat de matrius per encunys, en els quals es busca intencionadament una determinada conicitat. S'ha de tenir en compte llavors, que la matriu s'ha de disposar per erosionar en el sentit invers al del seu muntatge en l'encuny, amb el fi d'obtenir la conicitat en el bon sentit.

En el cas de neteja per pressió a través de l'elèctrode es va formant un cilindre que es part de la peça que s'està erosionant. Si el forat a realitzar és totalment passant, quan l'elèctrode arriba al final, dit cilindre pot moure's tocant les parets de l'elèctrode i produint un curtcircuit permanent. Per això s'ha de parar el procés, amb el fi d'arrencar el cilindre, i després acabar el procés. El moviment orbital pot ajudar a reduir aquest problema.

C.1.3.b. Neteja per aspiració

Aquest procediment consisteix en succionar dielèctric, des del tanc de treball, a través de la peça pel vas suport, o a través de l'elèctrode (Figura C. 7 i Figura C. 8).

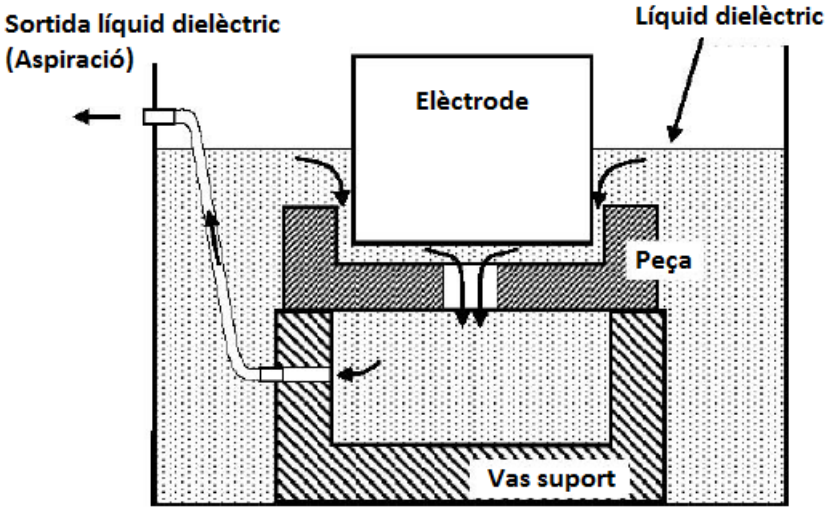


Figura C. 7. Neteja per aspiració amb vas a través de la peça

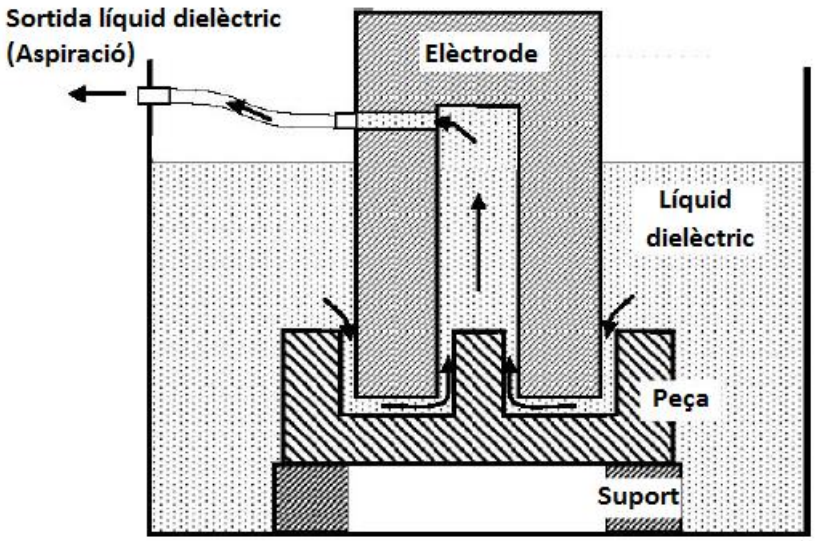


Figura C. 8. Neteja per aspiració a través de l'elèctrode

Aquest procediment de neteja sol donar, en general, quan l'aspiració es realitza per l'elèctrode, millors resultats que si es realitza per la peça en el que refereix a capacitat d'arrencada.

Per altra banda, la tècnica de neteja per aspiració, sigui per elèctrode o per la peça, permet evitar l'erosió lateral secundària (Figura C. 9 i Figura C. 10), sense formar-se, per tant, la conicitat que

ocorre en el mètode de pressió. En el cas de neteja per aspiració a través de l'elèctrode, dita conicitat es forma en el cilindre interior.

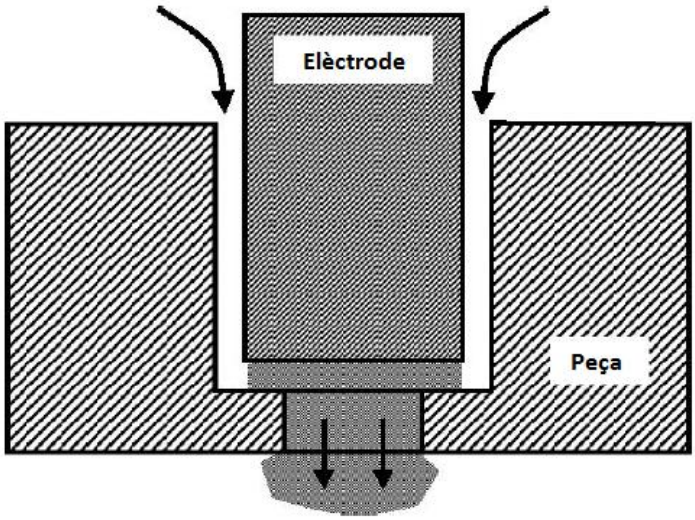


Figura C. 9. Conicitat per aspiració a través de la peça

La depressió de l'aspiració no pot arribar a valors alts com en la pressió. Es pot arribar només a uns 0,8 Kg/cm^2, el qual a vegades no dóna un bon rendiment.

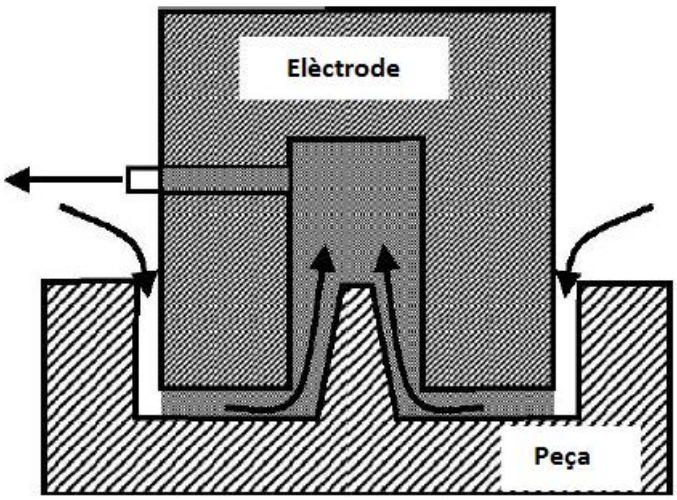


Figura C. 10. Conicitat amb neteja per aspiració a través de l'elèctrode

C.1.3.c. Neteja per llança lateral

Algunes vegades no es pot realitzar orificis ni en la peça ni en l'elèctrode pels quals es pugui introduir el líquid dielèctric fins al GAP amb l'objectiu d'efectuar la neteja.

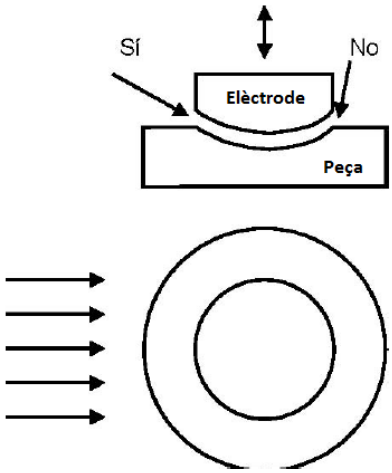


Figura C. 11. Neteja amb llança lateral

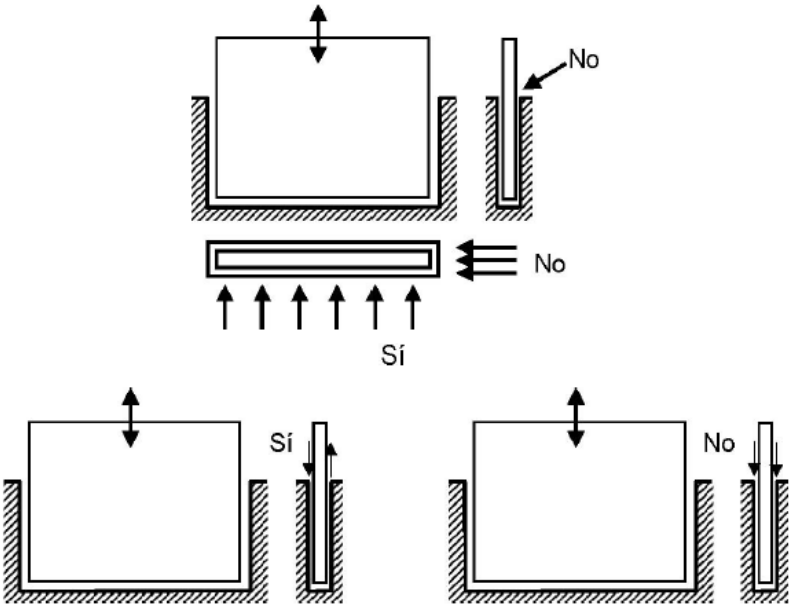


Figura C. 12. Neteja de ranures

Aquest és el cas d'útils de premsa per forjar, medalles, coberts, etc (Figura C. 11) i el cas de ranures profundes i estretes molt usades en la indústria del plàstic i joguines (Figura C. 12).

En la Figura C. 12 s'adverteix que la llança, que envia el dielèctric a pressió, ha de dirigir-se amb un angle determinat, prenent les precaucions següents:

a) L'angle d'entrada de la llança ha de coincidir, en tot lo possible, amb l'entrada del GAP lateral. Si no succeeix així (Figura C. 11) es formen turbulències a l'entrada del GAP, i és molt poca la quantitat de dielèctric que entre en ell, sense desenvolupant-se, en aquest cas, una neteja eficaç. Si el dielèctric està ben dirigit, la quantitat de dielèctric que entre en el GAP serà màxima.

Inclús en el cas de matrius de premsa per forja, s'han de mecanitzar accessos especials per l'entrada de dielèctric.

b) La direcció de la llança és molt important en el cas de les ranures estretes i profundes (Figura C. 12). Tenint en compte que el líquid dielèctric ha de mullar bé la superfície, si la direcció no és bona, a més de no entrar el dielèctric en el GAP, i donat el poc espessor de

l'elèctrode, aquest pot arribar a doblegar-se, corrent el risc de tenir contínues vibracions en l'elèctrode i inclús un gran nombre de curtcircuits.

c) En el cas de les ranures, en particular, i en tots els casos, en general, el líquid ha de ser introduït per la cara major, i el més repartit possible per dita cara, amb l'objectiu de mullar tota la superfície i arribar més fàcilment fins al fons.
d) En cap cas s'ha d'introduir el líquid dielèctric per dos costats oposats (Figura C. 12), ja que llavors ambdues corrents de dielèctric quedarien anul·lades.
e) Aquest mètode de neteja s'ha d'usar sempre combinat amb el temporitzador, de forma que s'elevi l'elèctrode temporalment, permetent l'entrada de líquid dielèctric net en el GAP.

C.1.3.d. Neteja amb temporització

El temporitzador és un dispositiu que controla el temps d'erosió, amb l'objectiu de retirar breument l'elèctrode del lloc de treball, augmentar el volum del GAP i poder retirar així més fàcilment els residus de l'erosió.

Aquesta és una forma de treballar sense usar ni el sistema de pressió ni el sistema d'aspiració (o en ocasions combinat amb qualsevol d'ells). D'aquesta forma no s'ha de practicar forats en l'elèctrode o en la peça (Figura C. 13).

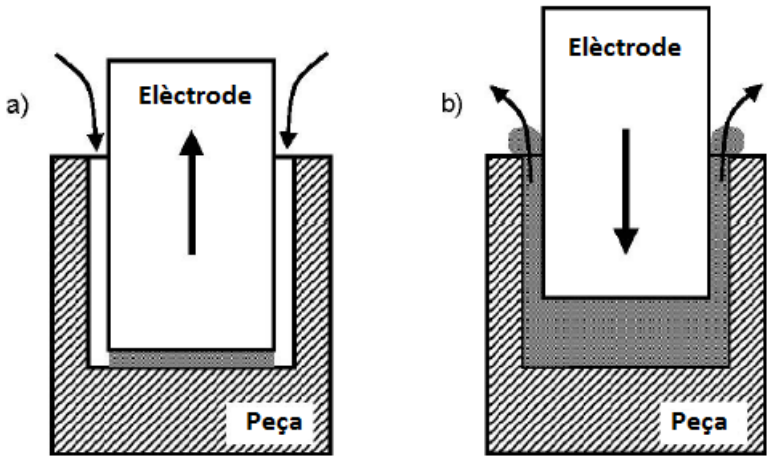


Figura C. 13. Neteja per temporització

En principi, la peça es troba introduïda en el tanc de treball ple de dielèctric. Durant un temps determinat, s'executa el procés d'erosió, contaminant-se el dielèctric. Al pujar l'elèctrode el volum del GAP augmenta, creant-se un buit que s'emplena amb el dielèctric net, el qual es mescla amb el líquid contaminat que es troba en l'interior.

Al baixar de nou, l'elèctrode disminueix el volum del GAP, obligant a sortir al seu exterior la major part del líquid, e qual arrossega les partícules contaminants.

Aquest forma de neteja s'usa en el mecanitzat de forats profunds, permetent l'erosió en els casos citats, sense circulació forçada de dielèctric. Si durant la sortida del dielèctric pel GAP, no hi ha tensió entre els elèctrodes, aquest mètode no dóna lloc a conicitats laterals.

El sistema de neteja amb temporitzador permet programar tant el temps de retrocés de l'elèctrode com el d'avanç de l'elèctrode i, per tant, la duració de l'erosió entre cada dos retrocessos de l'elèctrode.

En principi la duració d'ambdós temps depèn del treball a realitzar. Però, com a idea general, el temps de treball erosionant ha de ser el més llarg possible i el de retrocés el menor possible.

Existeix un cas especial de temporització, la temporització sincronitzada, que consisteix en efectuar la neteja de la zona de treball només durant el moviment de retrocés de l'elèctrode. Així, l'erosió s'efectua sense neteja, amb el que no existirien les limitacions que una neteja difícil podria ocasionar.

C.1.3.e. Neteja amb pressió intermitent

Consisteix en un alimentació no contínua de dielèctric fins al GAP. Amb això, s'obtenen desgasts menors en zones crítiques com són la sortida i entrada del dielèctric en orificis i canvis bruscos de succió.

El desgast sol ser més fort en la zona del canal de neteja, amb pressió contínua que amb pressió intermitent. Aquest fet s'explica perquè per cert grau d'impuresa del líquid el desgast és més regular i dèbil. Per això, el que es fa es renovar el líquid del GAP periòdicament.

La pressió intermitent pot arribar a evitar un segon elèctrode de desbast.

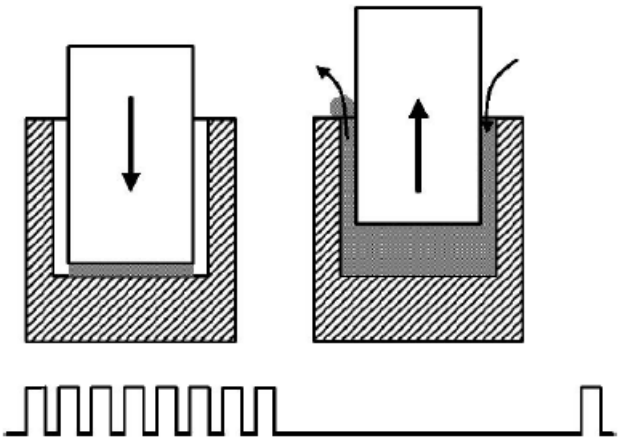


Figura C. 14. Neteja amb pressió intermitent

ANNEX D. ANÀLISIS DE RESULTATS

D.1.ESTUDI PRELIMINAR

FASE 1 - PROVA A MICRO ESCALA AMB PARÀMETRES DE MESO ESCALA

EXPERIMENT NÚM.		1
OBJECTIU	1.	Familiarització amb la màquina electroerosionadora.
	2.	Obtenció d'un negatiu a partir d'uns valors inicials establerts per les taules tecnològiques de la màquina.
	3.	Avaluació i anàlisi de resultats (Anàlisi del perfil i qualitat superficial) d'un assaig a meso escala usant un elèctrode micro de 0,3µm de costat.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

Paràmetre		Unitats	Valors
Intensitat	I	[A]	1
Voltatge	V	V	-200
Temps d'impuls	Ti	ms	3,2
Temps de pausa	To	ms	3,2
Condensadors	C	-	22
Nivell de seguretat	NS	-	2
Paràmetre de referència per l'erosió	SERVO	V	65
Temps de retrocés	-	s	0,2
Temps de treball	-	s	0,8
Valor de desgast	V (%)	%	0
Capacitat d'arrencada	V w	mm^3/min	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	0	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats		100µm
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	0,3
B (mm)	0,3
Material	COURE

RESULTATS

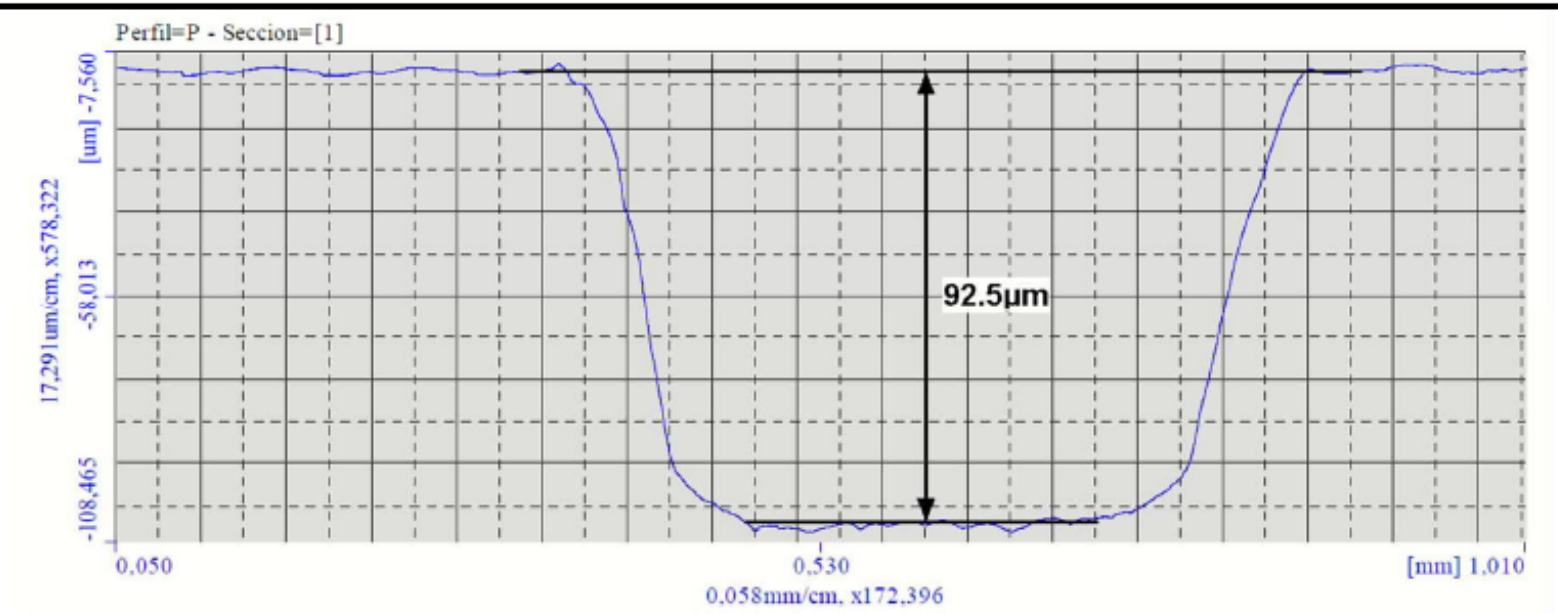
DESGAST (mm)		
Coordenada	X1 Y1	X-1 Y-1
1	-0,034	-0,026
2	-0,041	-0,029
3	-0,045	-0,033
4	-0,046	-0,033
5	-0,046	-0,036
6	-0,046	-0,038
7	-0,048	-0,037

Comentari:

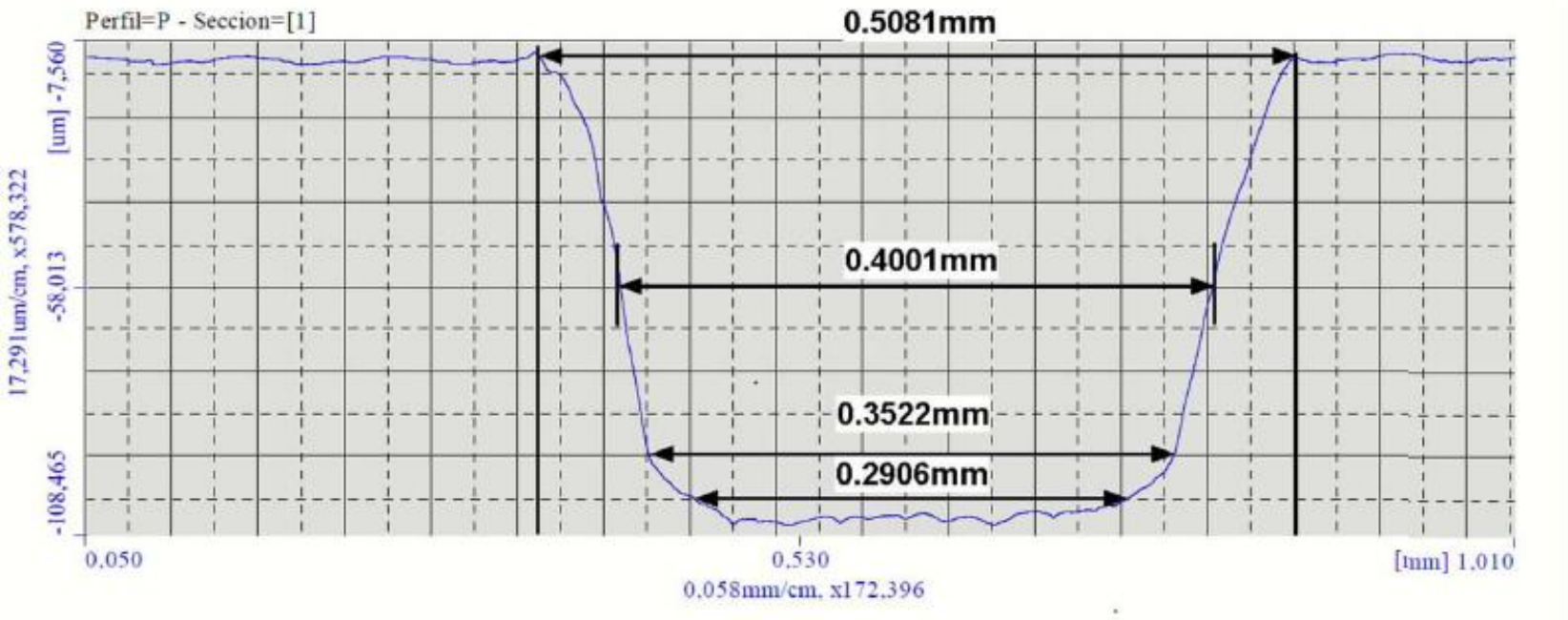
Tal i com es pot apreciar en la taula de desgast trobada un cop finalitzat el procés, es pot fer-se una idea de que segons aquests paràmetres introduïts, hi ha un desgast de l'elèctrode acceptable (el punt més desfavorable es desgasta 50µm). No obstant, com que s'ha buscat el desgast en diferents coordenades i punts , es pot apreciar també de que el desgast de l'elèctrode no és uniforme. Això s'haurà de tenir en compte ja que no s'obtindria una superfície 100% plana provocant que la superfície tingués una qualitat superficial més desfavorable. Tot i així, s'haurà d'avaluar mirant la rugositat superficial si ens trobem dins d'uns intervals que es puguin considerar aptes.

Mesures

PROFUNDITAT



PERFIL



CONCLUSIONS

1.	Primerament, destacar que la geometria de la proveta obtinguda té molt bona forma, tot i que hi ha un arrodoniment visible en les cantonades inferiors de prisme rectangular, pel que fa a l'acabat.
2.	S'obté un desgast de l'elèctrode no homogeni tot i que es pot considerar apte ja que només hi ha unes 15µm de diferència entre el valors més accentuat respecte al menor.
3.	Partint del valor teòric de profunditat de 100µm, s'ha obtingut un valor de profunditat de 92,5µm. Aquest valor es pot considerar molt correcte ja que només hi ha una diferència d'unes 8µm, on també s'hi ha de tenir en compte l'error ocasionat en la mesura ja que s'està treballant amb unes precisions molt elevades i l'error de l'operari és bastant significatiu.
4.	Al mateix temps, pel que fa al perfil, tenint en compte que l'elèctrode era de 300µm i s'ha decidit que realitzés un orbital de 100µm, el valor major de l'extrem de 500µm és molt correcte. Al mateix temps, es pot apreciar l'arrodoniment esmentat anteriorment que ens penalitza força ja que al fons de l'experiment s'obté un valor d'unes 300µm, valor de l'elèctrode.

FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (NIVELL DE SEGURETAT)

EXPERIMENT NÚM.		2
OBJECTIU	1.	Familiarització amb la màquina electroerosionadora.
	2.	Obtenció d'un negatiu modificant els paràmetres per tal de saber el seu efecte.
	3.	Anàlisi del perfil i qualitat superficial.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

		Valors	
Paràmetre	Unitats	Exp. 2.1	Exp. 2.2
I	[A]	2	4
V	V	120	200
Ti	ms	1,6	4,8
To	ms	1,6	4,8
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	200µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

RESULTATS

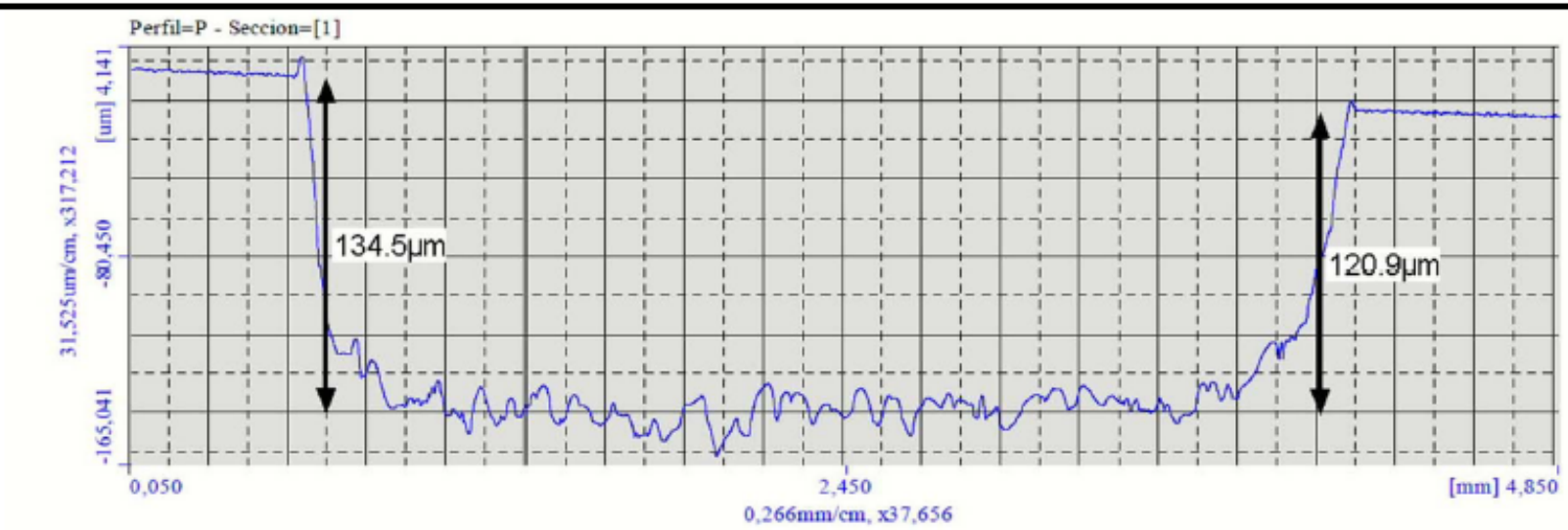
	Exp. 2.1	Exp. 2.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,010	-0,002
Rugositat (µm)	3,840	3,233
Temps que ha tardat	4 min 33s	4 min 34s

Comentari:

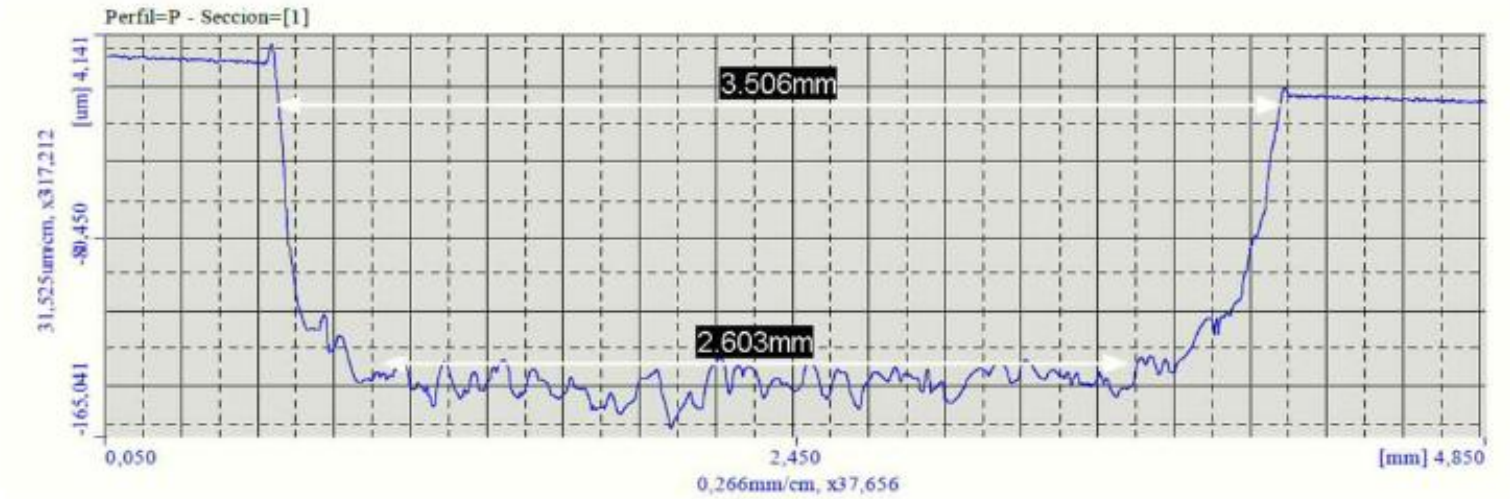
A diferència del cas particular inicial, en aquesta experimentació es troba un desgast de l'elèctrode molt petit. Tenen un valor de 10µm en el primer cas, i de 2µm en el segon. Al mateix temps, com que els experiments es troben elaborats amb un elèctrode de meso-escala, s'ha pogut realitzar una mesura de la rugositat interior de la cavitat. Aquesta ha resultat ser molt bona ja que es tracta de 3,84 i 3,23µm respectivament. Com a dada adicional, s'ha trobat uns valors del temps que s'ha tardat en l'experiment.

Mesures

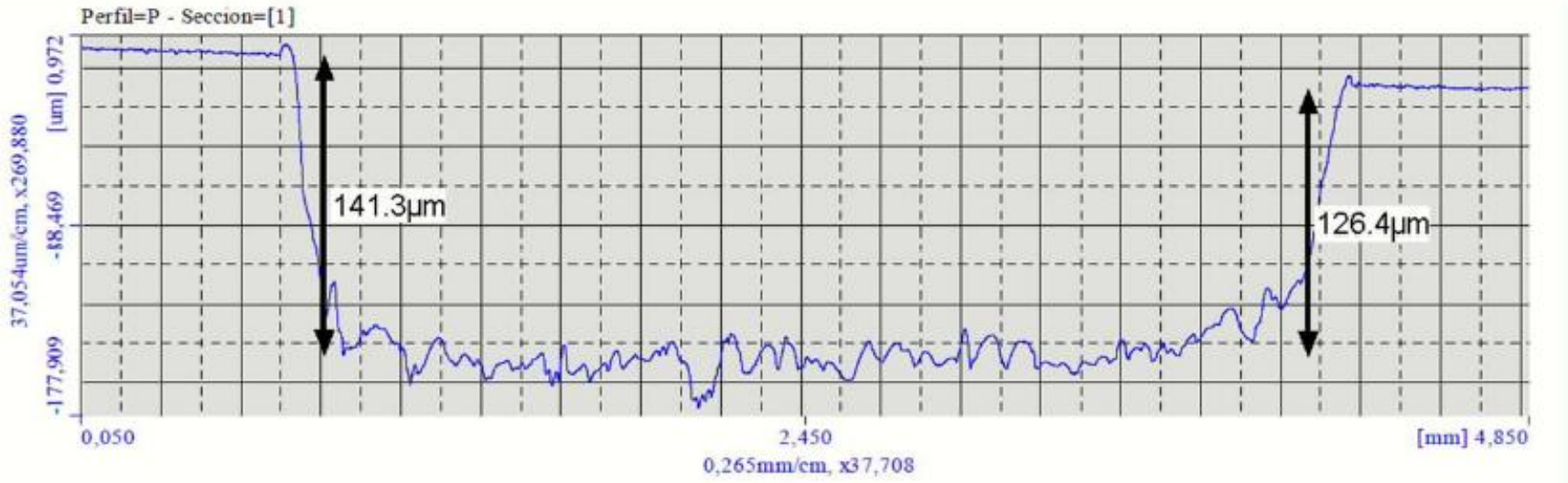
PROFUNDITAT (Exp. 2.1)



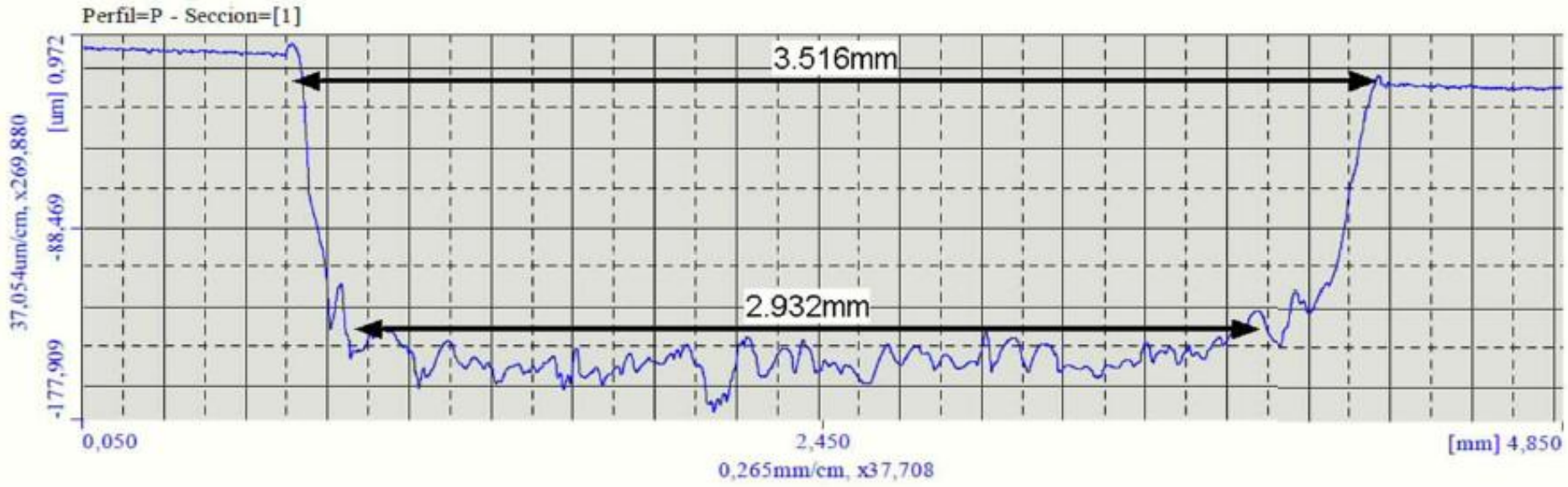
PERFIL (Exp. 2.1)



PROFUNDITAT (Exp. 2.2)



PERFIL (Exp. 2.2)



CONCLUSIONS (Exp 2.1)

1.	Primerament, destacar que la geometria de la proveta obtinguda manté un lleuger arrodoniment. Tal i com es pot comprovar en els gràfics, hi ha un clar desnivell. Això pot venir provocat pel desgast de l'elèctrode ja que es tracta d'un elèctrode ja usat, perquè la peça no sigui del tot plana o que no s'hagi produït un correcte desallotjament de les partícules en la neteja. A primer cop d'ull, la hipòtesi que pendria més importància seria el desnivell en la peça.
2.	Partint del valor teòric de profunditat de 100µm, s'ha obtingut un valor de profunditat de 134,5µm en un extrem i de 120,9µm en l'altre. Aquest valor vindria molt condicionat pel gran desnivell de la peça proveta, no essent del tot plana. No obstant, veiem que l'elèctrode genera un valor de profunditat lleugerament superior al teòric.
3.	Al mateix temps, pel que fa al perfil, tenint en compte que l'amplada teòrica de l'elèctrode era de 3mm i els orbitals de 200µm, el valor de l'amplada aproximat de 3,5mm és bastant correcte. A més, es pot veure un arrodoniment que fa que, en el fons de la cavitat, no assoleixi aquest valor teòric de 3,4mm (valor obtingut 2,603mm aproximadament). També recalcar que la mesura pot tenir algun tipus d'error en la presa d'aquesta.

CONCLUSIONS (Exp 2.2)	
1.	En l'experiment 2.2, hi ha un paral·lelisme amb l'experiment 2.1, és a dir, es pot evidenciar que segueixen una caracterització molt similar. Mantenen una geometria de la cavitat cega correcte amb un arrodoniment en els vèrtexs inferiors, presenten un lleuger desnivell entre les dos profunditats de la cavitat i tenen uns valors de profunditat i amplada molt semblants.
2.	Concretament, pel que fa a la profunditat, s'obtenen uns valors superiors al valor tèoric de 141,3µm per un costat i de 126,4µm per l'altre. Tal i com s'ha comentat anteriorment, el desnivell present pot provocar aquesta diferència de valors entre un extrem de la cavitat i l'altre.
3.	Igualment, pel que fa al perfil, s'obté un valor força pròxim al valor teòric pel que fa a la zona superior, de 3,516mm. Paral·lelament a l'experiment 2.1, en el fons de la cavitat, no s'assoleix un valor apte per l'arrodoniment dels vèrtexs inferiors (2,932mm).

ANÀLISI GLOBAL DELS EXPERIMENTS
Analitzant els valors modificats en respecte al primer experiment, es pot determinar que:
4.1. El cabal augmentat aportarà un millor acabat superficial ja que provoca una regeneració del líquid dielèctric i elimina una possible acumulació de partícules de cremats.
4.2. Definir uns orbitals de major grandària no afecta a la qualitat superficial.
4.3. El fet de canviar el nivell de seguretat no afecta negativament a la qualitat superficial sinó més aviat al contrari, prima la qualitat superficial a l'arrencada de material.
4.4. En canvi on es pot trobar canvis en el resultat final és en els paràmetres d'Intensitat, Voltatge, Temps d'impuls, Temps de pausa i el Servo. Per tant, en experiments posteriors interessa poder canviar un dels valors dels paràmetres, anteriorment citats, per tal de millorar l'acabat.

FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (SERVO)

EXPERIMENT NÚM.		3
OBJECTIU	1.	Familiarització amb la màquina electroerosionadora.
	2.	Obtenció d'un negatiu modificant el valor del SERVO.
	3.	Anàlisi del perfil i qualitat superficial.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

		Valors	
Paràmetre	Unitats	Exp. 3.1	Exp. 3.2
I	[A]	2	4
V	V	120	200
Ti	ms	1,6	4,8
To	ms	1,6	4,8
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	45	45
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	200µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	um	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

RESULTATS

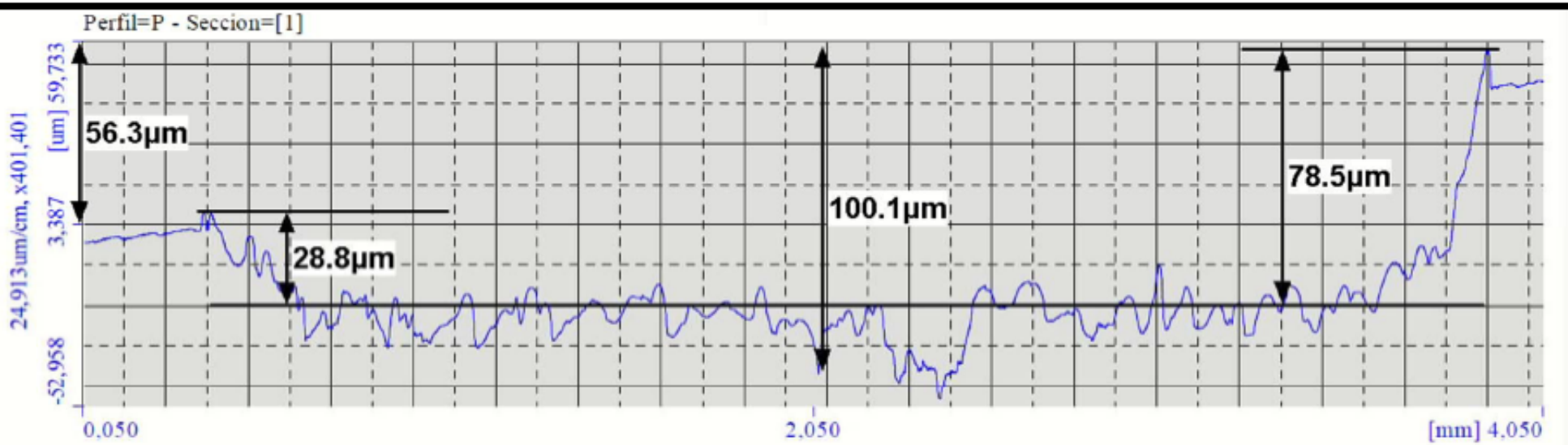
	Exp. 3.1	Exp. 3.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,005	-0,002
Rugositat (µm)	3,663	3,208

Comentari:

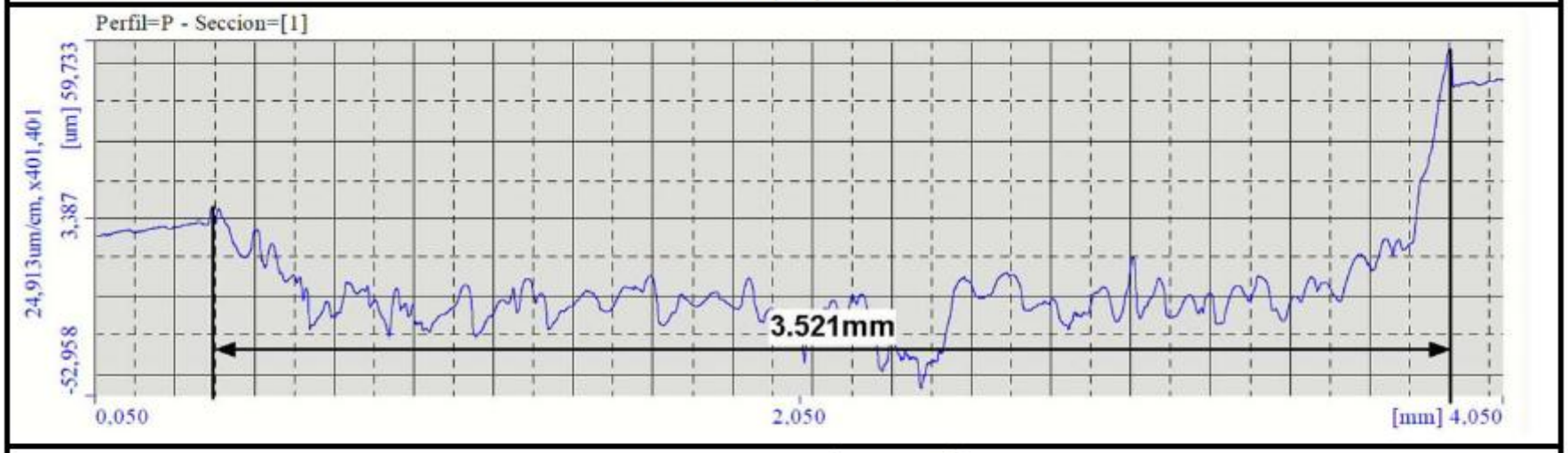
Com que només s'ha canviat el valor del SERVO, no hi ha massa diferències entre els casos 3.1 i 3.2 en respecte als casos 2.1 i 2.2. Per tant, es continua amb un desgast de l'elèctrode molt petit (amb una lleugera disminució de 5µm en el primer dels dos casos d'estudi). Igualment, es troben el valors de rugositat interna de la cavitat i aquesta continua essent molt bona, de 3,663 i 3,208µm respectivament.

Mesures

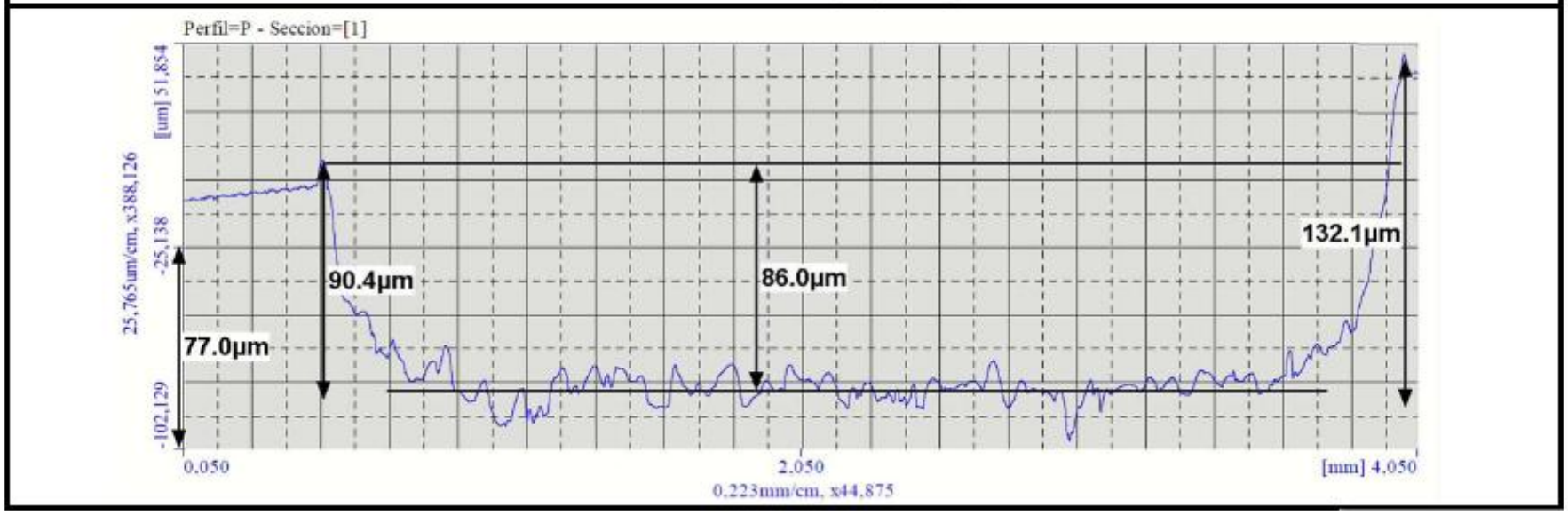
PROFUNDITAT (Exp. 3.1)



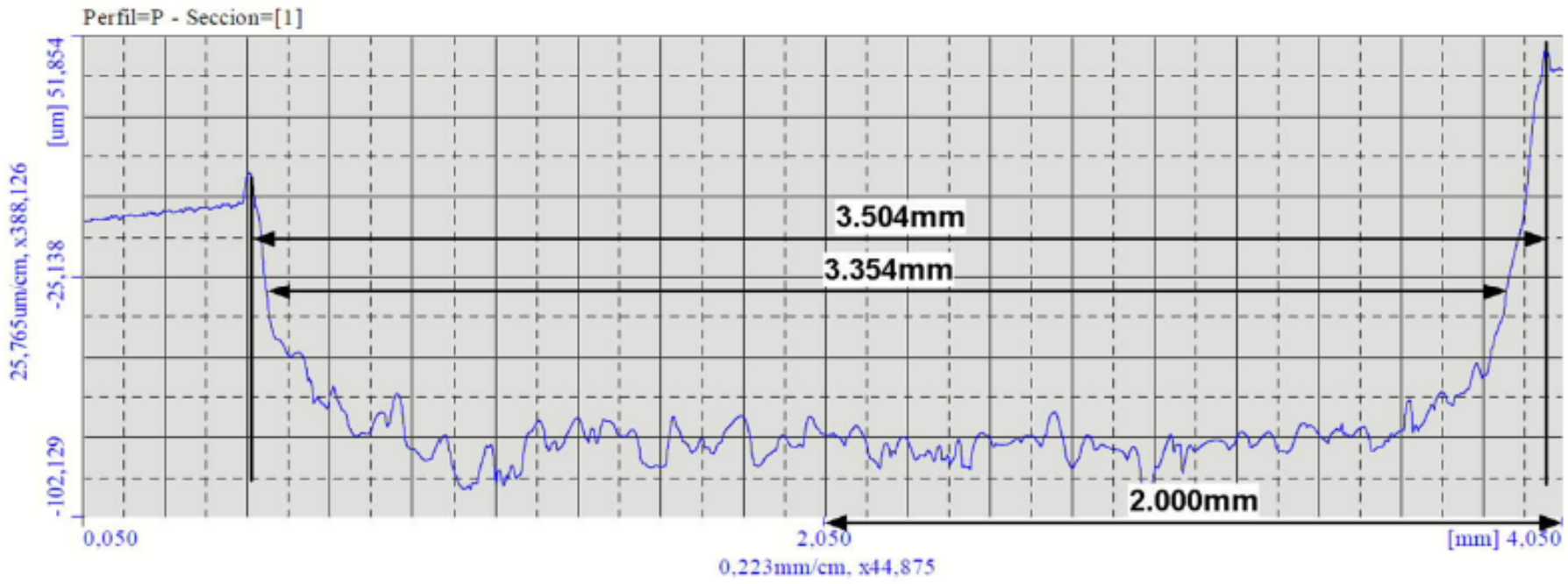
PERFIL (Exp. 3.1)



PROFUNDITAT (Exp. 3.2)



PERFIL (Exp. 3.2)



CONCLUSIONS (Exp 3.1)

1.	Primerament, destacar que la geometria de la proveta obtinguda no té molt bona forma.Tal i com es pot comprovar en el gràfic, hi ha un clar desnivell igual que en el cas anterior. Així doncs, es referma la hipòtesi del desnivell en la peça.
2.	Partint del valor teòric de profunditat de 100µm, s'ha obtingut un valor de profunditat de 78,5µm en un extrem i de 28,8µm en l'altre. Aquest valor vindria molt condicionat pel gran desnivell de la peça proveta, no essent del tot plana. Amb la modificació del Servo ha provocat que s'ha passat de superar la profunditat teòrica, a no assolir dita profunditat. És més, s'ha obtingut uns valor molt dolents en un extrem de la cavitat.
3.	Pel que fa al perfil, tenint en compte l'elèctrode i els corresponents orbitals produint que el valor teòric esdevingui de 3,4mm, el valor de l'amplada de 3,521mm és bastant correcte. Adicionalment, es pot apreciar un arrodoniment més pronunciat provocant que en el fons de la cavitat no s'obtingui un valor acceptable.

CONCLUSIONS (Exp 3.2)	
1.	En l'experiment 3.2, hi ha un paral·lelisme amb l'experiment 3.1, és a dir, es pot evidenciar que segueixen una caracterització molt similar. No obstant, hi ha alguna lleugera diferència que es comenta a continuació.
	1.1. Igual que en el cas anterior la geometria o resultat de la proveta obtinguda no té bona forma. Tot i que es pot apreciar que hi ha una certa millora en el resultat.
	1.2. Seguint el paral·lelisme dels experiments, s'ha obtingut uns valors de la cavitat on un dels extrem mesura 132,1µm i en l'altre, 90,4µm de profunditat. Tot i ser resultats pròxims a les 100µm, no es pot donar per bons pel desviament obtingut.
	1.3. En l'amplada es pot veure que succeix exactament que en el primer experiment. Mesures d'amplada pròximes a 3,5mm (mesura elèctrode + orbitals + error assumible) i arrodoniments en els vèrtexs inferiors de la cavitat oferint uns mal resultats.
ANÀLISI GLOBAL DELS EXPERIMENTS	
Mantenint els paràmetres d'Intensitat, Voltatge, Temps de d'impuls i Temps de pausa; s'ha pogut veure que si es disminuïa el valor del SERVO s'aconseguia un pitjor acabat del perfil de la cavitat cega. Per tant, es mantindrà, amb els experiments que es realitzin posterioment, un SERVO de 65V.	

FASE 2 - DETERMINACIÓ DE L'EFECTE DELS PARÀMETRES EN ELS RESULTATS (INTENSITAT I VOLTATGE)

EXPERIMENT NÚM.		4
OBJECTIU	1.	Familiarització amb la màquina electroerosionadora.
	2.	Realització de diferents casos per tal de poder establir els intervals de voltatge [-200, -120, 120, 200] adequat i la intensitat [1, 2, 4] pertinent per tal d'obtenir uns assajos òptims. Es mantenen el temps d'impuls i el de pausa (valors inicials de 3,2ms). Realització d'una anàlisis estadístic per tal d'obtenir una aleatorietat entre Voltatge i Intensitat.
	3.	Anàlisi del perfil i qualitat superficial.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

		Valors											
Paràmetre	Unitats	Exp. 4.1	Exp. 4.2	Exp. 4.3	Exp. 4.4	Exp. 4.5	Exp. 4.6	Exp. 4.7	Exp. 4.8	Exp. 4.9	Exp. 4.10	Exp. 4.11	Exp. 4.12
I	[A]	4	4	4	1	4	1	2	2	1	2	1	2
V	V	200	-120	120	120	-200	-120	-200	-120	200	120	-200	200
Ti	ms	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
To	ms	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
C	-	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
NS	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SERVO	V	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
V (%)	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V w	mm^3/min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	3
B (mm)	12
Material	COURE

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,1
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,1
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats		200µm
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

RESULTATS

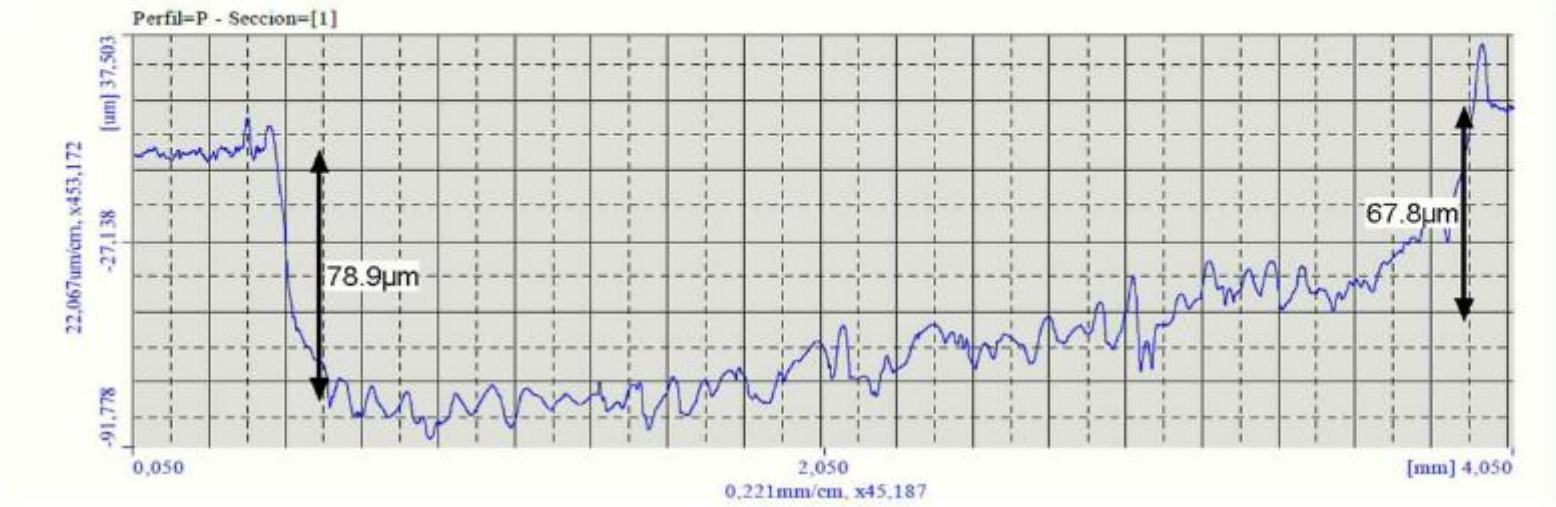
	Exp. 4.1	Exp. 4.2	Exp. 4.3	Exp. 4.4	Exp. 4.5	Exp. 4.6	Exp. 4.7	Exp. 4.8	Exp. 4.9	Exp. 4.10	Exp. 4.11	Exp. 4.12
Desgast (mm) X1 Y1	-0,004	-0,038	-0,033	-0,041	-0,032	-0,041	-0,039	-0,030	-0,026	-0,051	-0,033	-0,047
Rugositat (µm)	2,911	3,281	3,093	3,224	3,240	3,210	3,083	2,570	2,866	3,299	3,556	3,264
Temps que ha tardat	3 min 43 s	3 min 44 s	3 min 22 s	3min 41 s	3 min 45 s	3 min 17 s	3 min 30 s	3 min 42 s	3 min 43 s	3 min 13 s	3 min 29 s	3 min 15 s

Comentari:

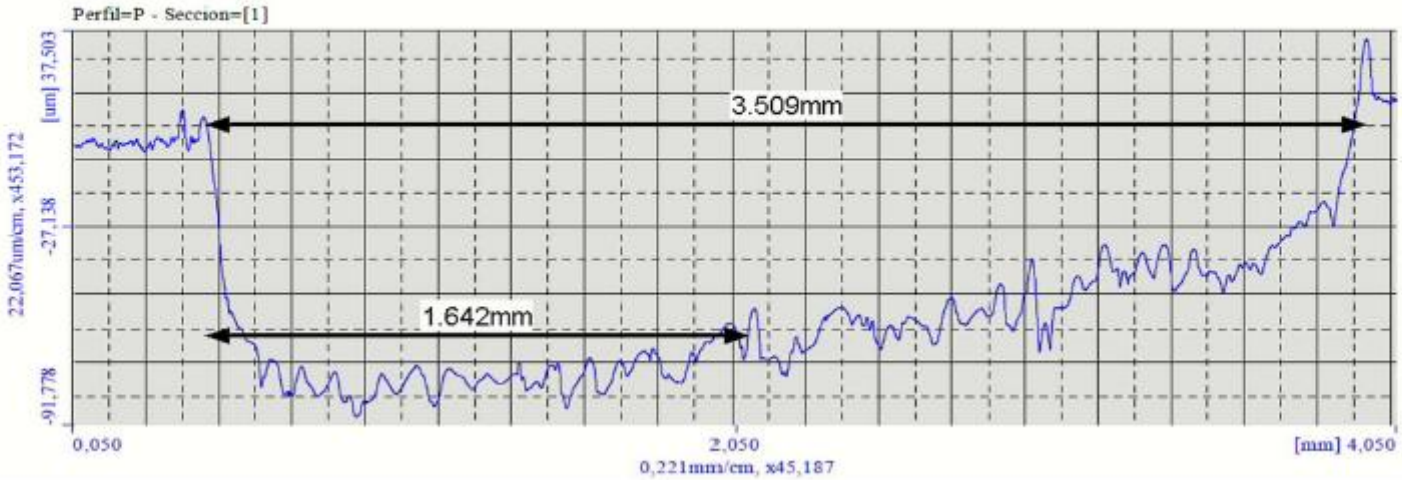
Particularment, es pot apreciar que s'obté una molt bona qualitat superficial en l'interior de la cavitat de la proveta ja que s'obtenen unes rugositats d'entre 2,6 i 3,6µm. A més a més, exceptuant en el primer experiment (4.1) , es pot veure que l'elèctrode es va desgastant al voltant d'unes 40 o 50µm. Això es produeix degut a que, principalment, el desgast de l'elèctrode es deu al SERVO i al Temps de pausa i, com que aquests valors són constants en tots els experiments, provoca que els valors de desgast siguin molt semblants. Tenint en compte que l'elèctrode erosiona en z 100µm, s'hauria de tenir en compte aquest desgast en aplicacions futures. Adicionalment, el temps que tarda al llarg del procés és bastant homogeni, entre 3 min 15 s i 3 min 45 s.

Mesures

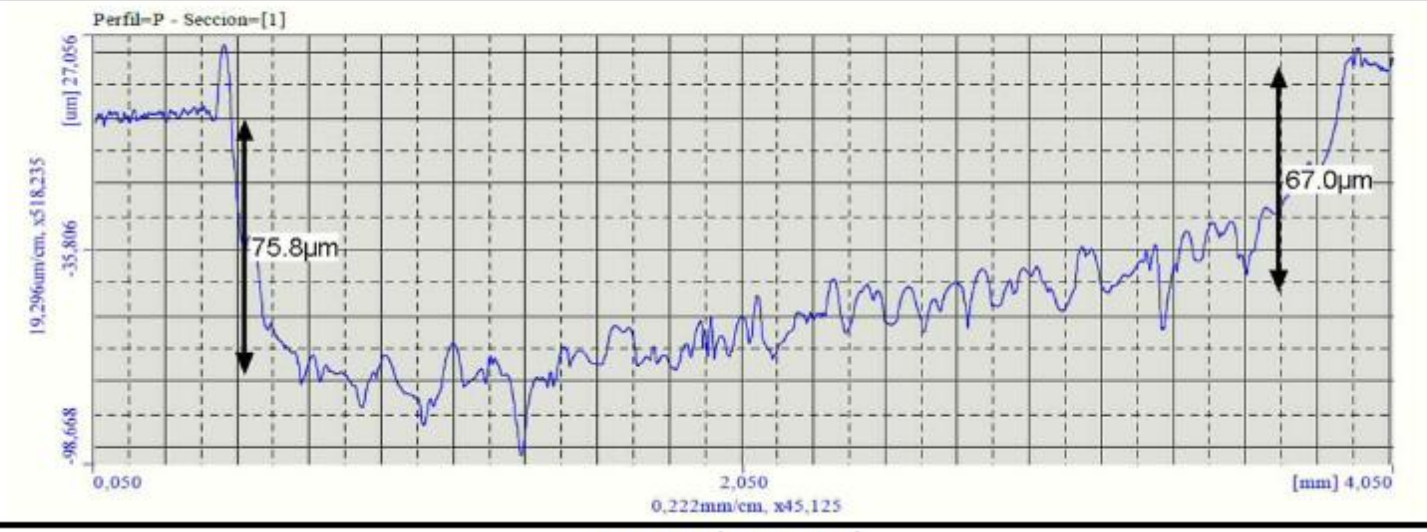
PROFUNDITAT (Exp. 4.1)



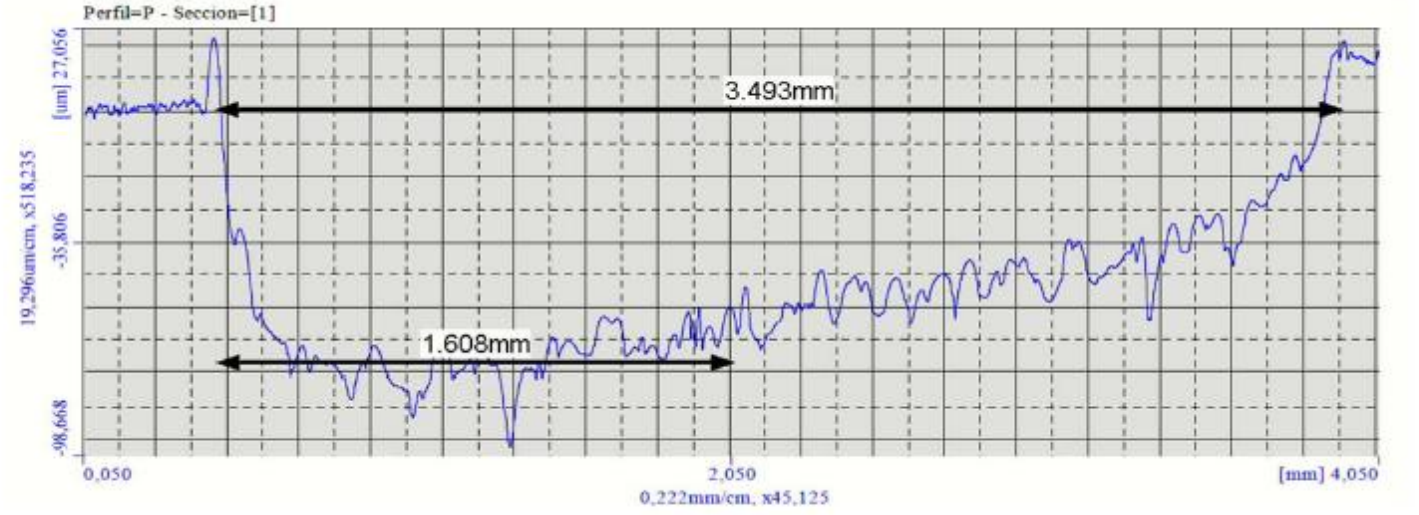
PERFIL (Exp. 4.1)



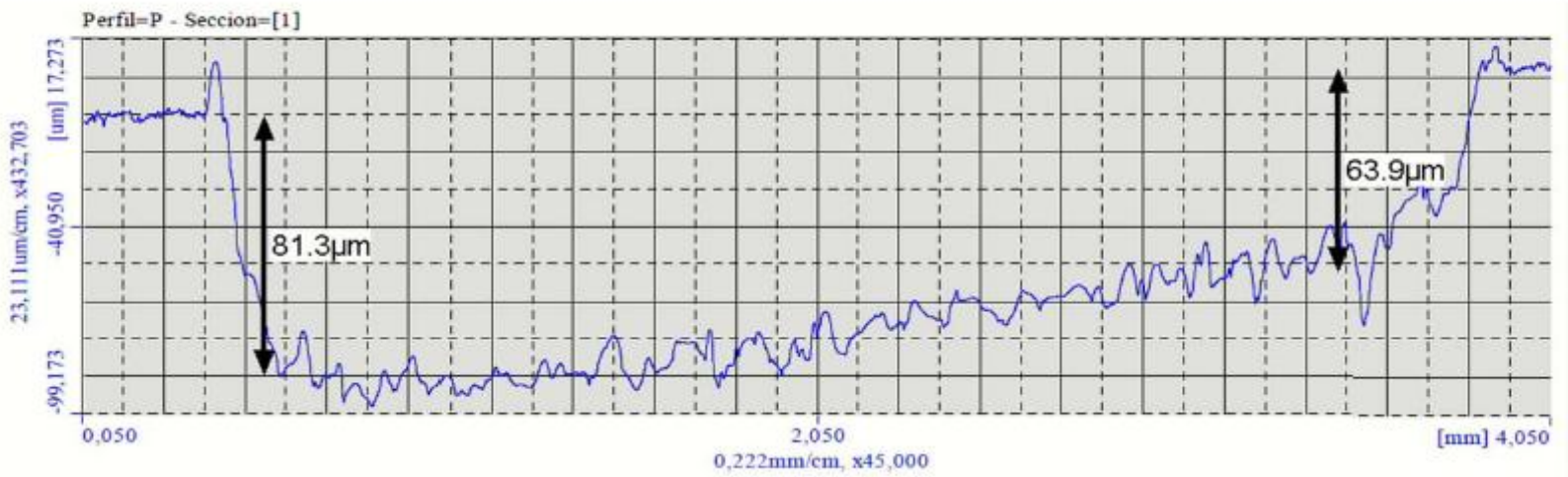
PROFUNDITAT (Exp. 4.2)



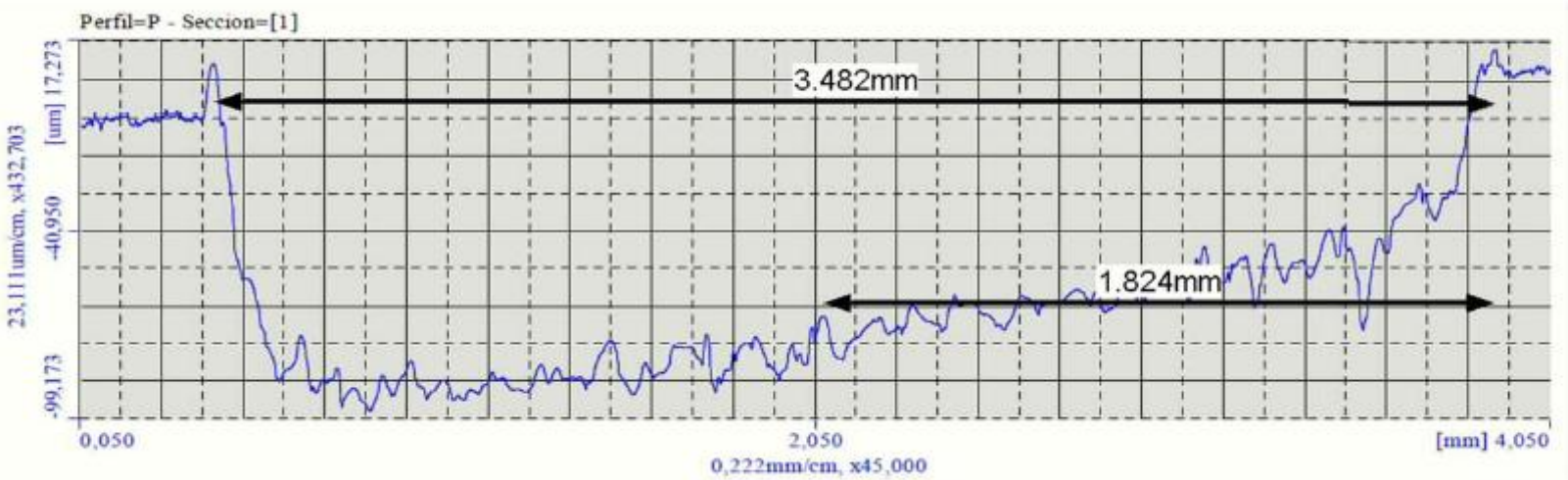
PERFIL (Exp. 4.2)



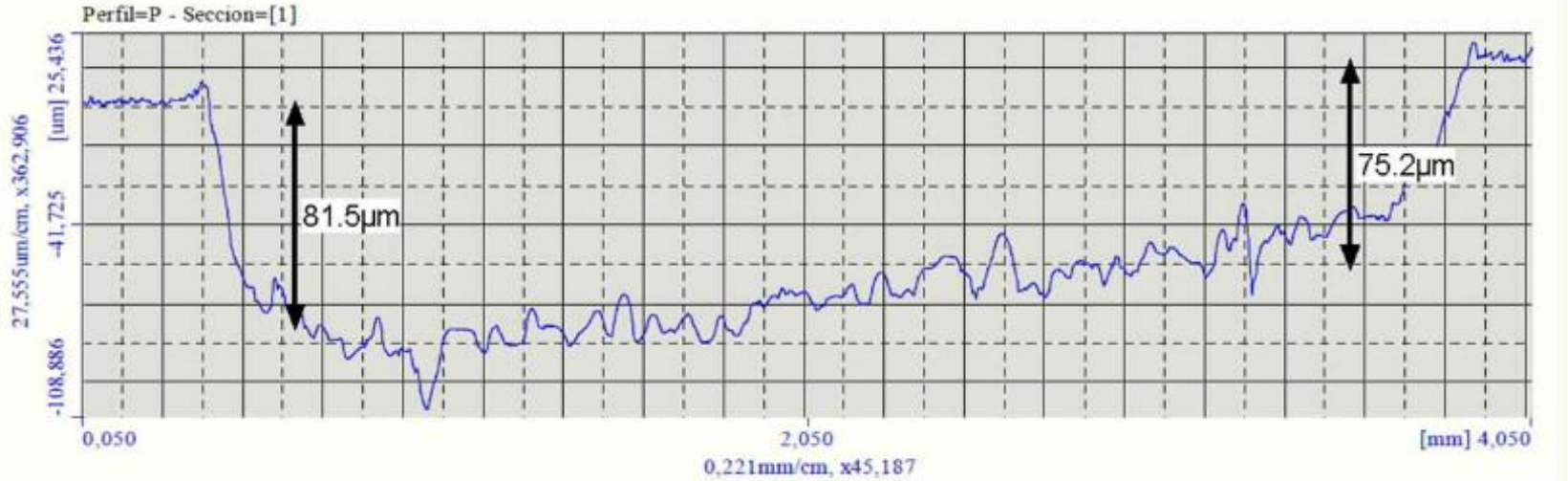
PROFUNDITAT (Exp. 4.3)



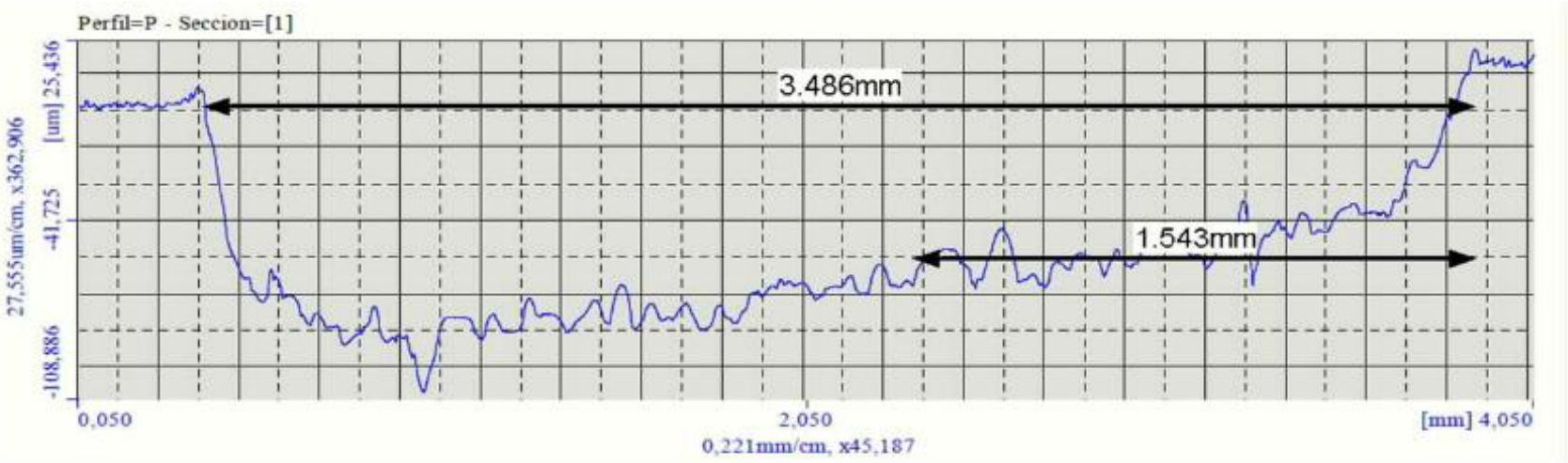
PERFIL (Exp. 4.3)



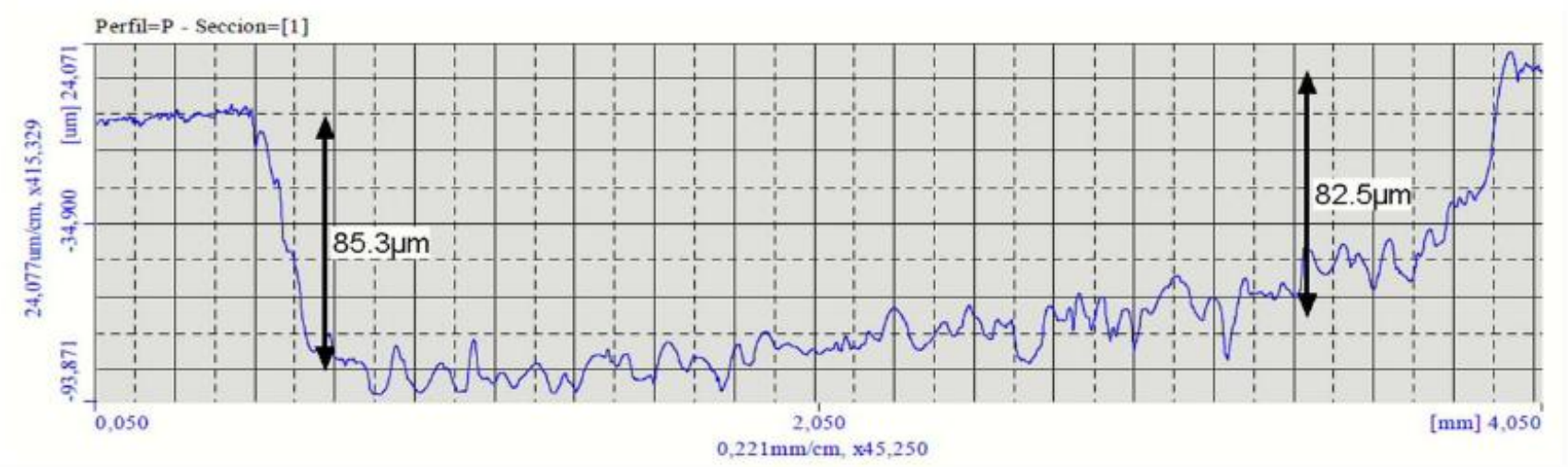
PROFUNDITAT (Exp. 4.4)



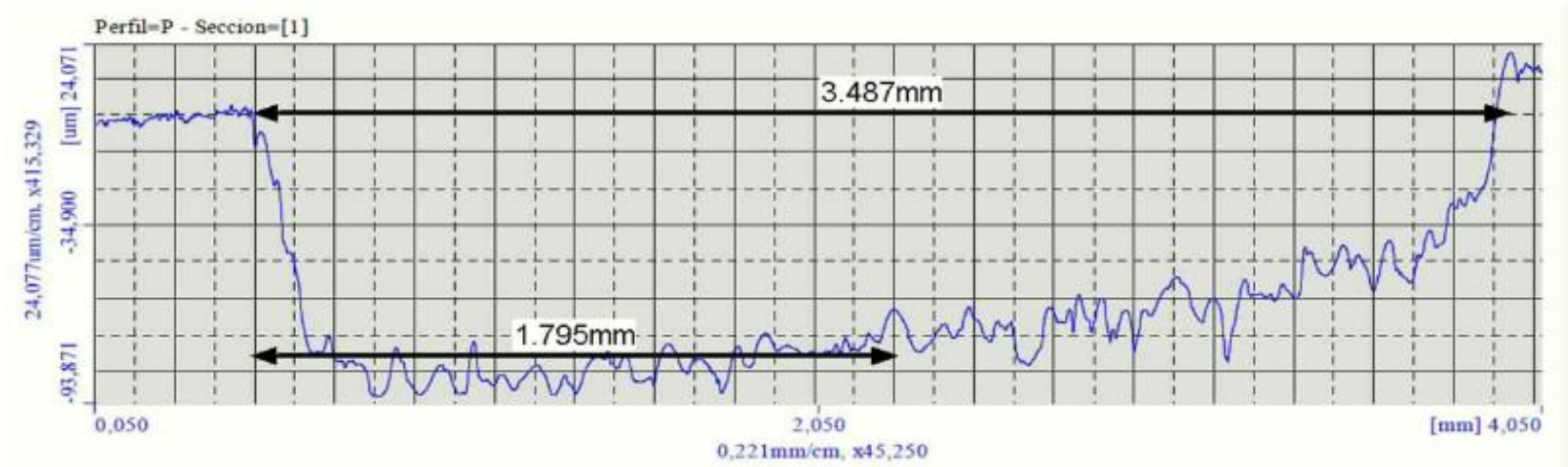
PERFIL (Exp. 4.4)



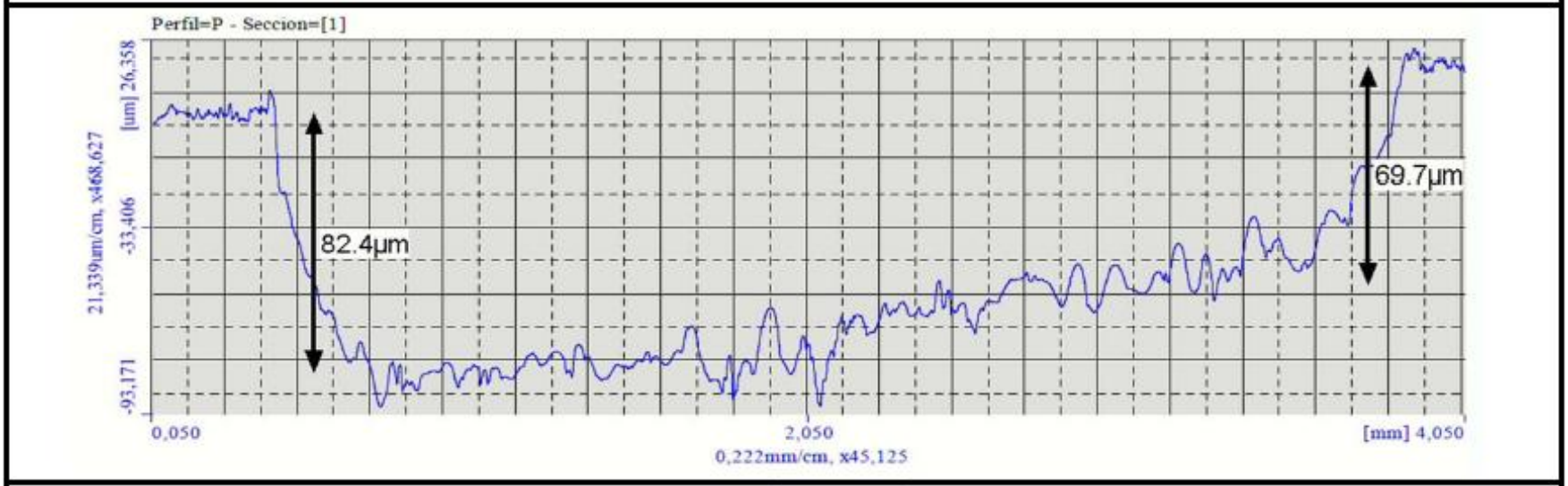
PROFUNDITAT (Exp. 4.5)



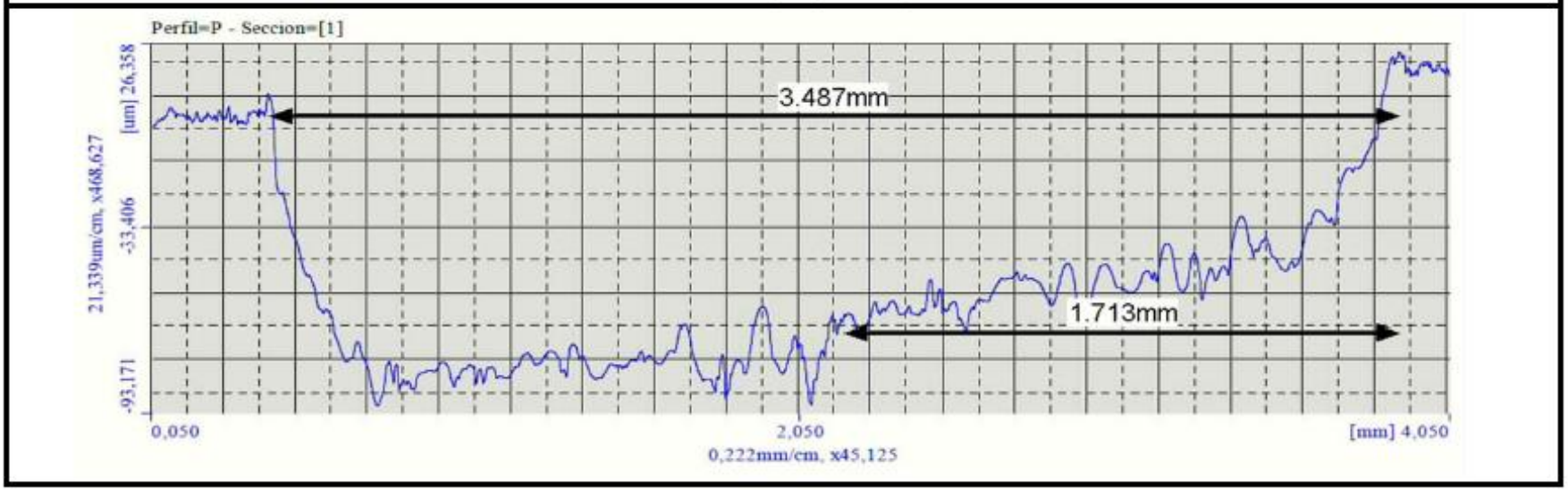
PERFIL (Exp. 4.5)



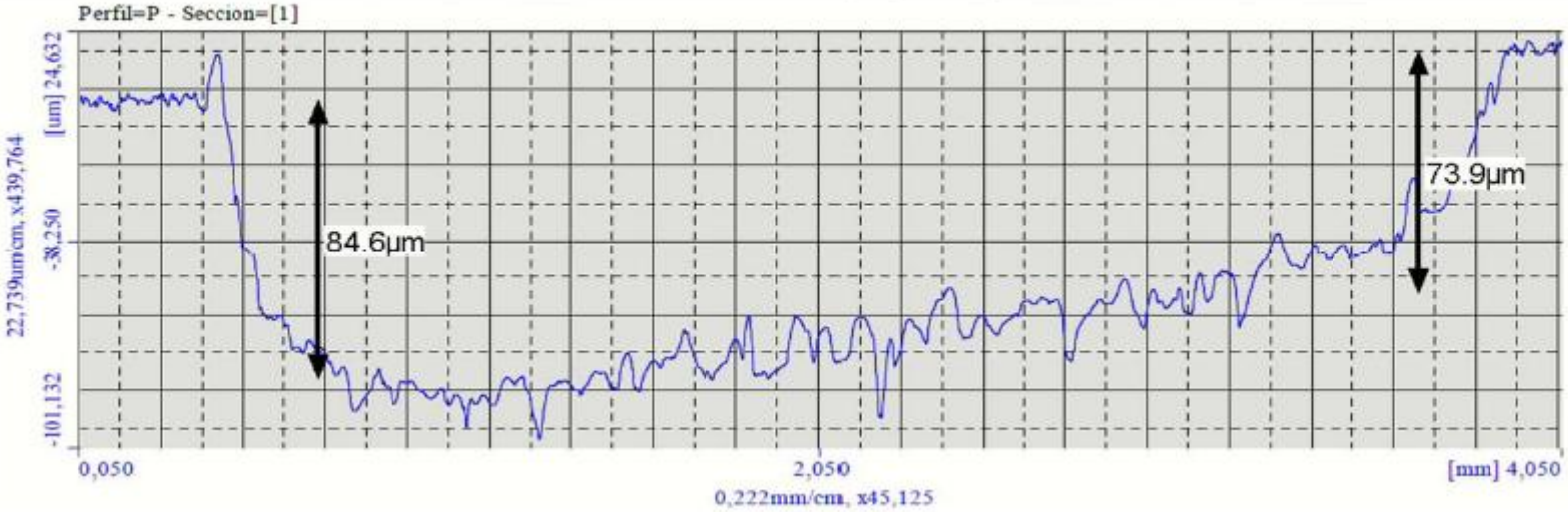
PROFUNDITAT (Exp. 4.6)



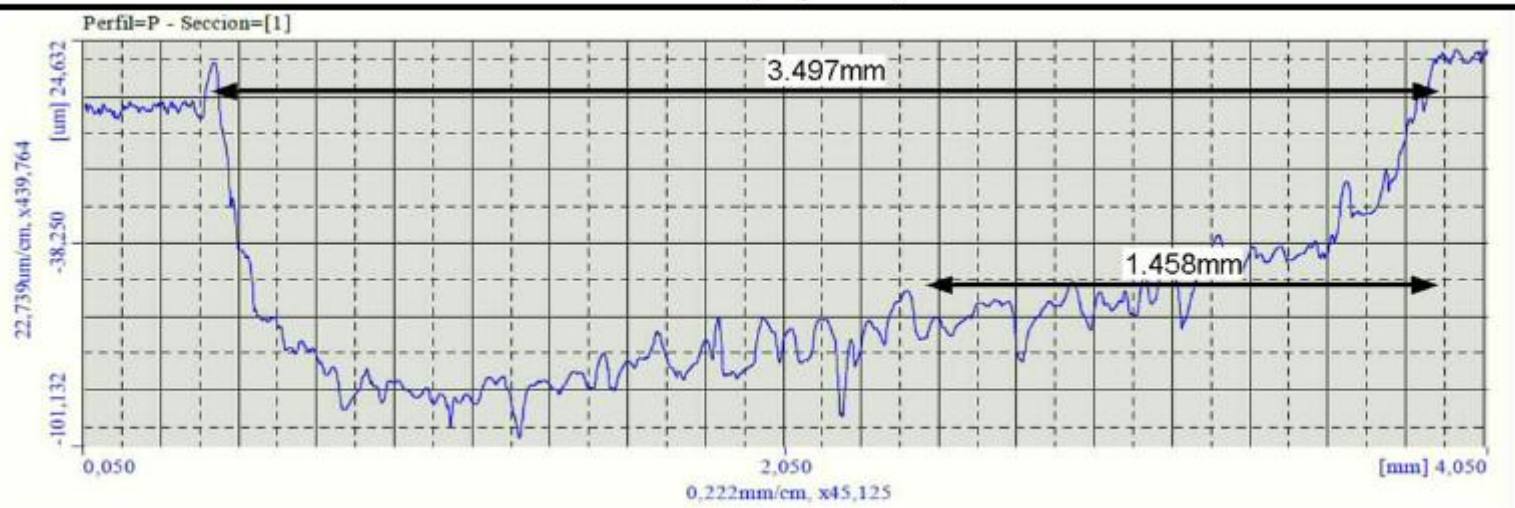
PERFIL (Exp. 4.6)



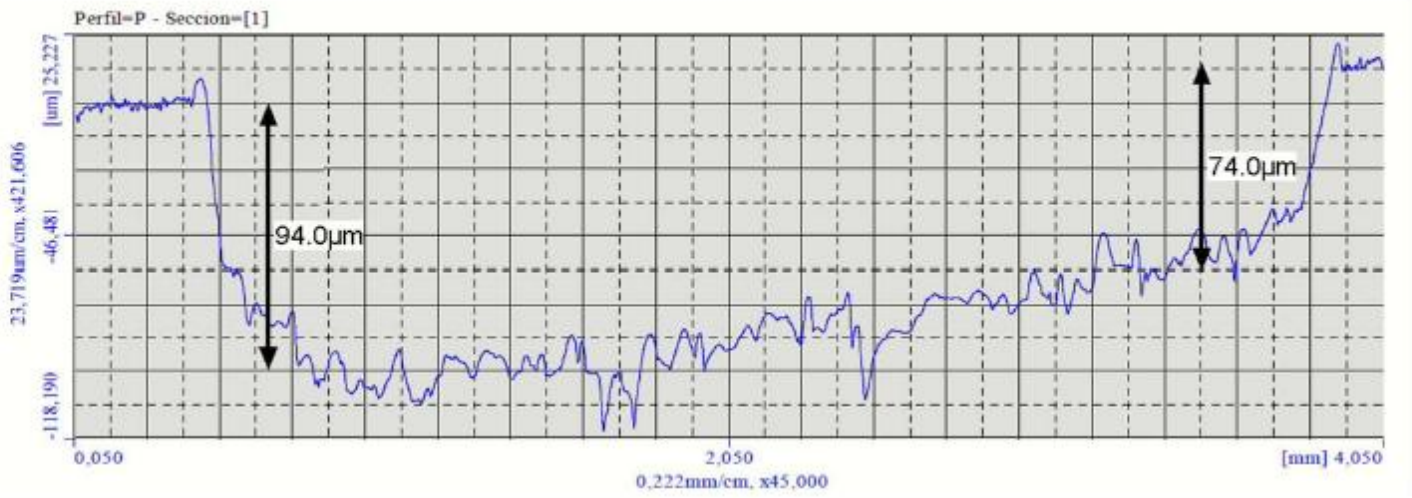
PROFUNDITAT (Exp. 4.7)



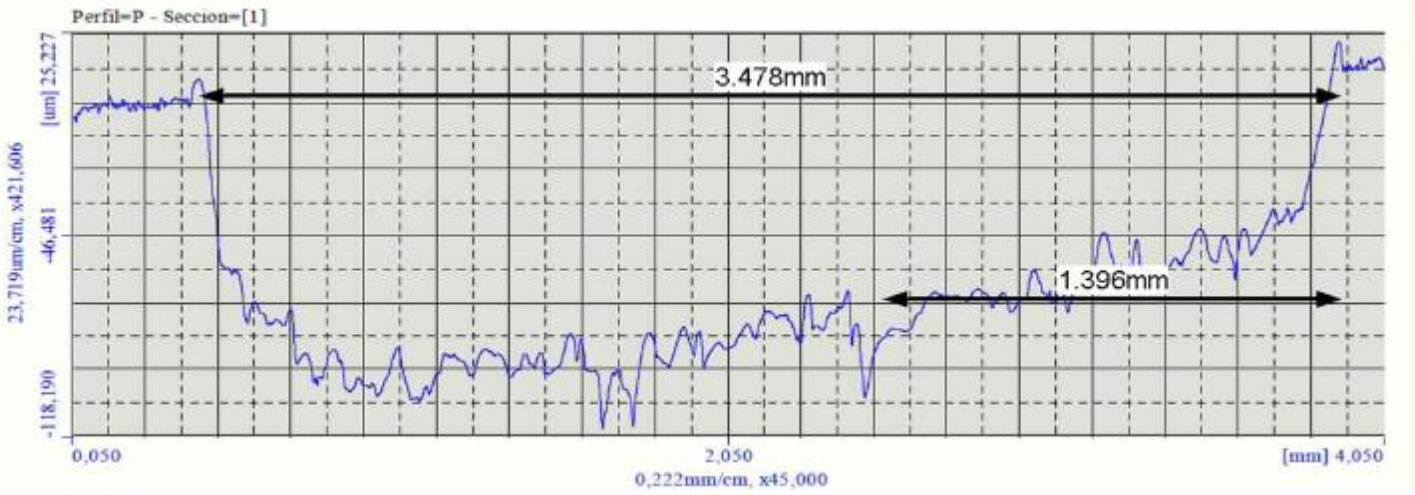
PERFIL (Exp. 4.7)



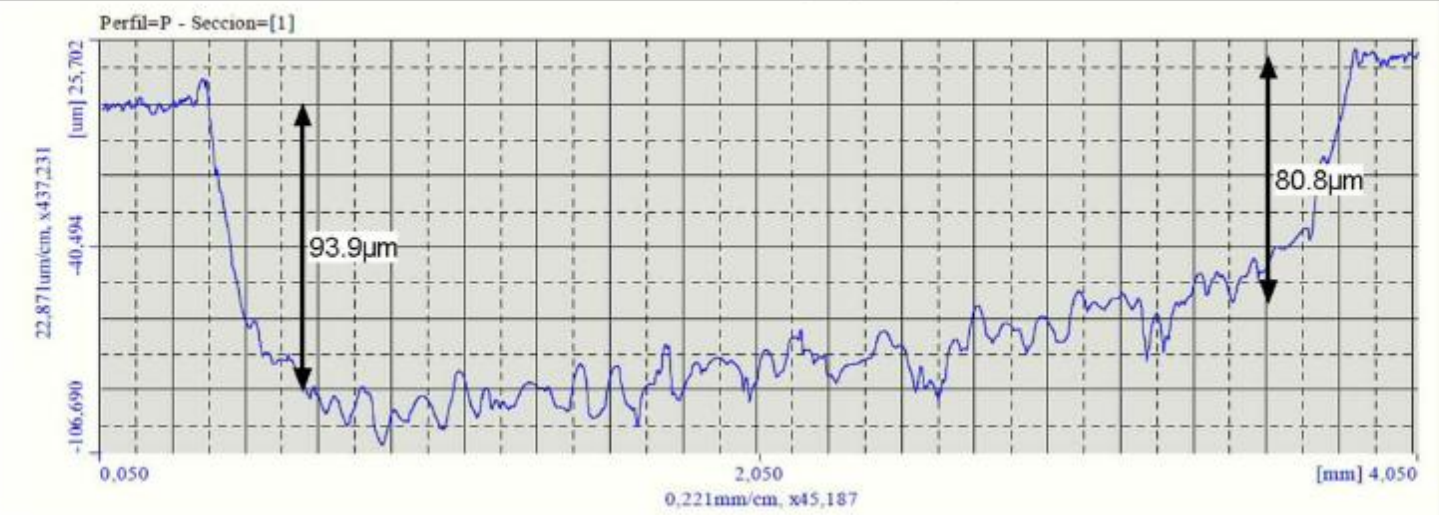
PROFUNDITAT (Exp. 4.8)



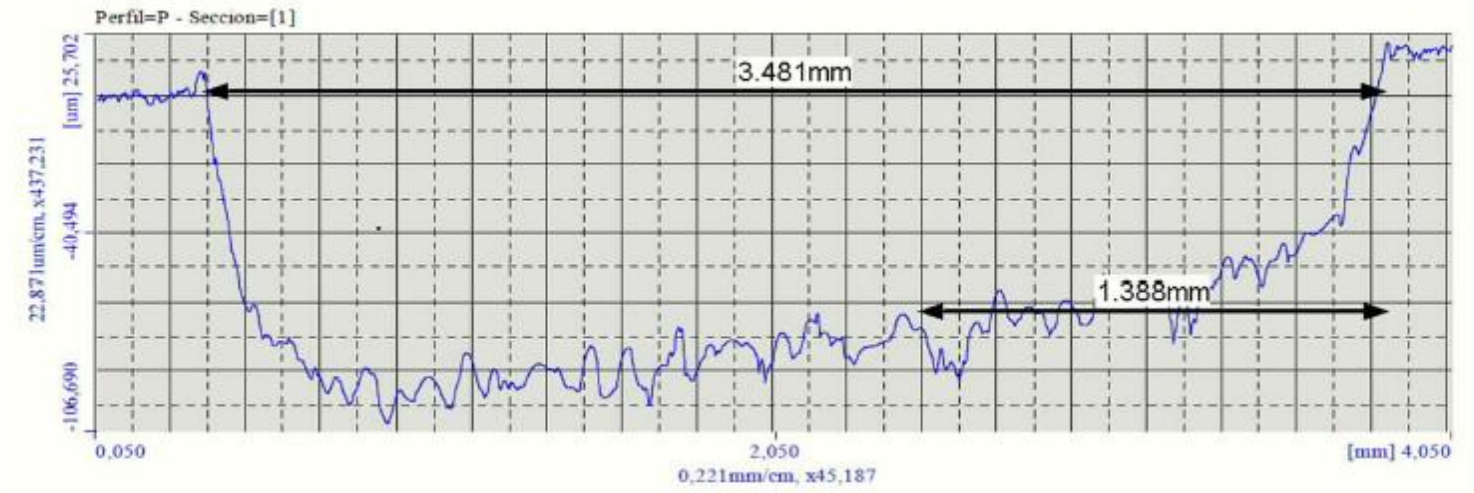
PERFIL (Exp. 4.8)



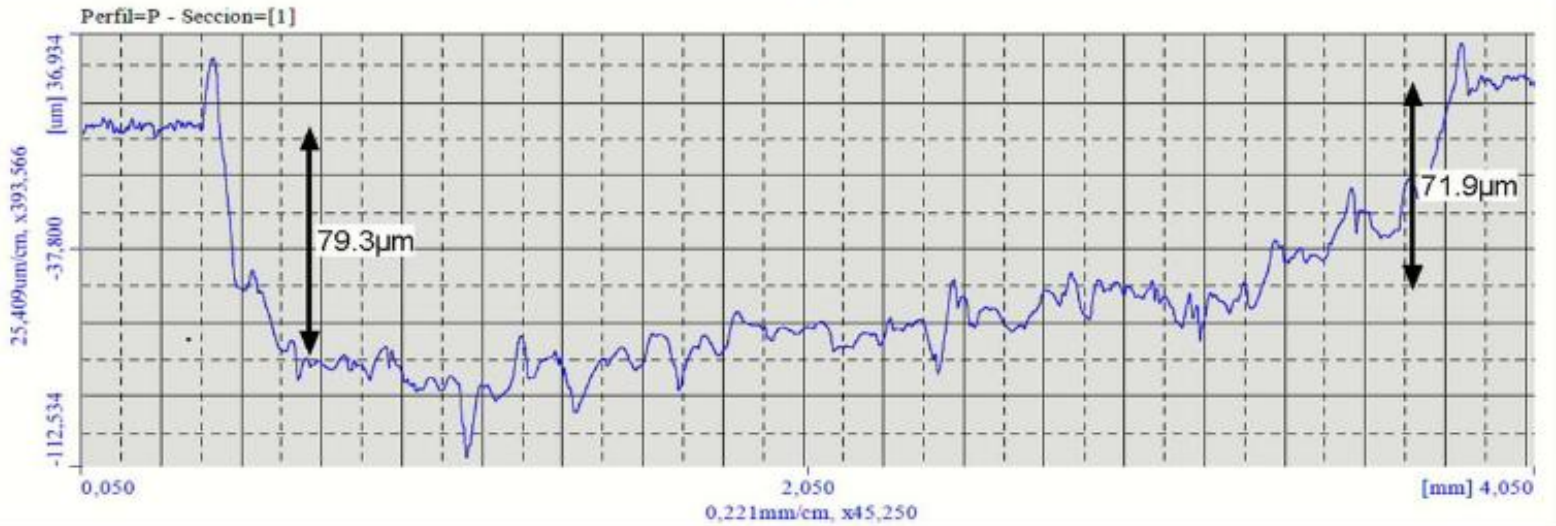
PROFUNDITAT (Exp. 4.9)



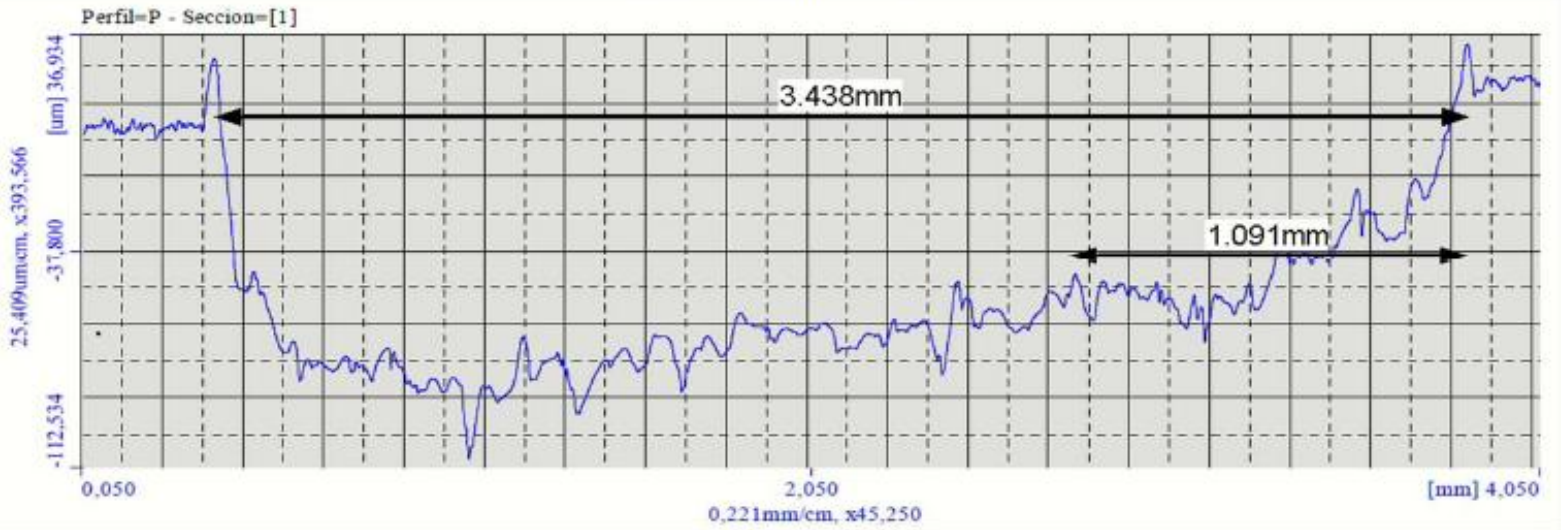
PERFIL (Exp. 4.9)



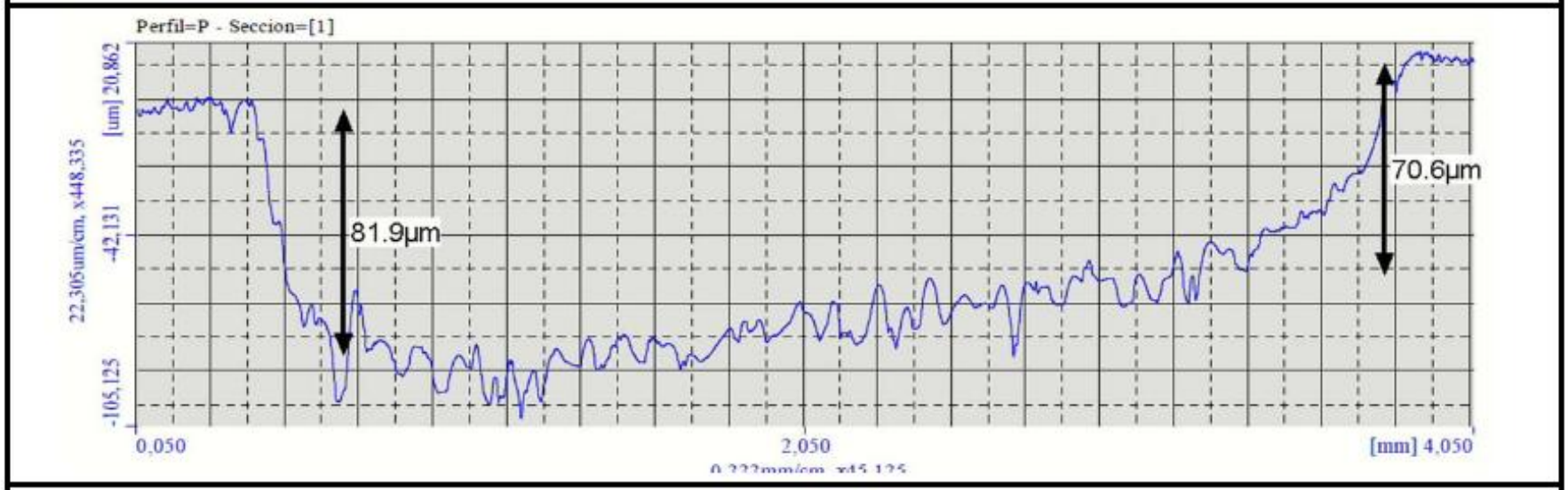
PROFUNDITAT (Exp. 4.10)



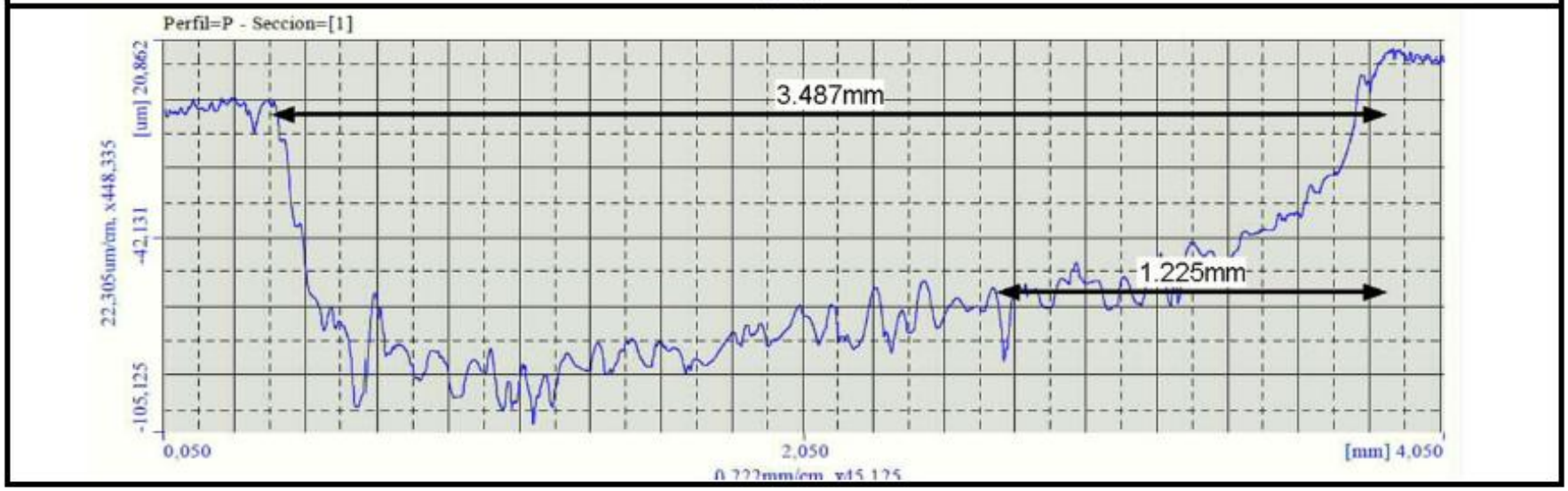
PERFIL (Exp. 4.10)



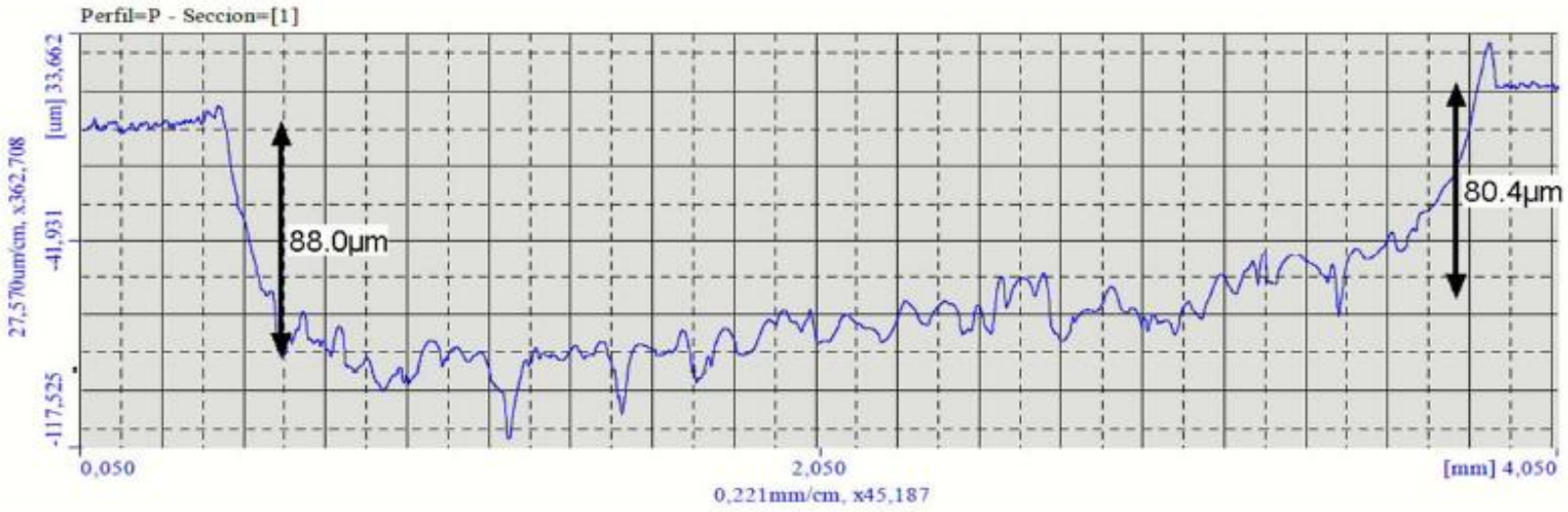
PROFUNDITAT (Exp. 4.11)



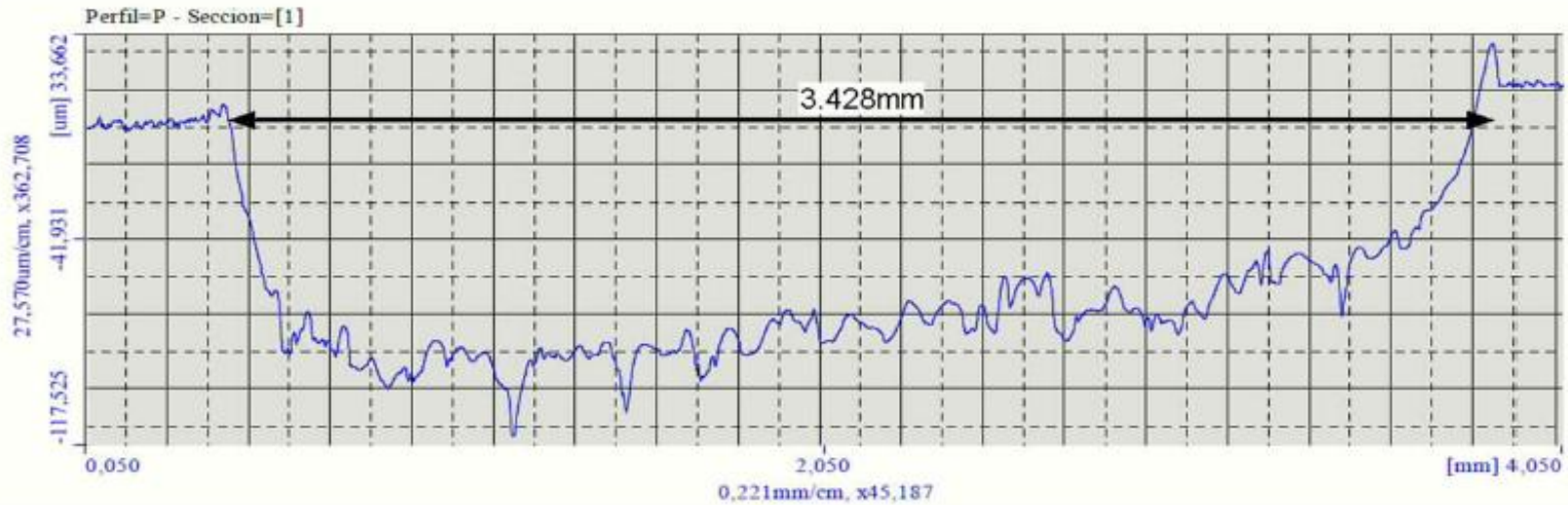
PERFIL (Exp. 4.11)



PROFUNDITAT (Exp. 4.12)



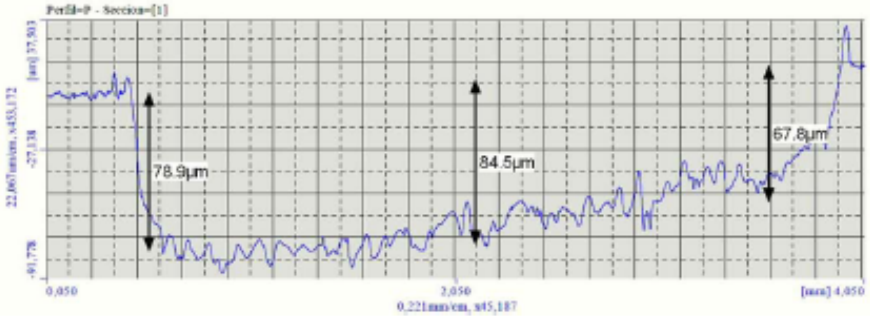
PERFIL (Exp. 4.12)

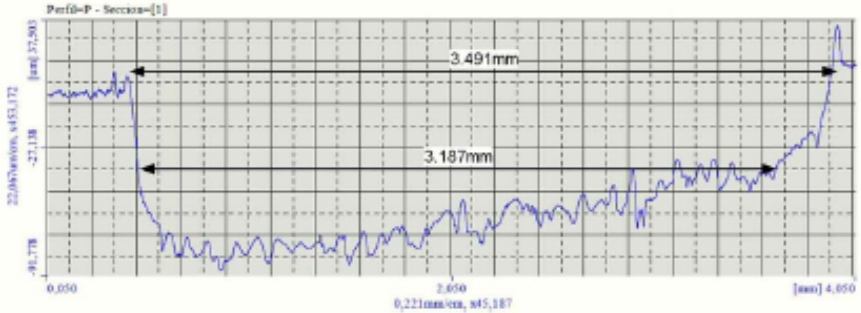


CONCLUSIONS

Per tal de poder visualitzar millor com es comporta la intensitat i el voltatge en el procés, es realitzaran un seguit de mesures en els perfils i profunditats anteriors que es podran visualitzar en la taula que es presenta a continuació. Per fer-ho més il·lustratiu es realitzarà una mesura exemplificadora.

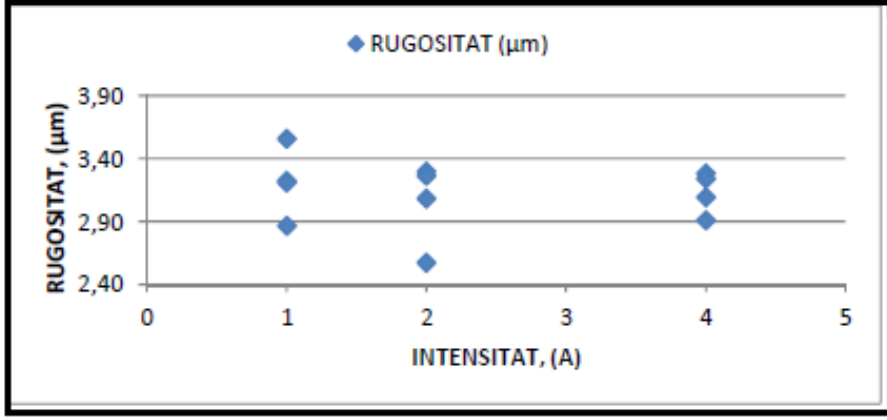
EXPERIMENT 4.1 (exemple il·lustratiu)

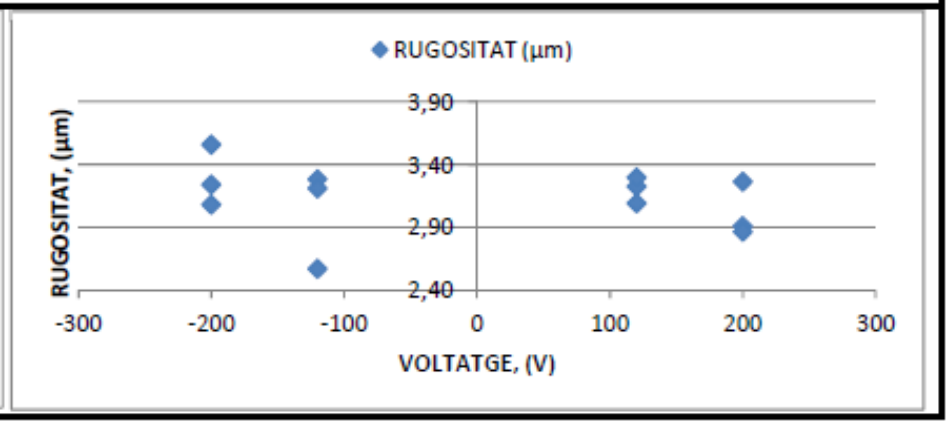


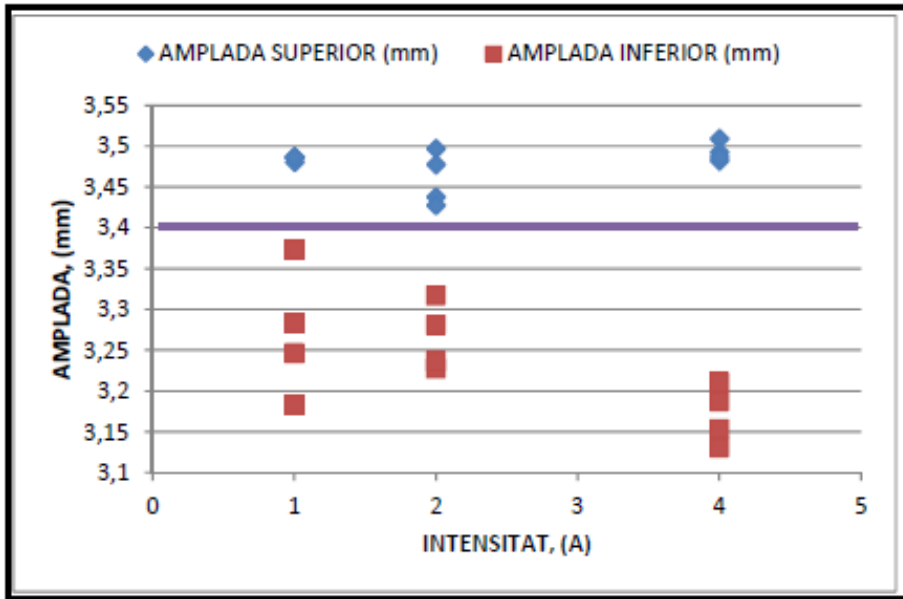


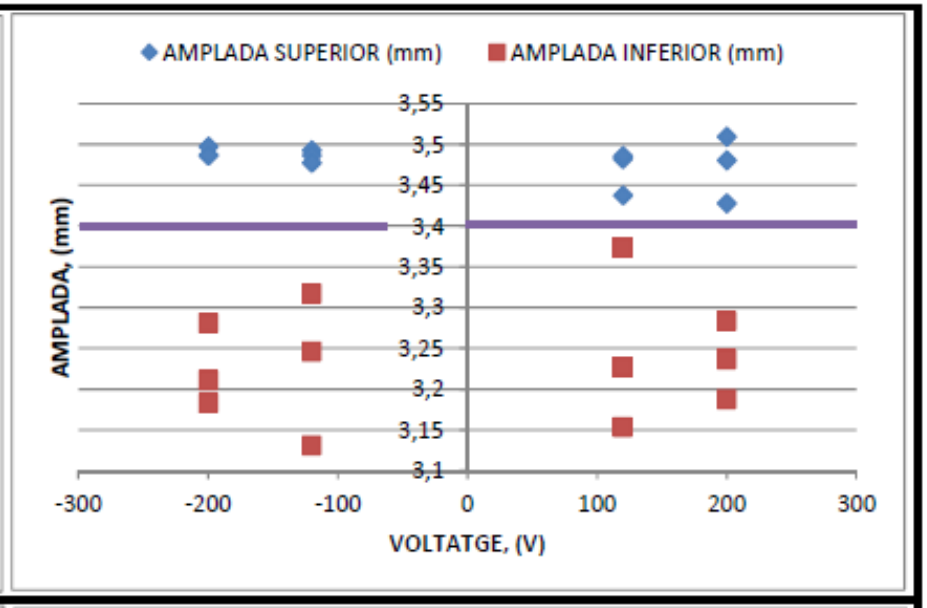
EXPERIMENT NÚM.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RUGOSITAT (µm)	2,911	3,281	3,093	3,224	3,240	3,210	3,083	2,570	2,866	3,299	3,556	3,264
AMPLADA SUPERIOR (mm)	3,509	3,493	3,482	3,486	3,487	3,487	3,497	3,478	3,481	3,438	3,487	3,428
AMPLADA INFERIOR (mm)	3,187	3,131	3,153	3,373	3,211	3,246	3,281	3,317	3,283	3,227	3,183	3,236
PROFUNDITAT EN EL PUNT MIG (mm)	84,50	80,20	84,30	75,00	76,50	75,70	86,40	92,60	95,70	102,00	79,00	87,50

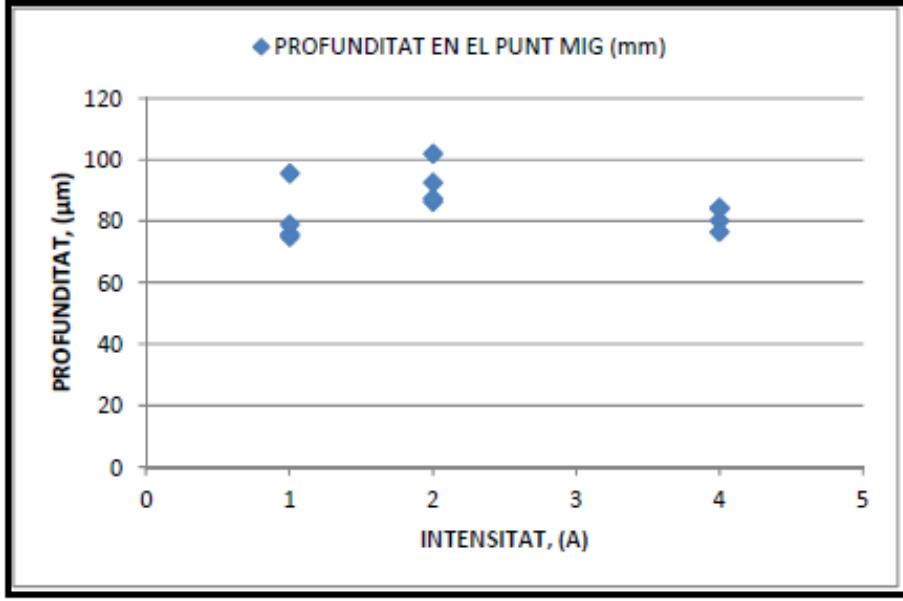
GRÀFIQUES AVALUATIVES DELS PARÀMETRES EN FUNCIÓ DE LA INTENSITAT I EL VOLTATGE

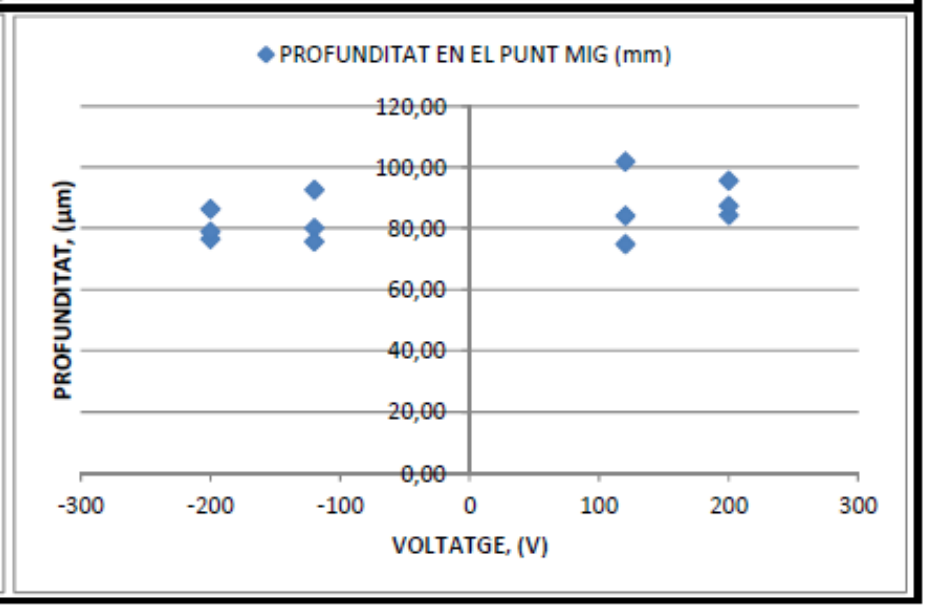





AMPLADA SUPERIOR (mm)
AMPLADA INFERIOR (mm)
AMPLADA, (mm)
3,55
3,5
3,45
3,4
3,35
3,3
3,25
3,2
3,15
3,1
0
1
2
3
4
5
INTENSITAT, (A)


AMPLADA SUPERIOR (mm)
AMPLADA INFERIOR (mm)
AMPLADA, (mm)
3,55
3,5
3,45
3,4
3,35
3,3
3,25
3,2
3,15
3,1
-300
-200
-100
0
100
200
300
VOLTATGE, (V)


PROFUNDITAT EN EL PUNT MIG (mm)
PROFUNDITAT, (µm)
120
100
80
60
40
20
0
0
1
2
3
4
5
INTENSITAT, (A)


PROFUNDITAT EN EL PUNT MIG (mm)
PROFUNDITAT, (µm)
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-300
-200
-100
0
100
200
300
VOLTATGE, (V)

COMENTARI DE RESULTATS

Pel que fa al tema de les rugositats interiors de les cavitats obtingudes amb els experiments, s'ha pogut veure que s'obtenen uns valors bastant correctes, oscil·lant en un interval d'aproximadament [3,60, 2,60]µm. Per tant, es podria afirmar que, pel que fa a aquest paràmetre, els valors són vàlids.

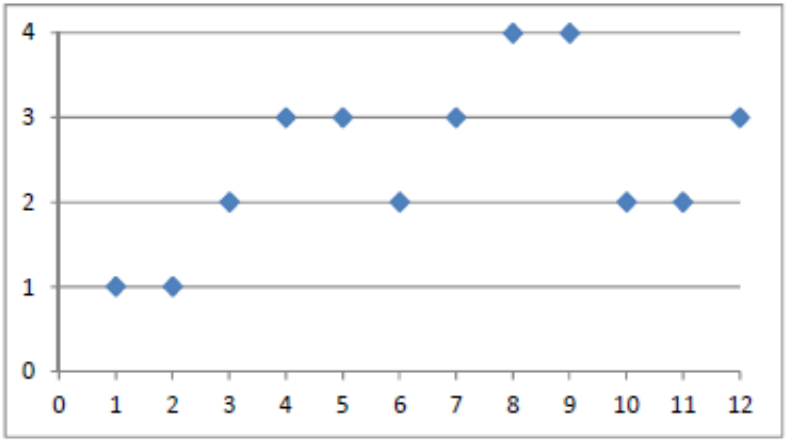
En el segon paràmetre analitzat, l'amplada superior i inferior, es pot apreciar que pel primer sempre superem el valor teòric i, pel segon, sempre els valors romanen per sota del valor teòric. Si es consulta a les gràfiques de perfil de cada experiment, això ve provocat per l'arrodoniment present. Tal i com es pot comprovar en els gràfics comparatius, el rang de desviació de l'amplada superior és molt més reduït que en les mesures d'amplada inferior. Això evidencia que en les amplades inferior no es realitza el que s'esperava ja que hi pot haver aspectes com la geometria de l'elèctrode que no serien correctes. A més a més, per intensitats de 1A i 4A i pels voltatges negatius (-200V i -120V), els valors es troben més agrupats, fent que la diferència sigui poc significativa.

En els valors de profunditat en el punt mig, són els valors que més errors es podria evidenciar ja que la geometria obtinguda no era l'esperada, ja sigui a causa del desnivell present en la peça o la geometria de l'elèctrode, que han provocat l'obtenció d'uns perfils inclinats. No obstant, es pot extreure que per intensitats inferiors (1A i 2A) les condicions finals s'apropen més al resultat teòric esperat. I pel que fa al voltatge, s'obté una certa simetria en els resulats obtinguts, fent que sigui més deteminant en aquest aspecte la intensitat aplicada.

ALTRES ANÀLISIS

A més dels resultats anteriors, s'ha establert una ponderació en funció de la qualitat dels resultats obtinguts pel que fa a la profunditat ja que en el perfil, s'obtenen uns valors molt semblants i pròxims al valor teòric establert. Així doncs, 4 vindrà determinat per un experiment amb uns bons resultats i 1, pels resultats menys bons.

EXPERIMENT NÚM.	MIDA A (µm)	MIDA B (µm)	MIDA C (mm)	QUALITAT ACABAT [4,3,2,1]
1	78,9	67,8	3,509	1
2	75,8	67	3,493	1
3	81,3	63,9	3,482	2
4	81,5	75,2	3,486	3
5	85,3	82,5	3,487	3
6	82,4	69,7	3,487	2
7	84,6	73,9	3,497	3
8	94	74	3,478	4
9	93,9	80,8	3,481	4
10	79,3	71,9	3,438	2
11	81,8	70,6	3,487	2
12	88	80,4	3,428	3



EXPERIMENTS DE QUALITAT IGUAL A 1
En els gràfics obtinguts es pot apreciar un cert desnivell i un mal acabat de la geometria de la cavitat. No s'obté uns valors que s'ajustin a les pretensions teòriques de 100µm. Particularment, s'obté unes 79µm per un costat de la cavitat i d'unes 67µm per l'altre. Això pot venir provocat per un desgast de l'elèctrode, un mal posicionament del 0 abans de l'inici del procés o el desnivell present en la peça.
EXPERIMENT DE QUALITAT IGUAL A 2
En els gràfics obtinguts es pot apreciar el mateix desnivell que en els casos anteriors, provocant el mal acabat de la geometria de la cavitat. S'obtenen uns valors bastant bons per un costat de la cavitat i, en canvi, per l'altre uns valors lluny de les pretensions teòriques de 100µm. Particularment, s'obté unes 82,5µm per un costat de la cavitat i d'unes 70,5µm per l'altre. Això pot venir provocat per un desgast de l'elèctrode o el desnivell present en la peça.
EXPERIMENT DE QUALITAT IGUAL A 3
Igual que en els gràfics anteriors també es pot apreciar el desnivell. No obstant, aquest no resulta tan pronunciat com en els 2 casos anteriors. S'obtenen uns valors bastant bons per ambdós costats i es van apropant a les pretensions teòriques de 100µm. Concretament, s'obté unes 88µm per un costat de la cavitat i unes 75µm per l'altre. Igual que en el cas anterior, això pot venir provocat per un desgast de l'elèctrode o el desnivell present en la peça.
EXPERIMENT DE QUALITAT IGUAL A 4
En aquesta categoria, els gràfics obtinguts hi ha present un lleuger desnivell en els resultats. No obstant, aquests casos són els que donen uns valors de profunditat més pròxims a les pretensions teòriques de 100µm. Particularment, s'obté entre unes 94µm per un costat de la cavitat i d'unes 80µm per l'altre. Es podria considerar que aquests dos casos, tant per paràmetres del procés com pels resultats, són els més semblants als resultats esperats. Tot i així, també hi ha uns errors que podrien venir definits pel desgast de l'elèctrode o el desnivell present en la peça.
GENERAL
En el transcurs de l'experimentació s'ha pogut observar una sèrie de successos que fins la moment no s'havien originat. En alguns dels experiments, mentre es produïa l'operació d'arrencada de material s'ha produït una gran quantitat de fums, fet que originés una zona de cremats bastant elevada. No obstant, en la màquina es disposa d'un sensor el qual indica, mitjançant un alarma, si hi hagués risc d'inflamació o incendi. Així, doncs tot i produir-se bastants fums en cap moment hi ha hagut un indici d'incendi, per tant, el resultats podrien ser donats com a vàlids. També s'ha pogut indentificar que els fums anteriorment citats principalment apareixen en valors d'intensitats molt negatius i en instants en els quals l'elèctrode es troba mecanitzant entre 70 i 100µm.
Adicionalment, comentar que s'està treballant sempre amb el mateix elèctrode. Això pot provocar que un error o dany en l'elèctrode, el qual s'anirà arrossegant en els experiments posteriors. També afegir que es tracta d'un elèctrode usat abans de l'experimentació realitzada. Així doncs, es podria justificar el cert arrodoniment obtingut en els assajos.

EXPERIMENTS FUTURS
Un cop vist tots els experiments anteriors, es decideix de treballar amb els paràmetres de procés dels dos experiments que més bons resultats han donat. Concretament són els experiments 8 i 9. Al mateix temps i com que l'objectiu final és treballar amb escala micro, es realitzaran els experiments següents amb elèctrodes nous a nivell micro per familiaritzar-se amb els components i paràmetres. Per intentar de solucionar alguns del problemes presents en els experiments anteriors i així obtenir uns millors resultats, es decideix de realitzar un rectificat a la proveta.

FASE 3 - CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS (RESULTATS NO ESPERATS)

EXPERIMENT NÚM.		5
OBJECTIU	1.	Primera experimentació a micro escala per tal de poder obtenir un bon perfil (aprofitant paràmetres del cas anterior).
	2.	Concentració dels sortidors de la neteja en l'assaig per poder aconseguir un millor acabat (Neteja interior superior i exterior superior).
	3.	Anàlisi del perfil i qualitat superficial.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

		Valors	
Paràmetre	Unitats	Exp. 5.1	Exp. 5.2
I	[A]	2	1
V	V	-120	200
Ti	ms	3,2	3,2
To	ms	3,2	3,2
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,05
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,05
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	100µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	0,3
B (mm)	0,3
Material	COURE

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

RESULTATS

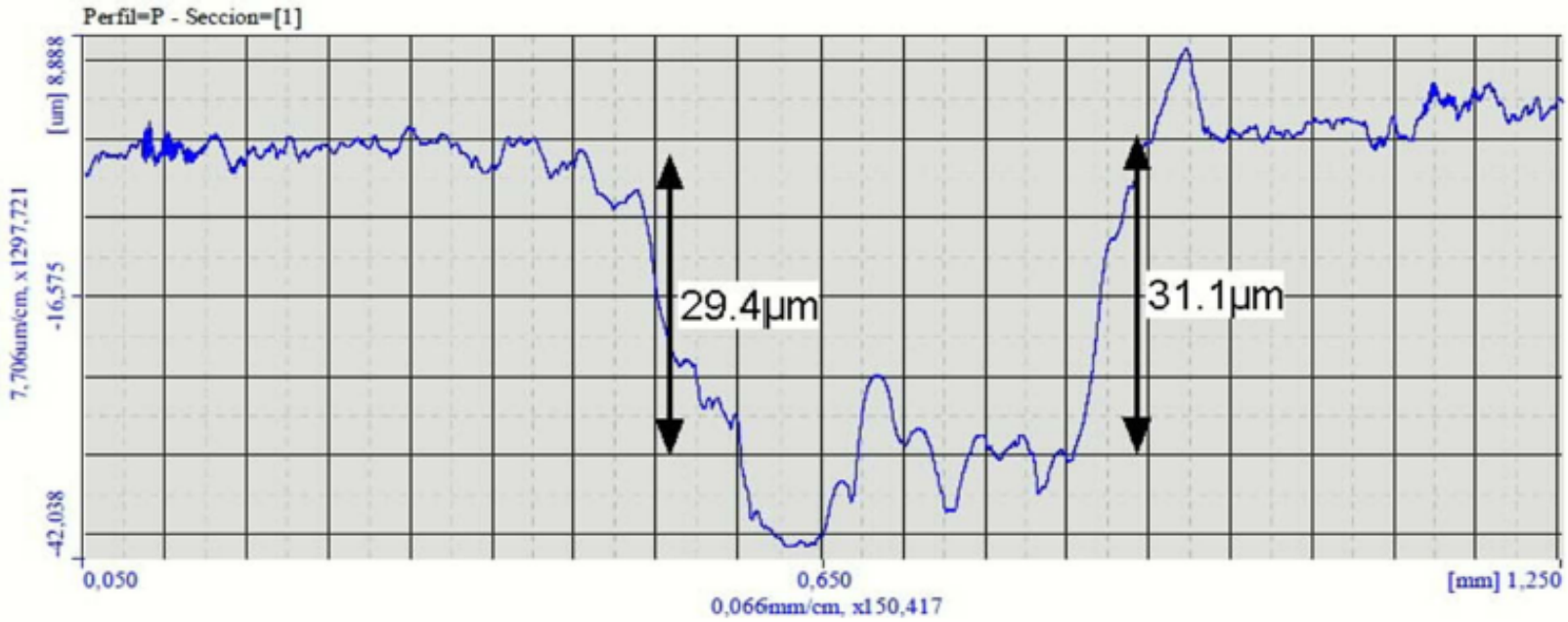
	Exp. 5.1	Exp. 5.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,005	-0,011
Temps que ha tardat	25 s	30 s

Comentari:

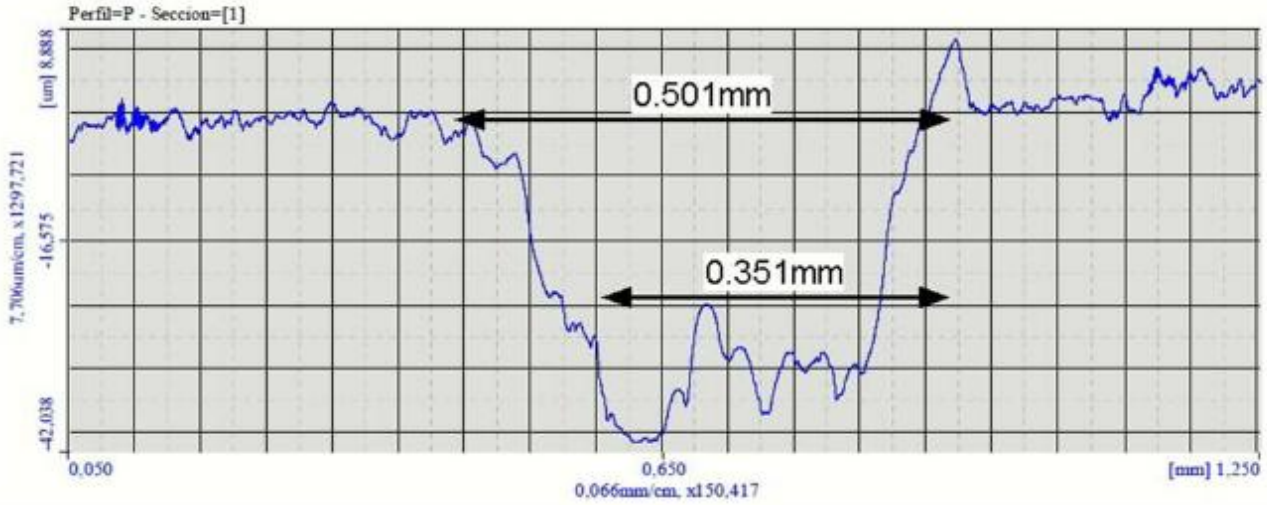
Analitzant aquestes dues dades dels experiments, es pot apreciar com pel que fa al desgast no hi ha massa variació i s'aconsegueix un desgast de l'elèctrode molt petit d'entre 5 i 10µm aproximadament. No obstant, pel que fa al temps que ha tardat, obtenim uns valors bastant significatius ja que no arriben ni a 1min de temps de treball. Això permet deduir que els resultats obtinguts no seran molt bons.

Mesures

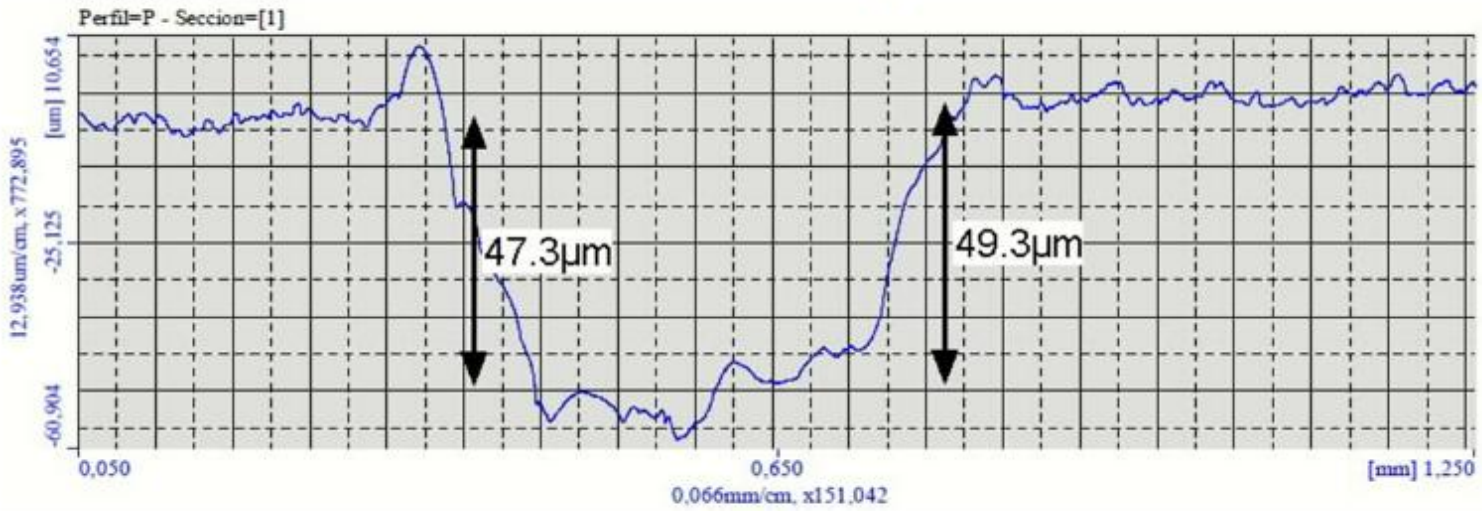
PROFUNDITAT (Exp. 5.1)



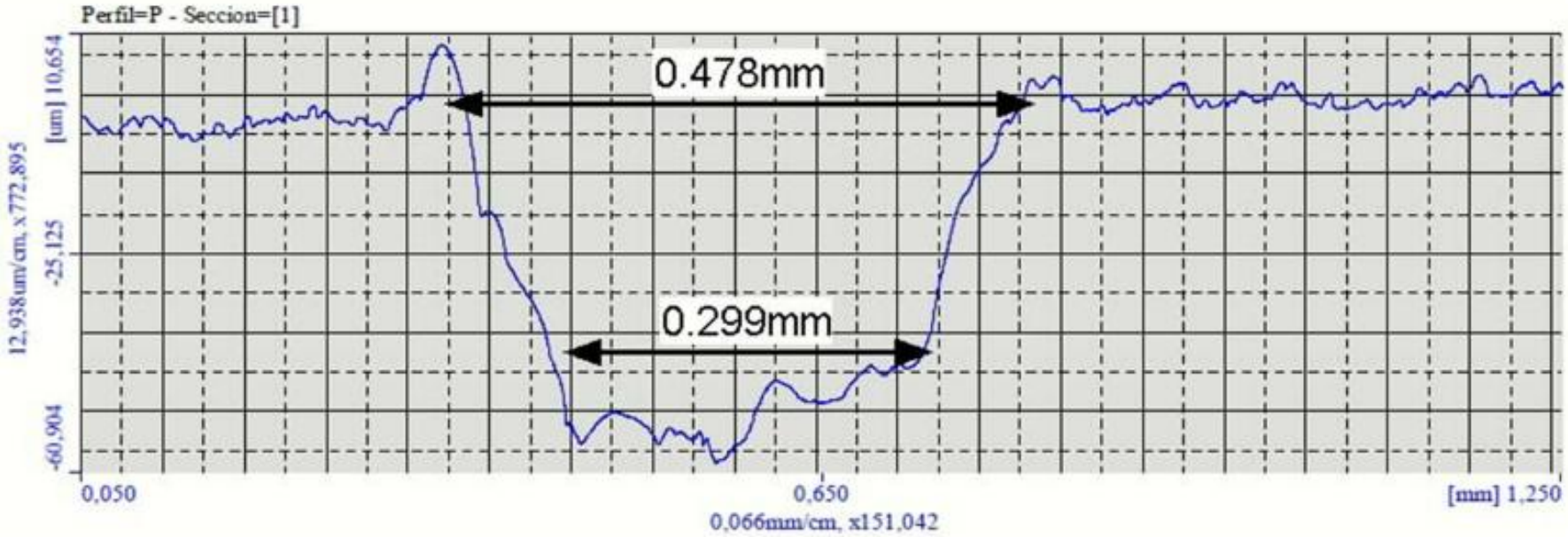
PERFIL (Exp. 5.1)



PROFUNDITAT (Exp. 5.2)



PERFIL (Exp. 5.2)



CONCLUSIONS (Exp 5.1)

1.	Primerament, destacar que la geometria de la proveta obtinguda no té molt bona forma. La qualitat superficial és bastant dolenta. Es pot apreciar una certa tendència a la realització d'una cavitat però queda bastant mal definida.
2.	Partint del valor teòric de profunditat de 50µm, hem obtingut un valor de profunditat de 29,4µm en un extrem i de 31,1µm en l'altre. Aquests valors estan una mica lluny del valor teòric. No acaba d'assolir la profunditat desitjada, ja que encara necessitaria mecanitzar en z unes 20µm més.
3.	Pel que fa al perfil, tenint en compte que l'elèctrode era de 0,3mm d'amplada i hem decidit que ens realitzés un orbital de 100µm, els resultats a la part superior són molt bons ja que s'obté un valor de 0,501mm. No obstant, en el fons de la cavitat es pot apreciar un desnivell pronunciat i una certa planitud al llarg de 0,351mm. Aquest possible desnivell podria venir provocat per viruta acumulada o una evolució del procés o, fins i tot, de l'elèctrode.

CONCLUSIONS (Exp 5.2)	
1.	Pel que fa a la geometria obtinguda, es produeix una tendència de mala qualitat, igual que en el cas anterior. No obstant, en aquest experiment la tendència a obtenir la cavitat cega és més perceptible, provocant així una certa millora en el resultat.
2.	Pel que fa a la profunditat en aquest experiment obtenim uns valors de 47,3µm per un costat de la cavitat i de 49,3µm, per l'altre. Tal i com s'ha comentat anteriorment, el valor teòric és de 50µm. Així doncs, els resultats serien considerats de molt vàlids ja que difererien de unes 3µm per un costat i 0,7 m, per l'altre.
3.	Pel que fa al perfil de la cavitat, en la part superior es pot apreciar un valor acceptable d'amplada (478µm) ja que es trobaria pròxim al 0,5mm teòrics. No obstant, l'arrodoniment present fa que en el fons de la cavitat s'obtingui un valor de 299µm, molt lluny del valor teòric. Aquest resultat semblaria indicar que només realitza el procés de mecanitzat en l'eix Z i no realitzés els orbitals, ja que el valor dels fons és precisament el valor de l'elèctrode.

ANÀLISI GLOBAL DELS EXPERIMENTS

Un dels objectius de l'experiment era la utilització dels surtidors de neteja per tal de poder concentrar el líquid dielèctric en la zona de mecanització i així poder afavorir el procés i, conseqüentment, obtenir uns millors acabats. Després d'haver comprovat els resultats, es genera el dubte de si la neteja s'hagués activitat ja que els acabats han estat molt dolents en ambdós casos, tot i que en el segon el resultat pel que fa a mesures hagi estat acceptable. Per tant, davant del dubte que ha generat l'acabat superficial es decideix a realitzar de nou els experiments assegurant-se de que les mànegues de neteja es concentrin en la zona de mecanitzat i estiguin actives.

FASE 3 - CONCENTRACIÓ DE SURTIDORS DE NETEJA AL PROCÉS (RESULTATS BONS)

EXPERIMENT NÚM.		6
OBJECTIU	1.	Repetició de l'experimentació a micro escala per tal de poder obtenir un bon perfil.
	2.	Concentració dels surtidors de la neteja en l'assaig per poder aconseguir un millor acabat (Neteja interior superior i exterior superior).
	3.	Anàlisi del perfil i qualitat superficial.

PARÀMETRES DEL PROCÉS

		Valors	
Paràmetre	Unitats	Exp. 6.1	Exp. 6.2
I	[A]	2	1
V	V	-120	200
Ti	ms	3,2	3,2
To	ms	3,2	3,2
C	-	22	22
NS	-	3	3
SERVO	V	65	65
Temps de retrocés	s	0,2	0,2
Temps de treball	s	0,8	0,8
V (%)	%	0	0
V w	mm^3/min	0	0

ALTRES PARÀMETRES:			
Neteja	Absorció		
Cabal	(0-31)	15	
Profunditat en l'eix principal sense GAP	-	mm	0,05
Cota final fins on es vol erosionar	-	mm	0,05
CAVITAT	CEGA		
Tipologia d'estratègia	Orbitals quadrats	100µm	
Conicitat de l'elèctrode	No té angle		
Eix principal	Z		
Velocitat	Per defecte (10)		
Sentit d'erosió	Negatiu "-"		
Parell E/P	Cu / St		

DADES ELÈCTRODE	
A (mm)	0,3
B (mm)	0,3
Material	COURE

GAP		
GAP de desbast	µm	0
GAP d'acabat	µm	0
GAP d'acabat*	µm	0
GAP d'erosió amb orbital	µm	0

RESULTATS

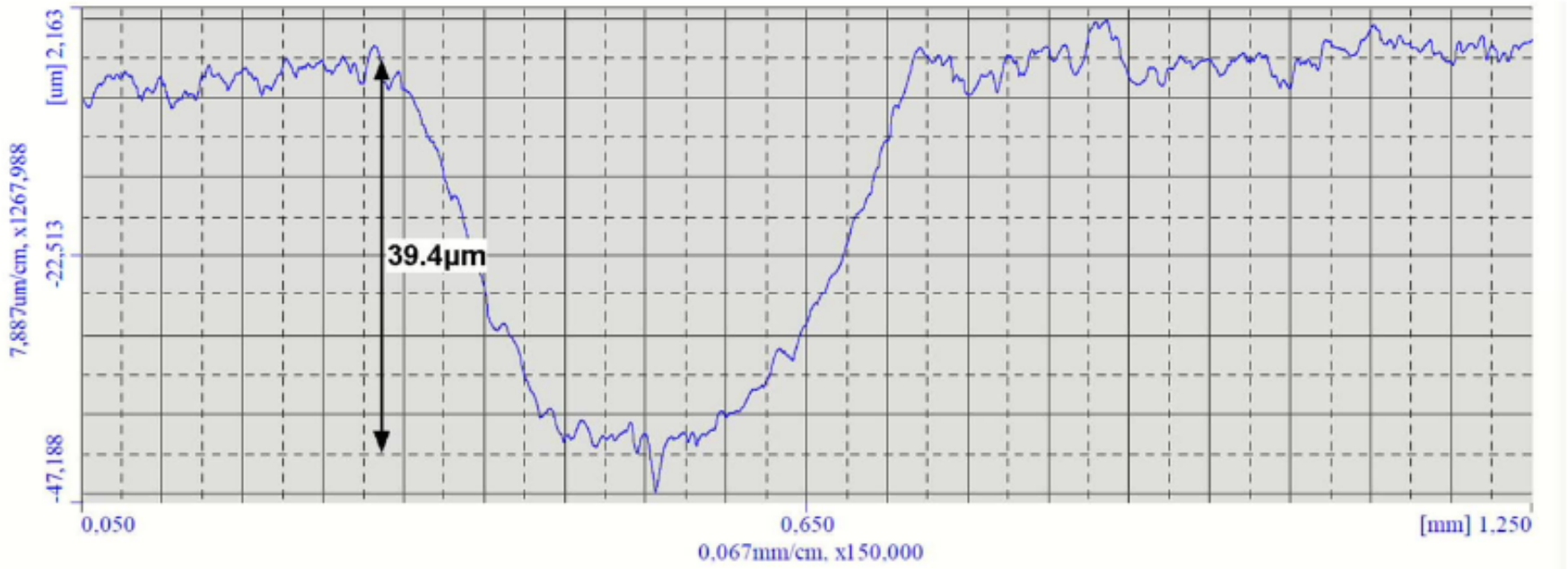
	Exp. 6.1	Exp. 6.2
Desgast (mm) X1 Y1	-0,006	-0,01
Temps que ha tardat	31 s	34 s

Comentari:

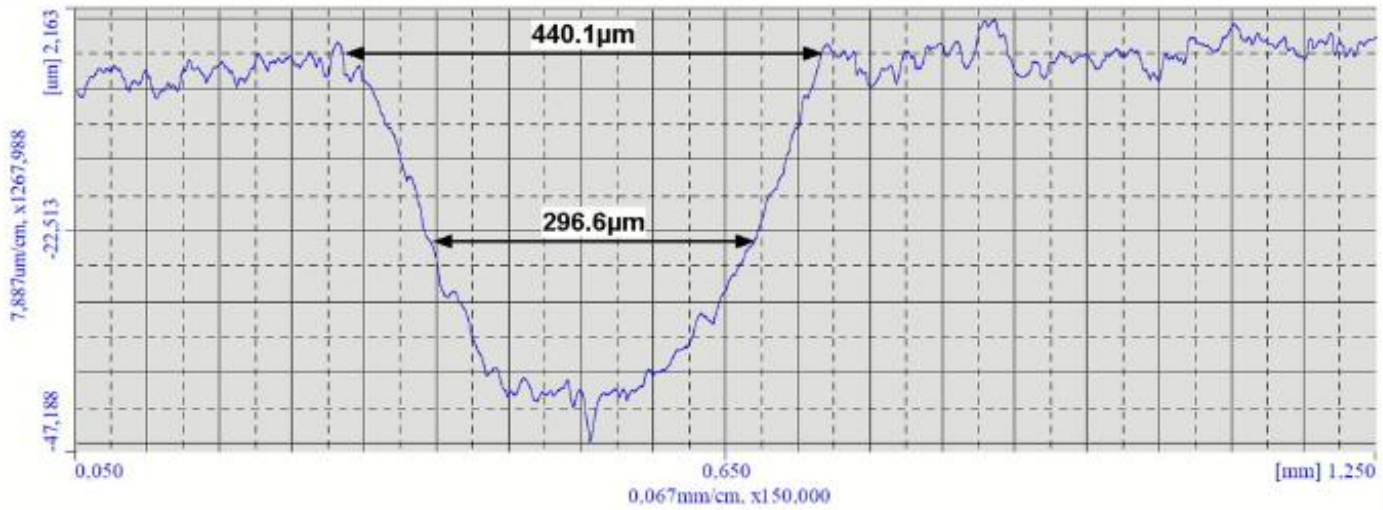
Analitzant aquestes dues dades dels experiments, es pot apreciar com pel que fa al desgast no hi ha massa variació i s'aconsegueix un desgast de l'elèctrode molt petit d'entre 6 i 10µm. No obstant, pel que fa al temps que ha tardat, s'obtenen uns valors bastant significatius ja que es troben al voltant del mig minut de temps de treball.

Mesures

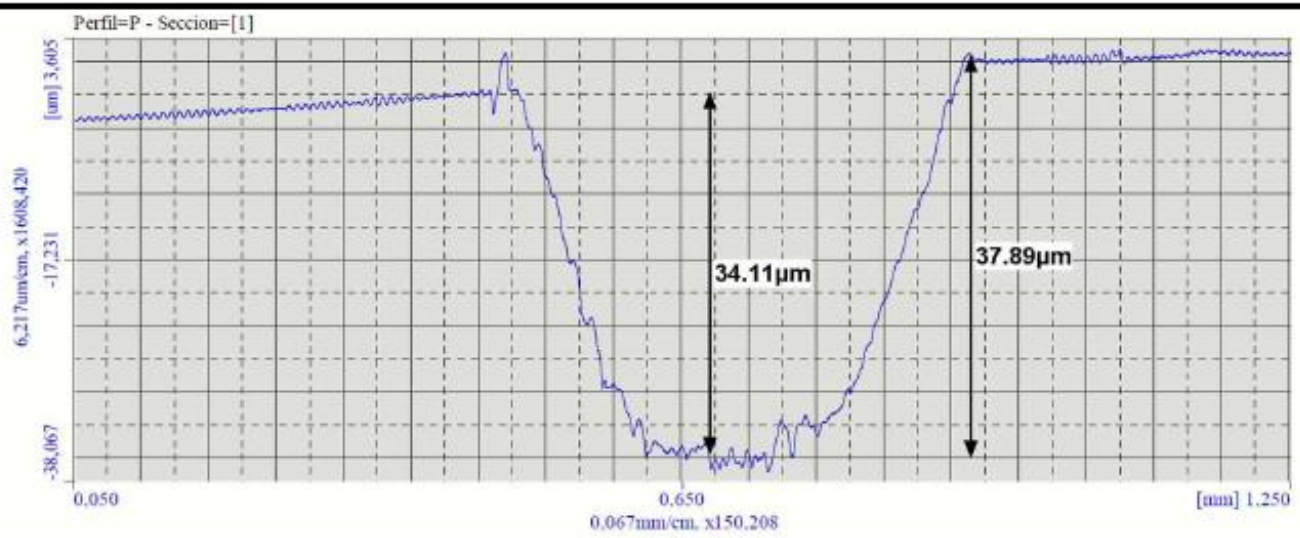
PROFUNDITAT (Exp. 6.1)



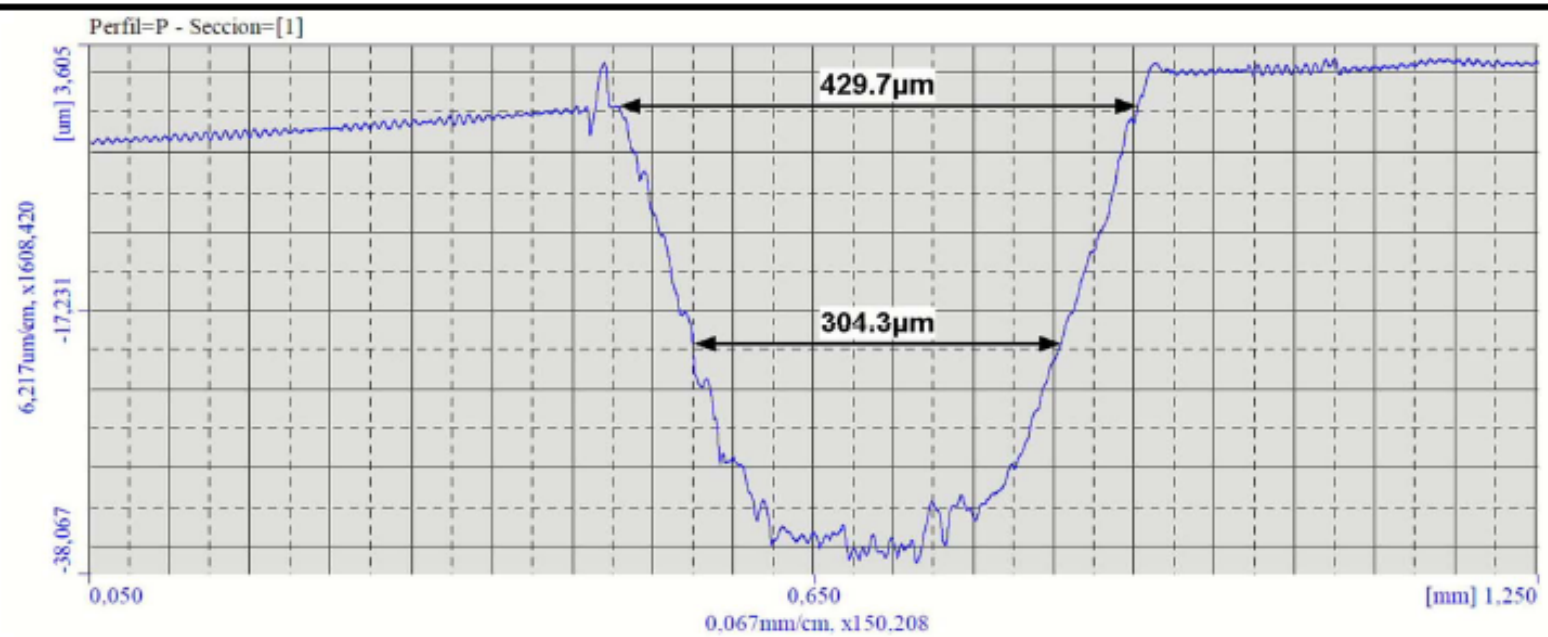
PERFIL (Exp. 6.1)



PROFUNDITAT (Exp. 6.2)



PERFIL (Exp. 6.2)



CONCLUSIONS (Exp 6.1)

1.	Primerament, destacar que s'ha obtingut una millor la geometria de la proveta, és a dir, ha quedat més ben definida. No obstant, tot i guanyar en qualitat superficial, ara es fa visible un arrodoniment de la cavitat al fons.
2.	Partint del valor teòric de profunditat de 50µm, hem obtingut un valor de profunditat de 39,4µm. Aquest valor estan una mica lluny del valor teòric. No acaba d'assolir la profunditat desitjada, ja que encara necessitaria mecanitzar en z unes 10µm més.
3.	Pel que fa al perfil, tenint en compte que l'elèctrode era de 0,3mm d'amplada i hem decidit que ens realitzés un orbital de 100µm, els resultats a la part superior són acceptables ja que s'obté un valor de 0,4401mm. No obstant, l'arrodoniment de la cavitat provoca que cap a la meitat de la cavitat aproximadament s'obtingui un amplada de 0,2966mm. Concretament, aquest valor és molt pròxim al valor de l'amplada de l'elèctrode, fet que provoqui que la dimensió en el fons sigui molt inferior a l'esperada.

CONCLUSIONS (Exp 6.2)	
1.	Igual que ha succeït en els primers experiments no vàlids, en aquerst segon experiment s'obté una geometria més definda. Amb la presència de la neteja es visualitza una qualitat superficial molt millorada que permet observar una geometria més ben definida pel que fa a la forma de la cavitat.
2.	Pel que fa a la profunditat en aquest experiment obtenim uns valors de 37.89µm per un costat de la cavitat i de 34.11µm, al centre. Igual que en cas anterior, aquests valors de profunditat encara disten del valor teòric de 50µm, concretament li faltaria mecanitzar en Z unes 10µm més.
3.	Pel que fa al perfil de la cavitat, en la part superior es pot apreciar un valor acceptable d'amplada (429,7µm) ja que es trobaria pròxim al 0,5mm teòrics. No obstant, l'arrodoniment present fa que gairebé en el fons de la cavitat s'obtingui un valor de 304,3µm, molt lluny del valor teòric. Aquest resultat semblaria indicar que només realitza el procés de mecanitzat en l'eix Z i no realitzés els orbitals, ja que el valor dels fons obtingut és pròxim al valor de l'elèctrode.

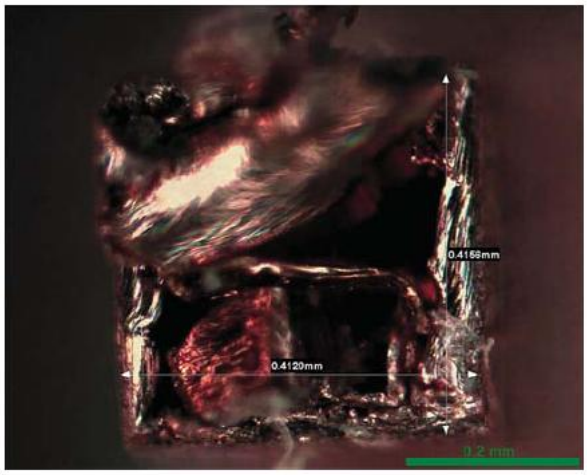
ANÀLISI GLOBAL DELS EXPERIMENTS

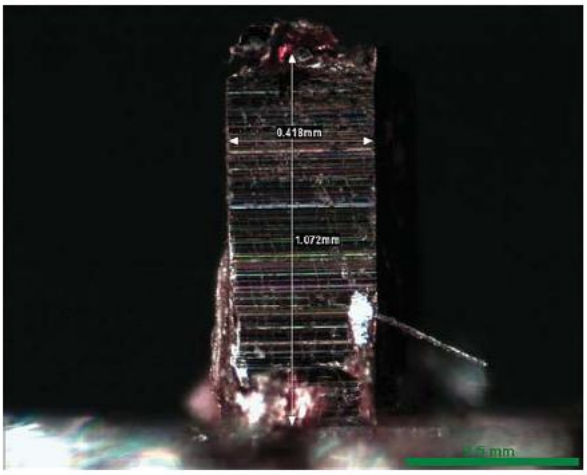
Un dels objectius de l'experiment era la utilització dels surtidors de neteja per tal de poder concentrar el líquid dielèctric en la zona de mecanització i així poder afavorir el procés i, conseqüentment, obtenir uns millors acabats. Després d'haver comprovat els resultats, es pot afirmar que la concentració de la neteja en la zona de mecanització afavoreix la qualitat superficial dels resultats finals. No obstant, encara es continua generant un cert arrodoniment en les cavitats obtingudes. Per solucionar això, en els experiments finals s'haurà de fabricar uns elèctrodes nous per tal de poder obtenir unes cavitats molt millorades.

D.2. EXPERIMENTACIÓ FINAL

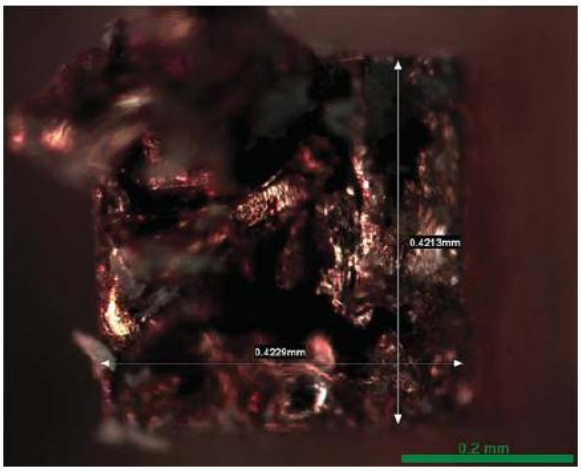
D.2.1. IMATGES DE LES MESURES DELS ELÈCTRODES

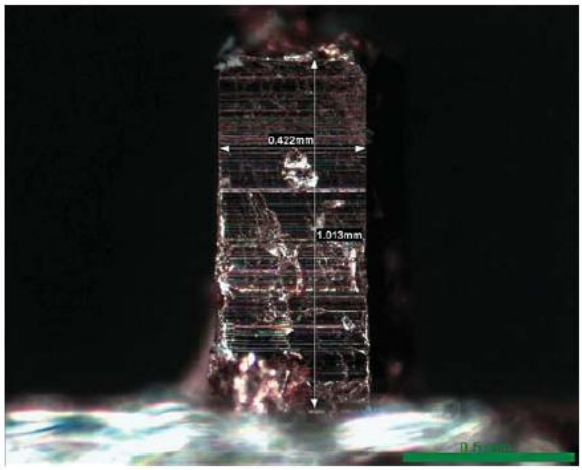
Elèctrode núm.1



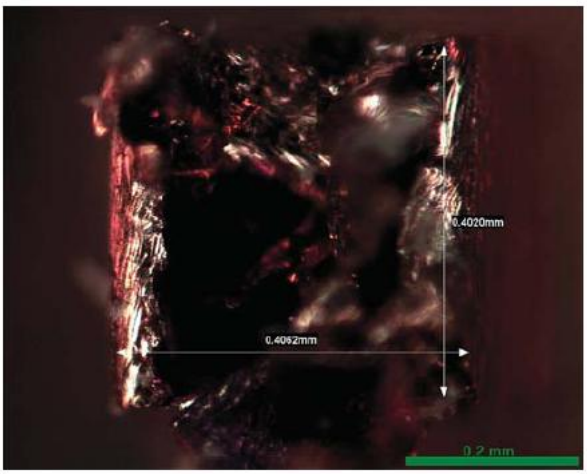


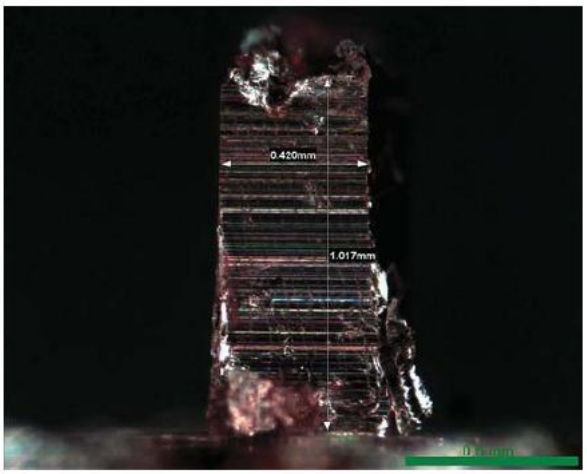
Elèctrode núm.2



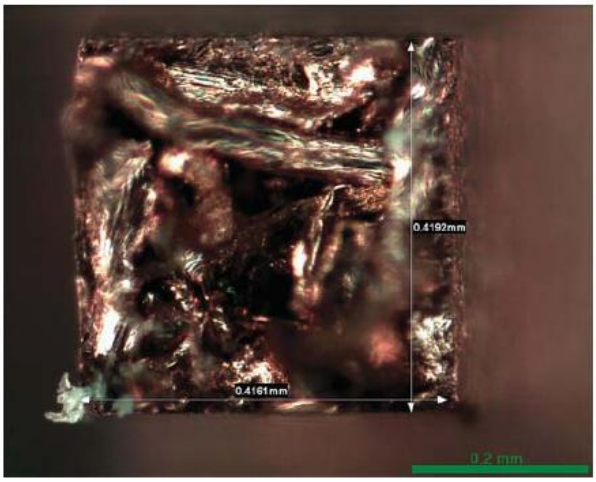


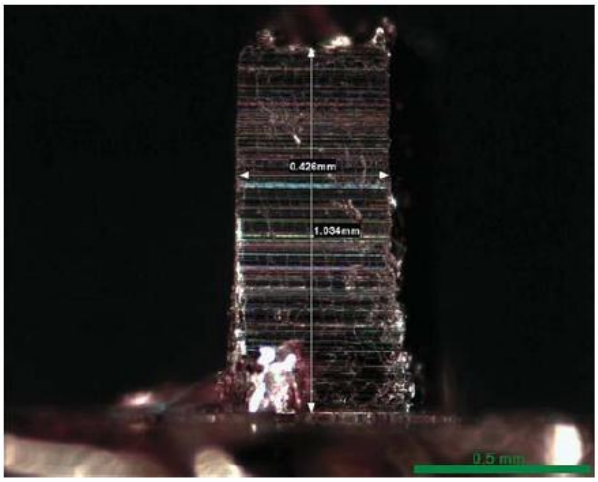
Elèctrode núm.3



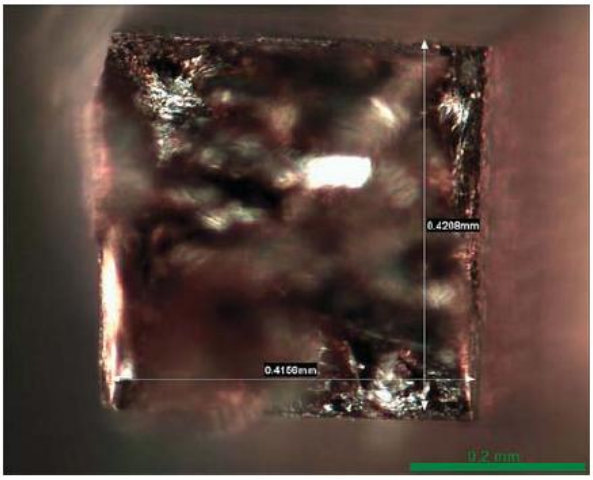


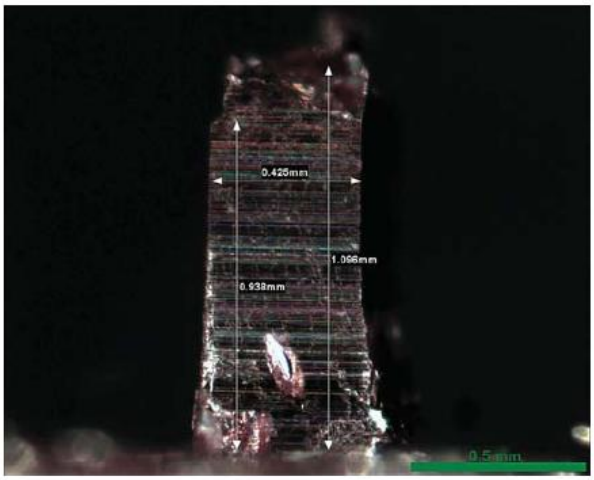
Elèctrode núm.4



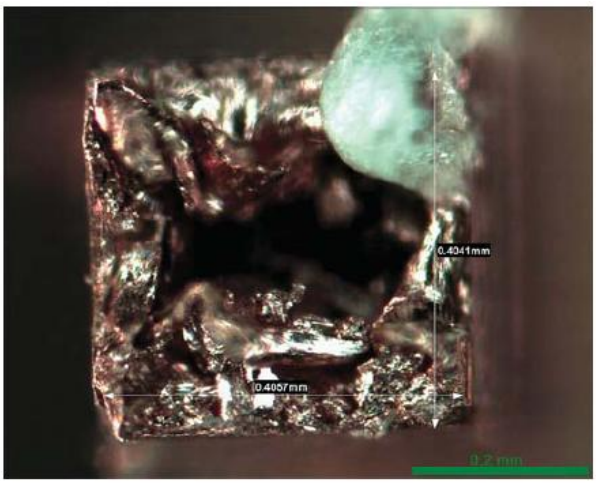


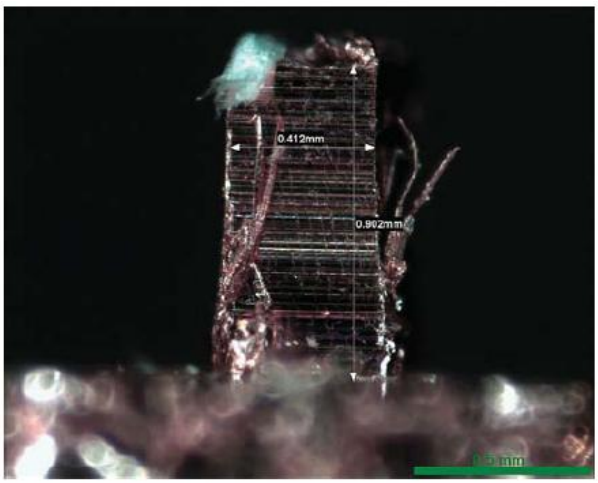
Elèctrode núm.5



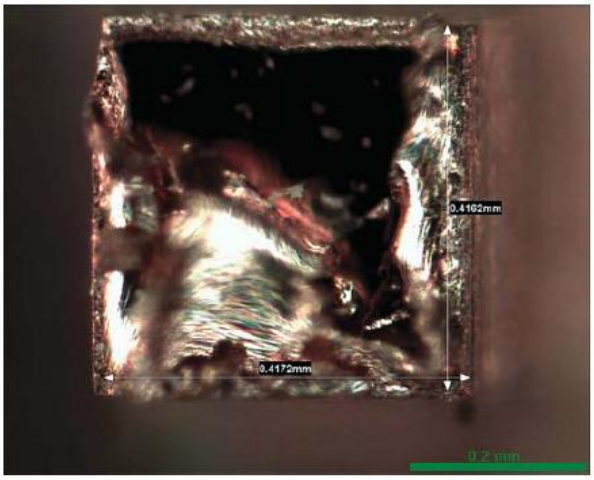


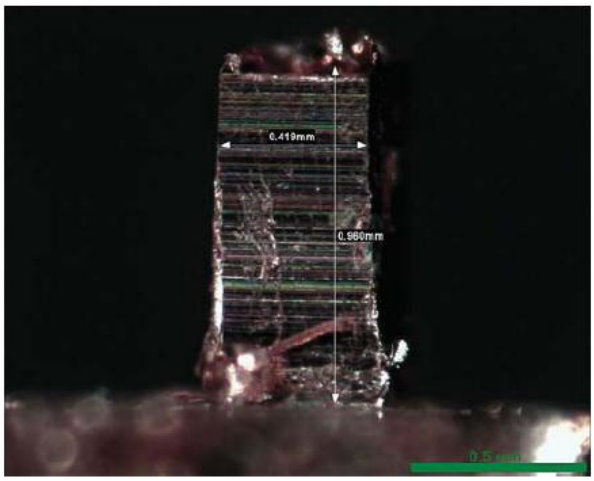
Elèctrode núm.6



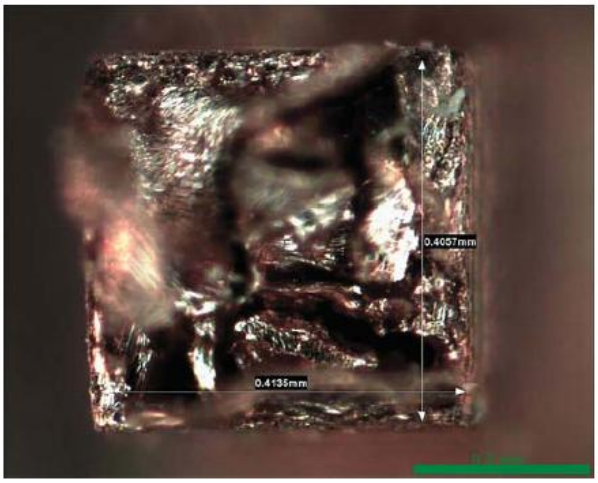


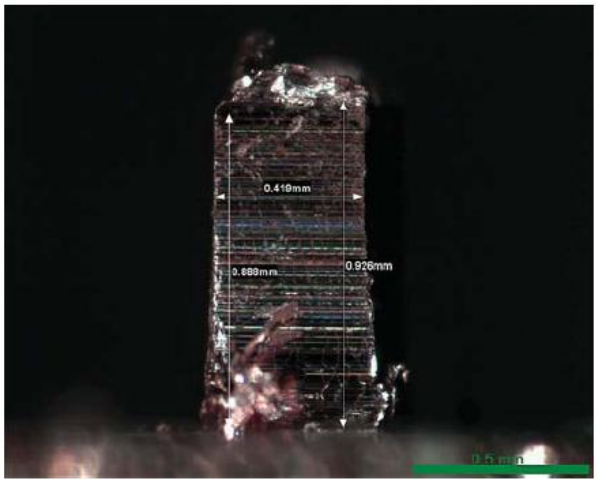
Elèctrode núm.7



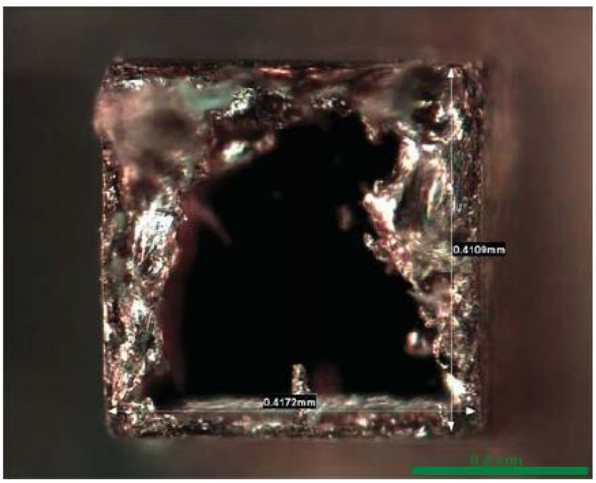


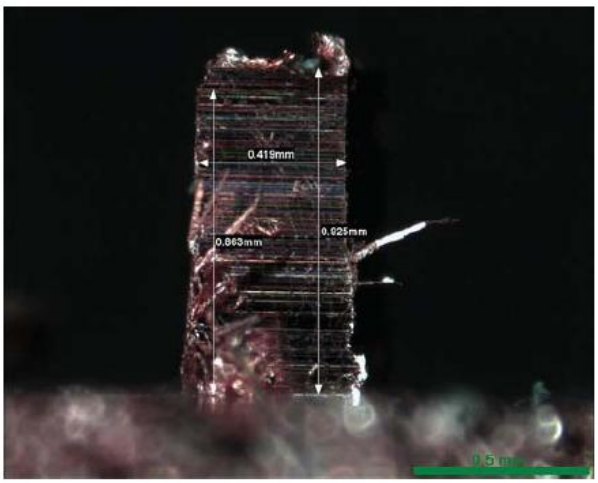
Elèctrode núm.8



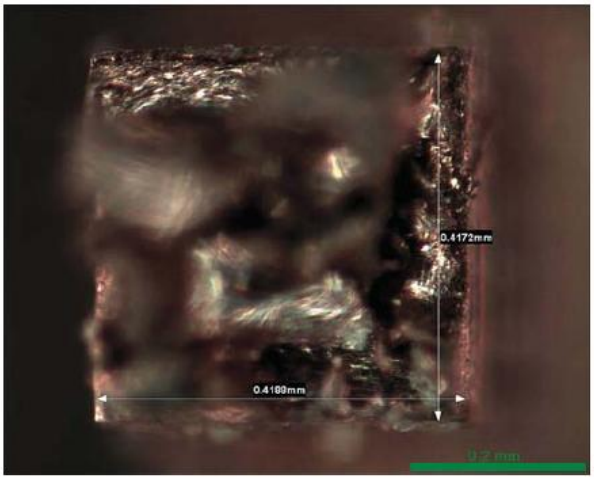


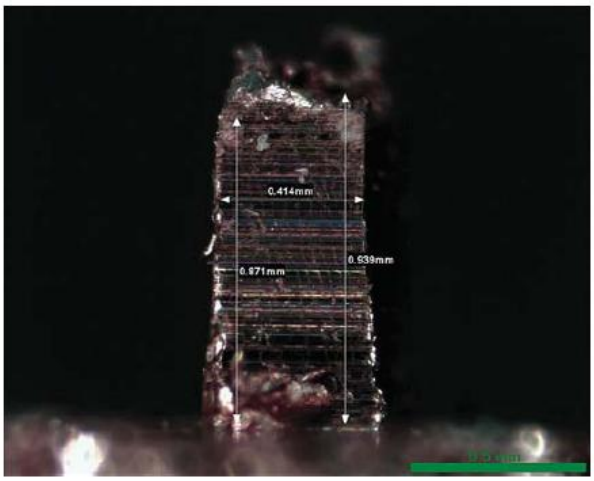
Elèctrode núm.9



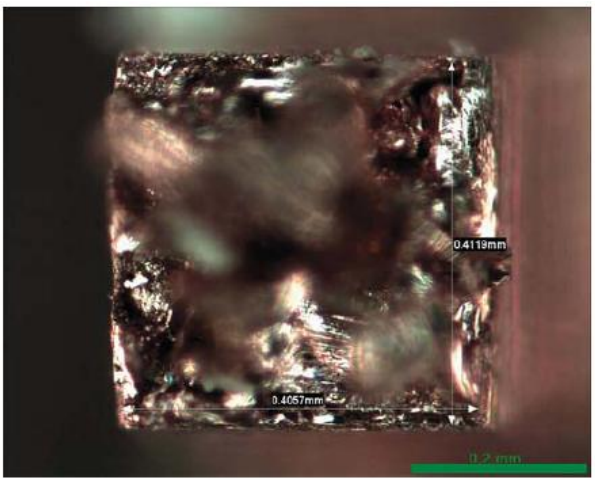


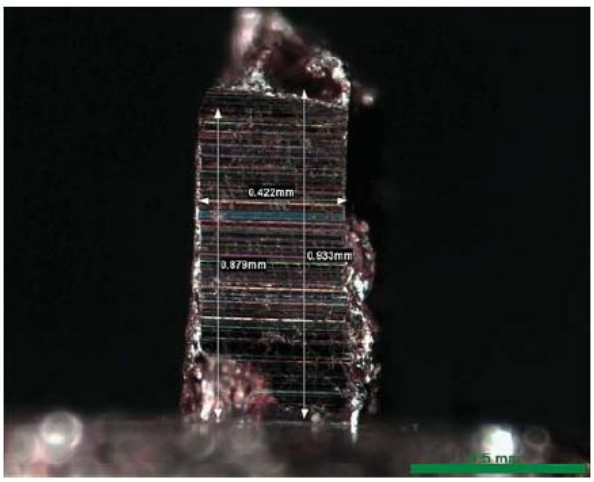
Elèctrode núm.10



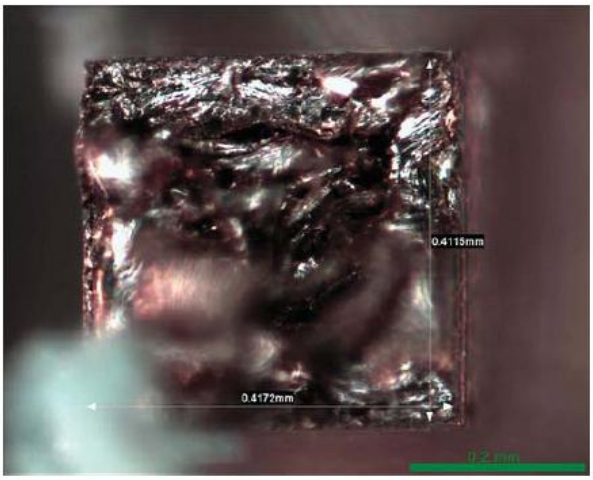


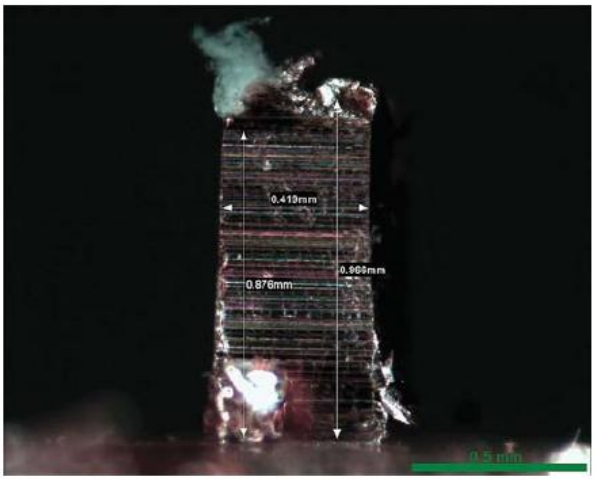
Elèctrode núm.11



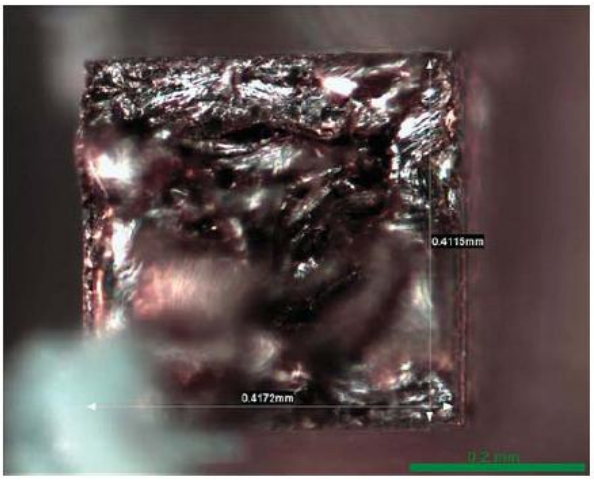


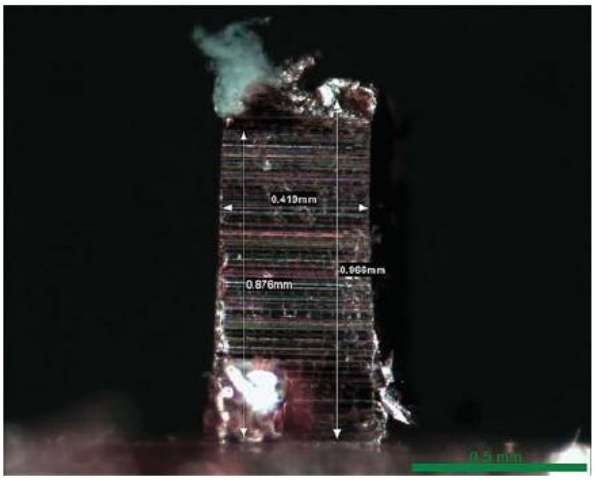
Elèctrode núm.12



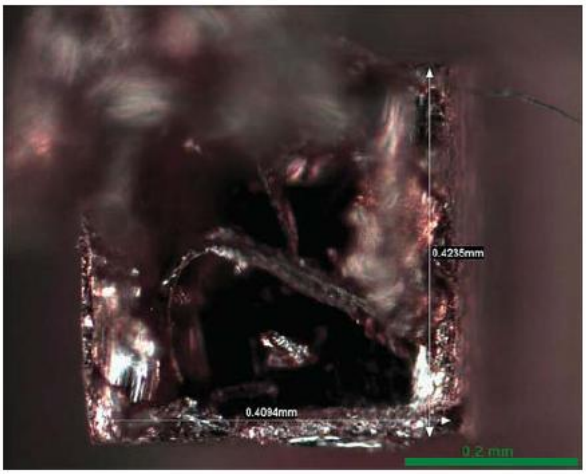


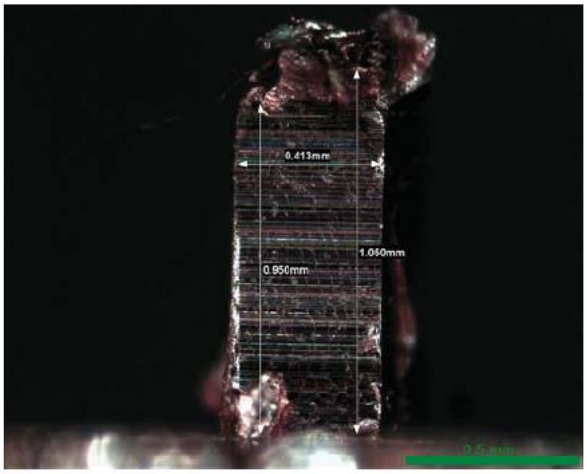
Elèctrode núm.13



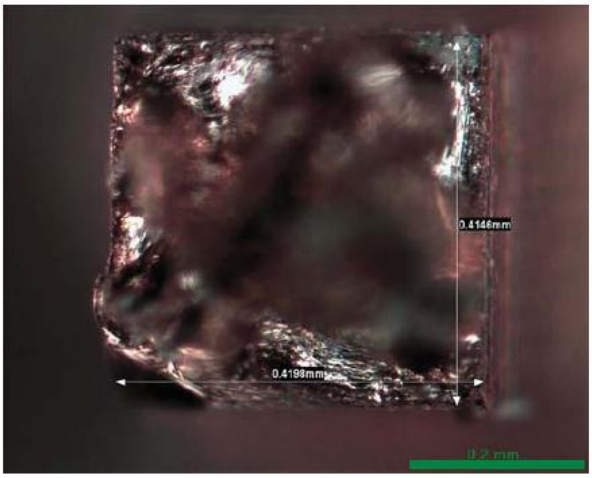


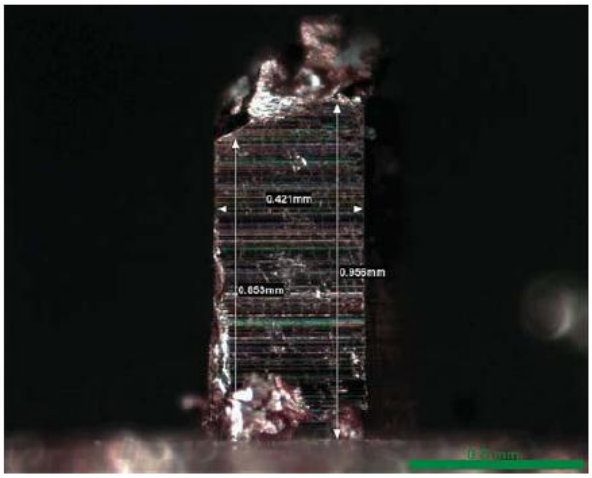
Elèctrode núm.14



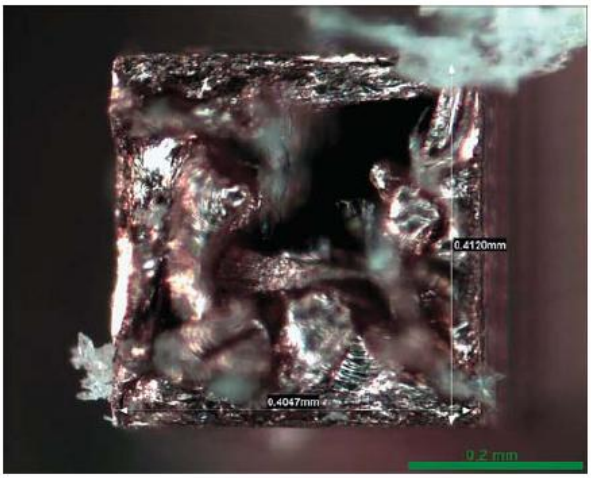


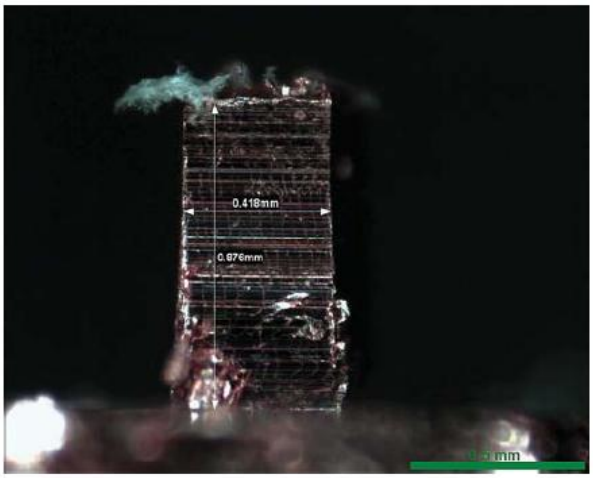
Elèctrode núm.15



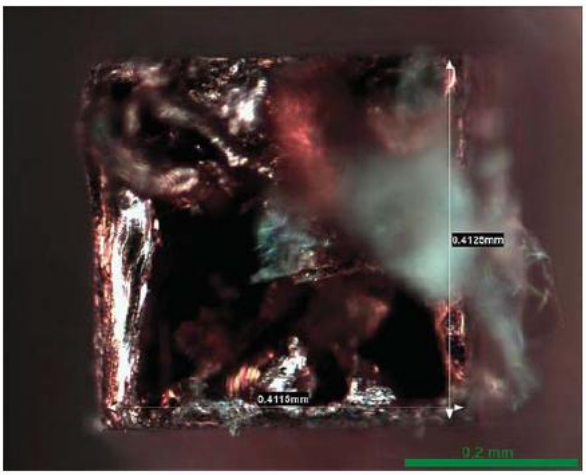


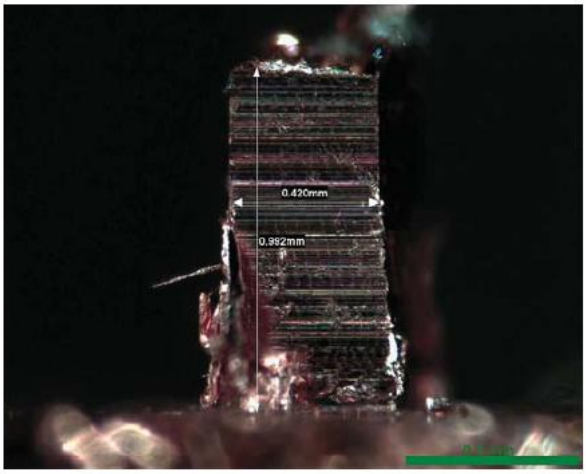
Elèctrode núm.16



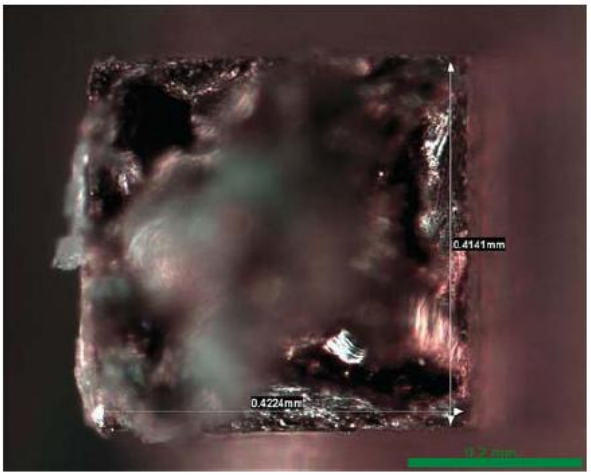


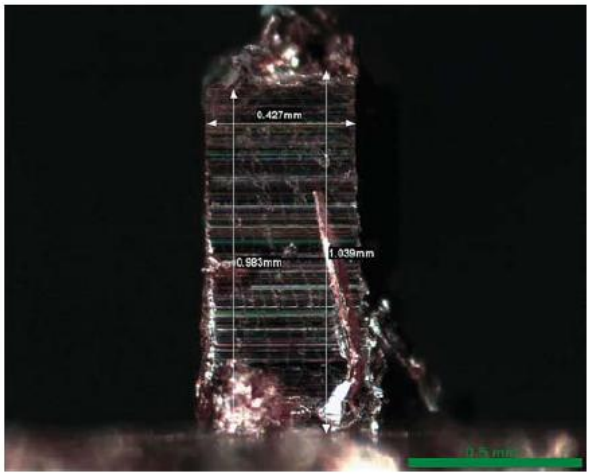
Elèctrode núm.17



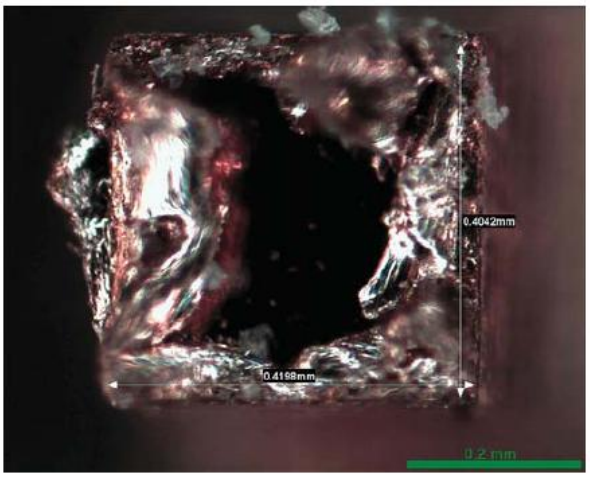


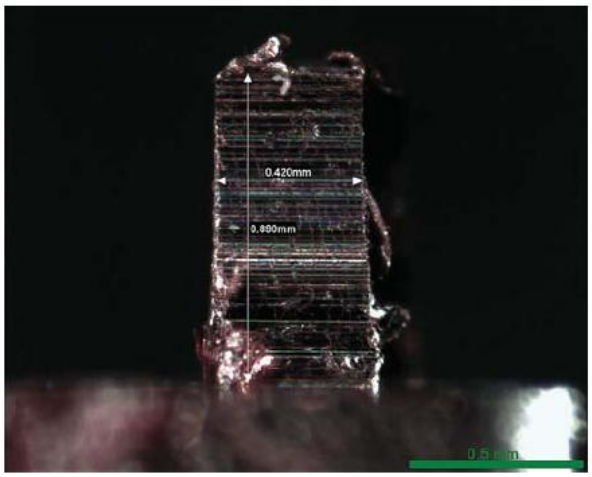
Elèctrode núm.18



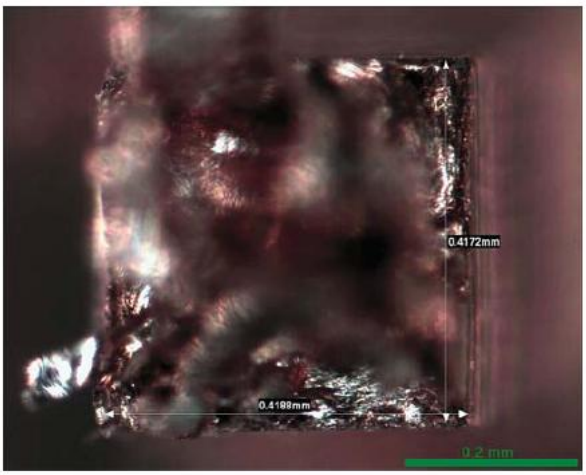


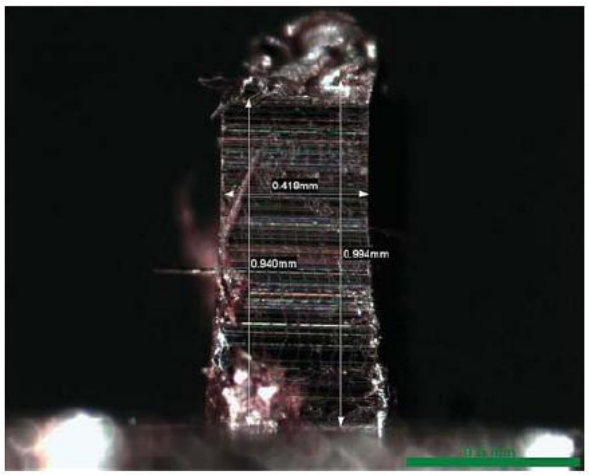
Elèctrode núm.19



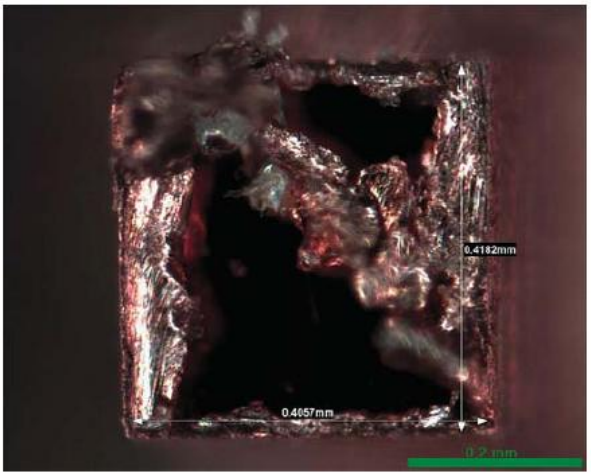


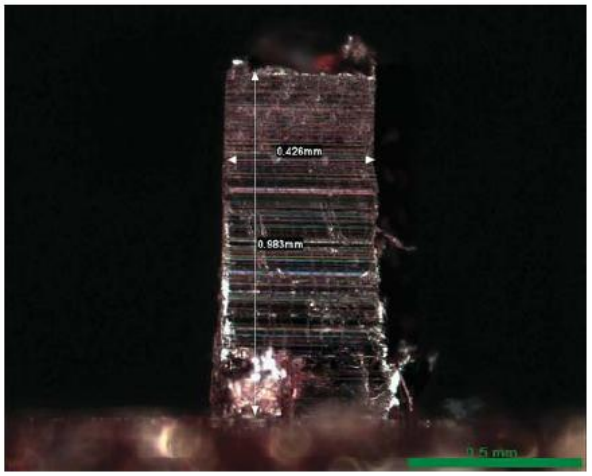
Elèctrode núm.20



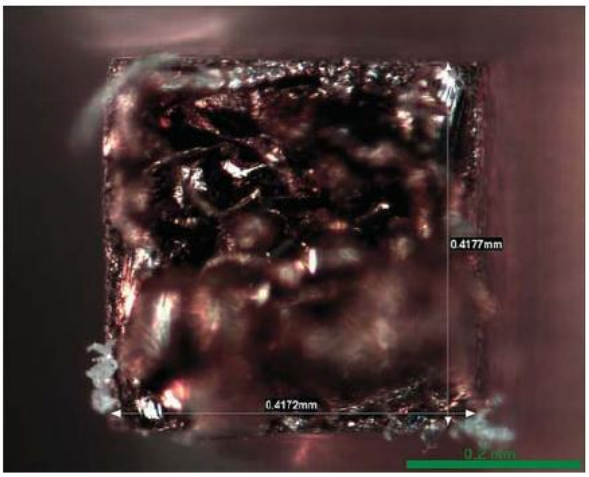


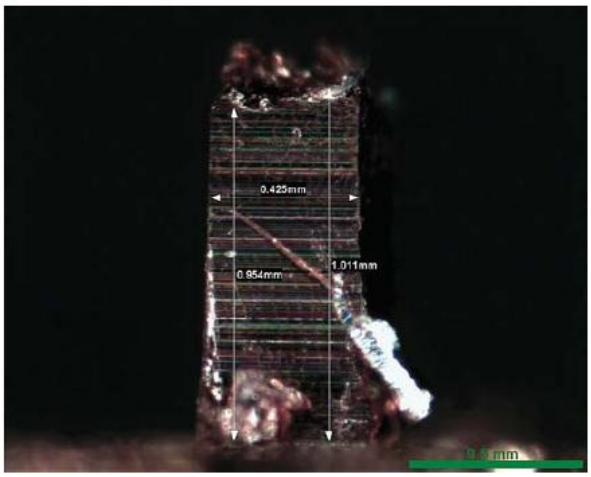
Elèctrode núm.21



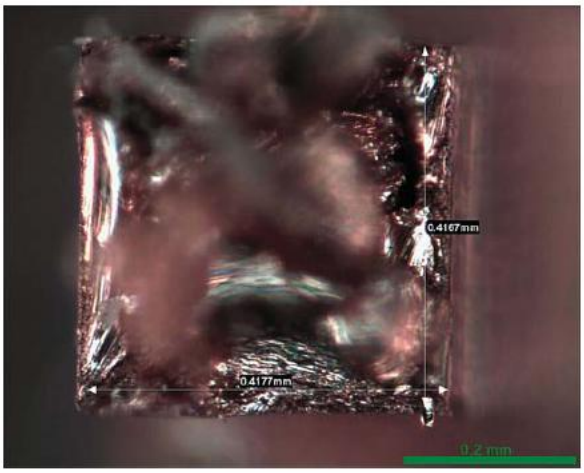


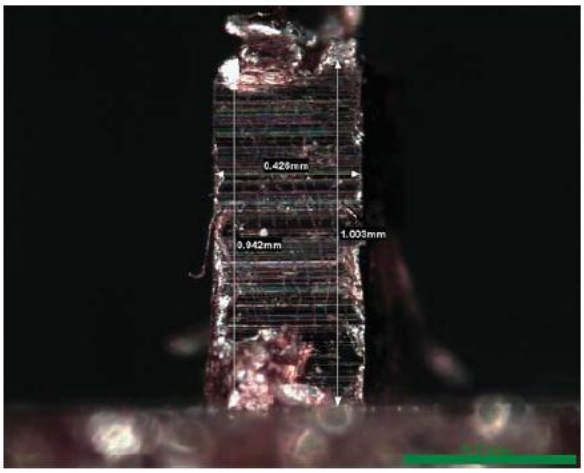
Elèctrode núm.22



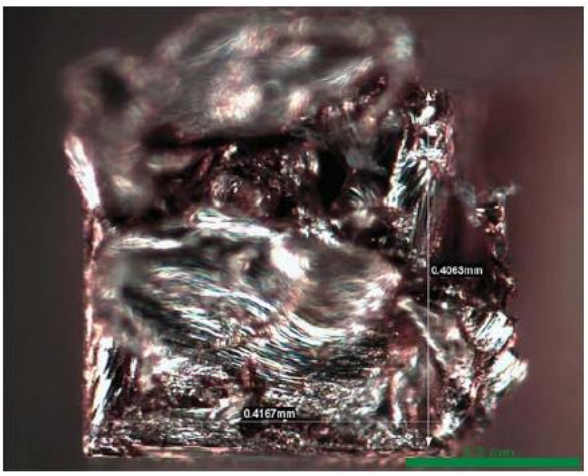


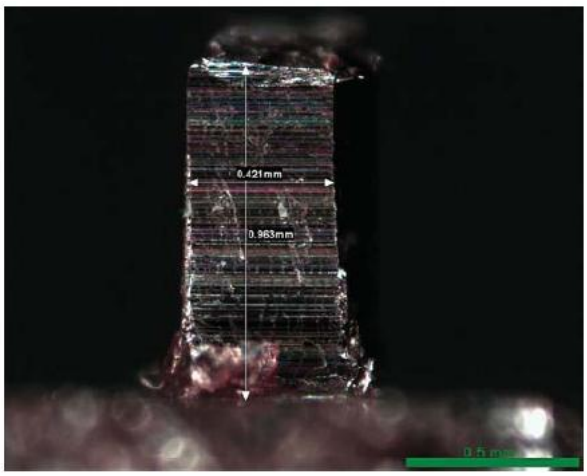
Elèctrode núm.23





Elèctrode núm.24





D.2.2. PROGRAMA D'INTRODUCCIÓ DE DADES A LA MÀQUINA ELECTROEROSIONADORA

PROGRAMA/CODI DE LA MÀQUINA ELECTROEROSIONADORA

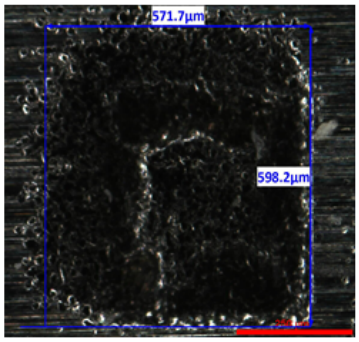
N0001	G 17			Eix principal Z
N0002	M88			Emplenat del tanc
N0003	M42			Activar NETEJA SUPERIOR EXTERIOR
N0004	M49	X8		Programar paràmetre del generador: **Caudal = 8**
N0005	G00	X0	Y0	Travessia ràpida fins a X=0 i Y=0
N0006	G28	Z0,2		Posicionament en Z=0,2mm
N0007	M59	X1		Posar a zero el rellotge número 1
N0008	M56	X1		Arrencar el rellotge número 1
N0009	M31	X2		Programar paràmetre del generador: **Intensitat = 2**
N0010	M83			Programar paràmetre del generador: **Tensió = -120**
N0011	M33	X3,2		Programar paràmetre del generador: **Impuls = 3,2**
N0012	M32	X3,2		Programar paràmetre del generador: Pausa = 3,2
N0013	M38	X65		Programar paràmetre del generador: **SERVO = 65**
N0014	M30	X22		Programar paràmetre del generador: **Condensador = 22**
N0015	M36	X0,2		Programar paràmetre del generador: **Temps de retrocés = 0,2**
N0016	M37	X0,8		Programar paràmetre del generador: **Temps de treball = 0,8**
N0017	M39	X3		Programar paràmetre del generador: **Nivell de seguretat = 3**
N0018	G11	X-0,1		Erosió fins a la cota -0,1mm
N0019	G12	X0,1		Orbitals quadrats de radi 0,1mm
N0020	M57	X1		Parar el rellotge número 1
N0021	G74			Retorn automàtic a l'inici
N0022	M92			Desactivar NETEJA SUPERIOR EXTERIOR
N0023	M02			Fi del programa

Línies del programa que es modifiquen en consonància amb els valors dels paràmetres del procés de cada experiment

D2.3. MESURA DE LES CAVITATS (SECCIÓ)

SECCIÓ

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	1



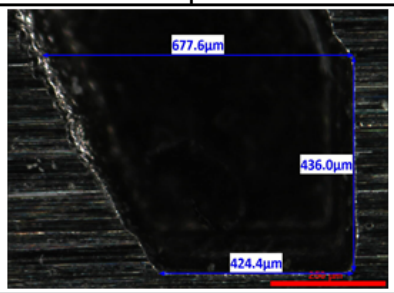
Comentari:

En la secció de l'experiment 2.1, es pot apreciar les marques de cada generació de guspira en l'arrencada de material. A simple vista es pot visualitzar com no s'obté una geometria uniforme, més aviat al contrari. Al mateix temps, no s'obté la geometria quadrada esperada, tot i que traçant unes línies per on es delimita aproximadament la zona erosionada, es pot comprovar que resulten ser bastant correctes i semblants al valor teòric de 600µm de costat.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. Per tant, davant la geometria obtinguda es considera que aquestes condicions no són les idònies per la realització d'una cavitat quadrada de 600µm de costat a escala micro.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	2



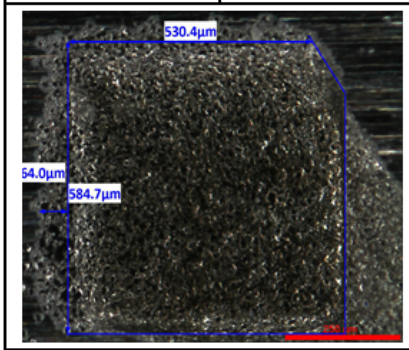
Comentari:

Primerament, destacar que en aquest experiment no s'obté una geometria quadrada. Per tant, s'hauria de repetir per tal de conèixer quines causes han provocat la desviació en l'obtenció de la cavitat. No obstant, pel que fa a l'acabat dels extrems presenten una bona definició, al mateix temps que en el fons de la cavitat.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. Tal i com s'ha comentat anteriorment, s'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	4



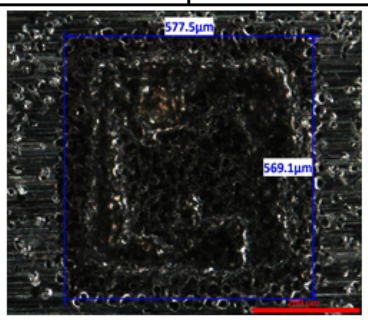
Comentari:

Primerament, destacar que en aquest experiment no s'obté una geometria quadrada. Per tant, s'hauria de repetir per tal de conèixer quines causes han provocat la desviació en l'obtenció de la cavitat. A més a més, la qualitat superificial de l'experiment no és l'esperada. Es poden apreciar les guspires generades en l'arrencada de material del procés d'electroerosió. S'ha intentat obtenir uns valors aproximats de la cavitat quadrada que hauria pogut generar-se en l'experiment i resulten estar bastant aproximats als valors teòrics de 600µm de costat.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. Tal i com s'ha comentat anteriorment, s'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	7



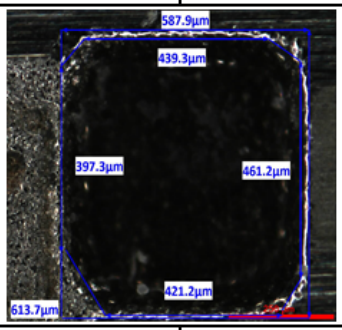
Comentari:

En la secció de l'experiment 2.7, es pot apreciar les marques de cada generació de guspira en l'arrencada de material. A simple vista es pot visualitzar com no s'obté una geometria uniforme, més aviat al contrari. Al mateix temps, es pot apreciar el recorregut de l'elèctrode a l'hora de generar els orbitals. Es pot dedui una geometria però no està ben definida.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. Tal i com s'ha comentat anteriorment, s'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	8



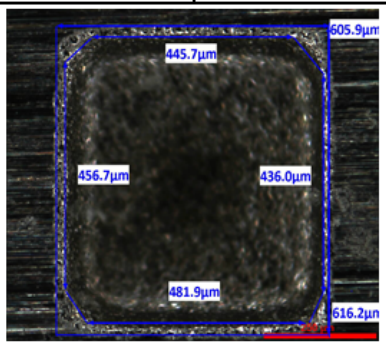
Comentari:

En aquest experiment, tot i està en contacte amb una altra secció, es pot apreciar que s'obté una secció bastant quadrada. No obstant, es pot visualitzar un arrodoniment en els vèrtexs. El fet de que s'hagi solapat amb un altre experiment fa que s'hagi de repetir. Tot i així, a simple vista es pot dir que obté una secció bastant correcte.

Conclusió particular:

Tal i com s'ha comentat anteriorment, s'ha solapat amb un altre experiment i, per tant, s'ha de repetir. Tot i així, sembla indicar que es genera una geometria bastant quadrada i pròxima a l'esperada.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	10



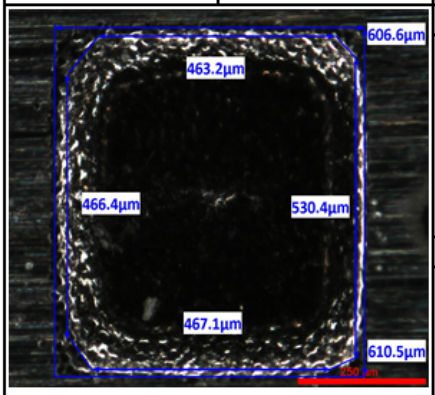
Comentari:

En l'experiment 2.10, es pot apreciar un resultat bastant bo. Tot i obtenir un cert arrodoniment en el vèrtexs de les cavitats, pel que fa a mesures, s'aproxima bastant a les 600µm de costat preteses teòricament. Al mateix temps, es por apreciar una erosió generada per les guspires durant el procés. Aquestes guspires són precisament en la zona arrodonida fins al valor aproximat mesurat.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'obtenen un resultats bastant bons, tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat i l'erosió inesperada en la zona arrodonida.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	11



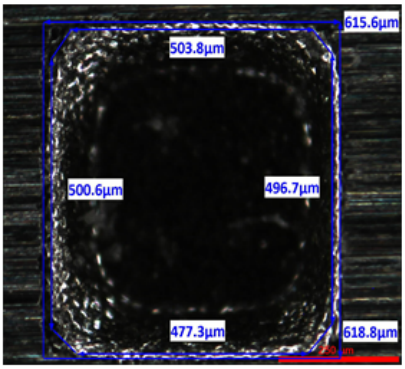
Comentari:

En l'experiment 2.11 es pot apreciar una geometria de la secció bastant quadrada. No obstant, igual que en el cas anterior en l'experiment 2.10, hi ha present un arrodoniment en els vèrtex. Concretament, en aquest experiment, l'erosió generada no és uniforme i es pot apreciar l'erosió generada per les guspires. Tot i aquesta erosió inesperada, podem dir que aquest experiment, genera uns valors pròxims als teòrics de 600µm en la mesura externa.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'obtenen un resultats bastant bons, tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat. No obstant, l'erosió inesperada de les guspires pot provocar que no s'hagi arrencat la quantitat de material suficient i no hagi generat el perfil esperat. Per tant, s'ha de contraposar el resultat obtingut en el perfil per acabar de decidir si els resultats obtinguts són bons.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	12



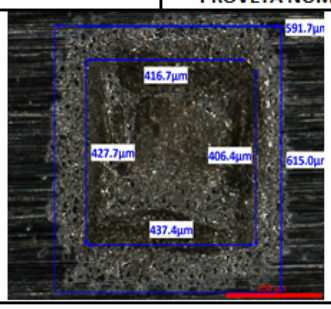
Comentari:

En l'experiment 2.12, tal i com es pot apreciar en la figura del requadre del costat, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. Pel que fa a les mesures aproximades realitzades, s'acosten als valors desitjats tot i poder observar un cert arrodoniment en els vèrtex. Concretament, veiem al voltant de 615µm en el costat horitzontal i unes 618µm en el vertical. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones, al voltant d'unes 500µm.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs, es pot dir que es tracta d'un bon resultat. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	14



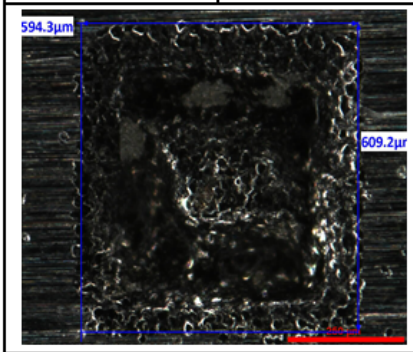
Comentari:

En aquest experiment no s'obté cap geometria quadrada. Es pot apreciar les guspires d'erosió, però tot i així, no es genera la cavitat pretesa en el context inicial. Tot i així, s'ha intentat mesurar el procés generat i s'obtenen uns valors molt aproximats.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. S'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	16



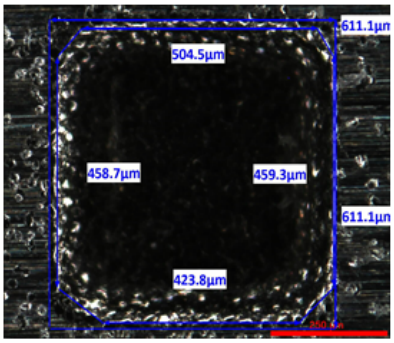
Comentari:

En aquest experiment no s'obté cap geometria quadrada. Es pot apreciar les guspires d'erosió, però tot i així, no es genera la cavitat pretesa en el context inicial. A més a més, el que si que es pot apreciar, és el moviment que realitza la màquina electroerosionadora en la generació dels orbitals durant el procés. Tot i no obtenir una secció quadrada, s'ha intentat mesurar el procés generat i s'obtenen uns valors molt aproximats.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. S'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	18



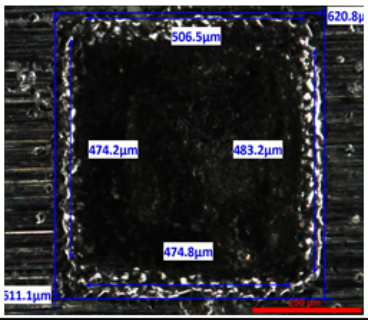
Comentari:

En l'experiment 2.18, es pot apreciar una geometria de la secció bastant quadrada. No obstant, la qualitat superificial de l'experiment no és l'esperada ja que es pot veure les marques generades per les guspires, en el moment de l'erosió, fora de la zona que equivaldria a ser la secció de la cavitat. Al mateix temps, hi ha present un cert arrodoniment en els vèrtexs de les cavitats.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. S'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat, els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria i les erosions fora de la zona de la secció desitjada.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	19



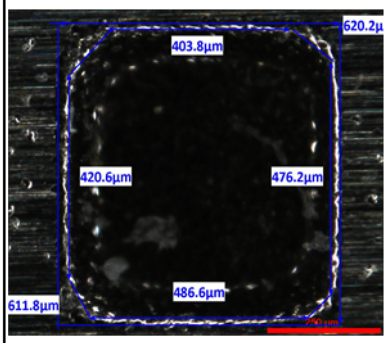
Comentari:

La geometria obtinguda en aquest experiment 2.19 és bastant bona. Hi ha present un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. Tot i així, no s'obté un bona definició en els laterals de la cavitat. Igual que en molts experiments anteriors, es pot apreciar l'arrencada de material generada per la guspira en el procés d'electroerosió. Pel que fa a mesures aproximades, s'obtenen un resultats bastant correctes, pròxims als valors teòrics.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs, es pot dir que es tracta d'un bon resultat.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	20



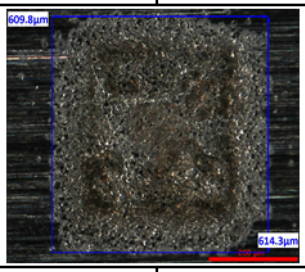
Comentari:

En aquest experiment 2.19, la geometria de la secció és bastant bona. Hi ha present un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. Tot i així, s'obté un millor definició que en l'experiment anterior (2.19), en els laterals de la cavitat. Igual que en molts experiments anteriors, es pot apreciar una lleugera franja de marques ocasionades per l'arrencada de material de la guspira en el procés d'electroerosió. Pel que fa a mesures aproximades, s'obtenen un resultats bastant correctes, pròxims als valors teòrics (sense tenir en compte l'arrodoniment).

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs, es pot dir que es tracta d'un bon resultat. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	23



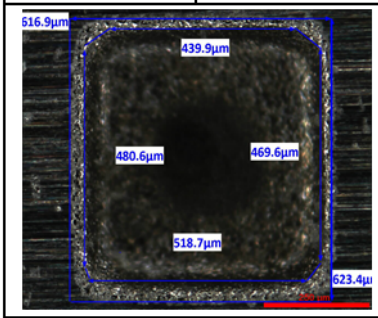
Comentari:

En aquest experiment no s'obté cap geometria quadrada clara. Es pot apreciar les guspires d'erosió, però tot i així, no es genera la cavitat pretesa en el context inicial. Tot i així, s'ha intentat mesurar el procés generat i s'obtenen uns valors molt aproximats.

Conclusió particular:

Aquest experiment no s'adequa a les previsions establertes inicialment. S'hauria de repetir aquest experiment per tal de comprovar la qualitat final de l'acabat i els motius pel qual s'ha generat aquesta geometria.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	24



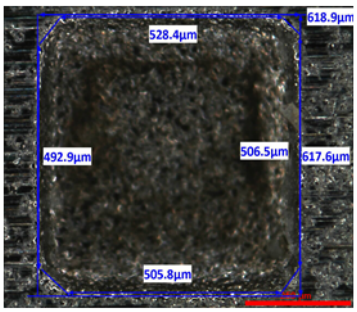
Comentari:

Tal i com es pot apreciar en la imatge de l'experiment 2.24, s'obté una geometria bastant bona. No obstant, a simple vista, sembla que hi ha diferents nivell en l'erosió. A més, s'obté una geometria arrodonida en els vèrtexs de la cavitat. També, hi ha present les marques típiques de la l'arrencada de material de la guspira durant el procés. Pel que fa als valors mesurats, es pot afirmar que s'obtenen uns valors pròxims als desitjats.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs, es pot dir que es tracta d'un bon resultat. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	25



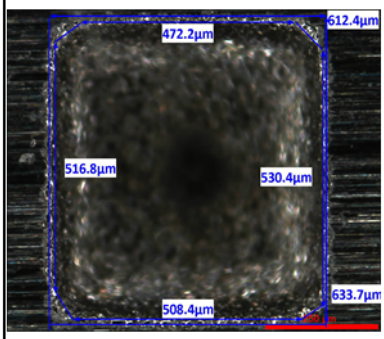
Comentari:

En l'experiment 2.25 s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. Pel que fa al fons de la cavitat, a simple, vista proporciona una qualitat superficial bastant acceptable. A més, hi ha la presència de les marques de les guspires molt generalitzades, és a dir, es poden apreciar dins el que representa la secció i fora. Pel que fa a les mesures, s'han obtingut uns valors bons pròxims a les 600µm teòriques, tot i tenir un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones, molt pròximes a les 500µm.

Conclusió particular:

Aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment, és a dir, es pot dir que es tracta d'un bon resultat. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats.

PROVETA NÚM.	2	EXPERIMENT NÚM.	26



Comentari:

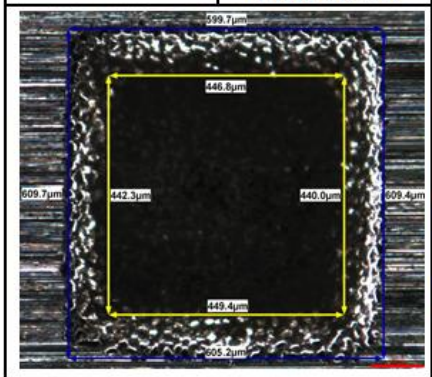
En l'experiment 2.26, tal i com es pot apreciar en la figura del requadre del costat, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. Pel que fa al fons de la cavitat, a simple, vista proporciona una qualitat superficial bastant acceptable. En les mesures aproximades realitzades, aquestes s'acosten als valors teòrics desitjats, tot i tenir un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada. Concretament, pel que fa referència als valors obtinguts, es pot apreciar al voltant de 612µm en el costat horitzontal i unes 633µm en el vertical. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones, superant les 500µm exceptuant un costat de la cavitat quadrada.

Conclusió particular:

Tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat quadrada, aquest experiment s'adequa bastant a les previsions establertes inicialment. És el que proporciona uns valors mesurats més pròxims al teòric. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment proporcionen uns bons resultats. En experiències futures serien els valors amb el quals es continuaria treballant

SECCIÓ

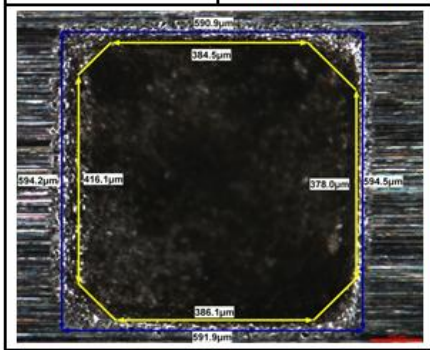
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	1



Comentari:

En l'experiment 3.1, es pot apreciar un acabat en dos nivells, és a dir, que s'ha erosionat en la part interior un quadrat d'unes 450µm de costat i, un altre, d'unes 600µm. Pel que fa a la geometria de la secció hi ha un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat realitzada. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) de les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial. Si només tenim en compte la secció obtinguda en els valors mesurats, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. No obstant, degut a la percepció del dos nivells a simple, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

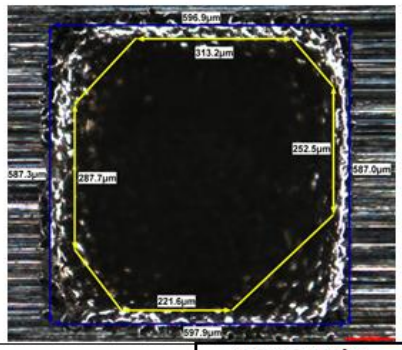
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	2



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, tenint en compte tot la cavitat, s'aproxima bastant als valors teòrics de 600µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. No obstant, degut a la percepció del dos nivells a simple vista, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

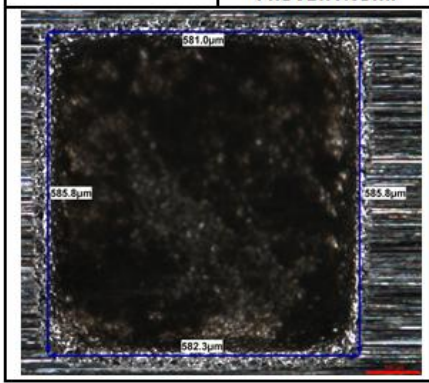
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	3



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un arrodoniment bastant pronunciat en els vèrtexs de la cavitat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat rovocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, tenint en compte tota la cavitat, s'aproxima bastant als valors teòrics de 600µm.

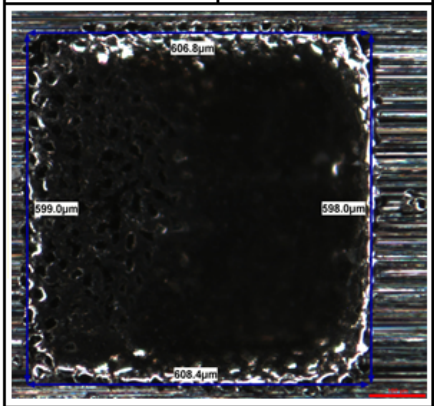
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	4



Comentari:

En l'experiment 3.4, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. En canvi, en aquest experiment la presència de marques no és tan significativa, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, són lleugerament inferior a les 600µm, concretamen al voltant de 580µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. No obstant, degut a la percepció les marques d'erosió en el perímetre s'hauria d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

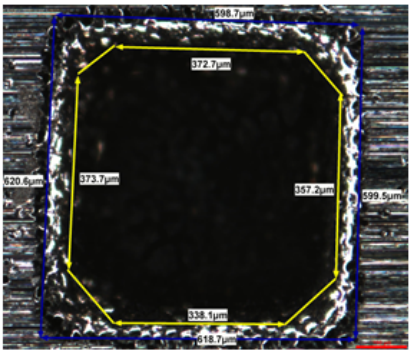
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	5



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la secció quadrada. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en el perímetre de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproximen bastant als valors teòrics de 600µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte a l'espera de l'anàlisi del perfil.

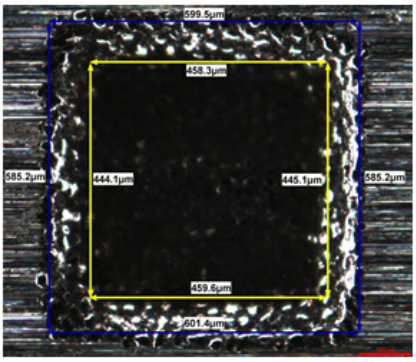
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	6



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una lleguera rotació de la cavitat. A més, un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Aquesta erosió fa pensar en què la cavitat no baixa recte en l'eix Z. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproximen bastant als valors teòrics de 600µm (en aquest cas com que hi ha una rotació no es pot donar molta fiabilitat en les mesures, sinó donar un caracter orientatiu). No obstant, degut a la percepció del dos nivells a simple vista, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

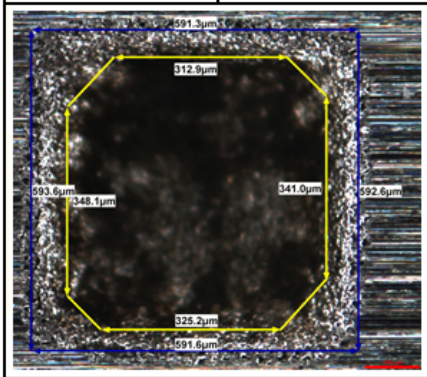
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	7



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria no massa bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproximen bastant als valors teòrics de 600µm. Degut a la percepció del dos nivells a simple vista, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

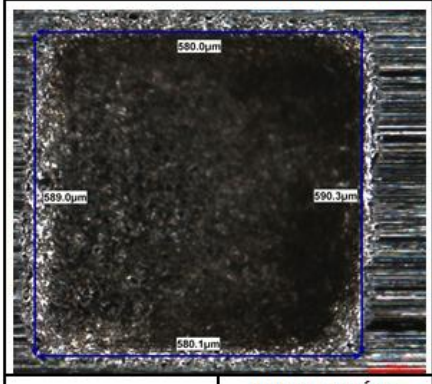
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	8



Comentari:

En aquest experiment es segueix la tendència que en el cas anterior (3,7). Es pot apreciar una geometria no massa bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproxima bastant als valors teòrics de 600µm, concretament d'unes 590µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte pel que fa a mides i no tant, pel que fa a qualitat de la cavitat. No obstant, degut a la percepció del dos nivells a simple vista, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

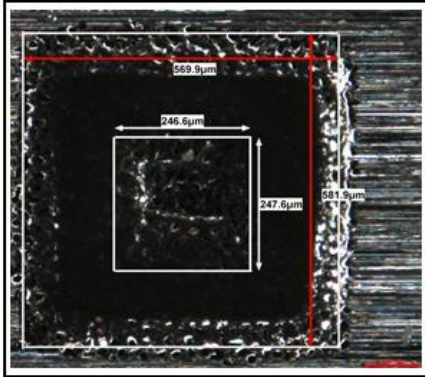
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	9



Comentari:

En l'experiment 3.9, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. En aquest experiment la presència de marques no és tan significativa com en d'altres casos, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, es troben pròxims a les 590µm en el sentit Y i d'unes 580µm en l'X. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. No obstant, degut a la percepció les marques d'erosió en el perímetre s'hauria d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

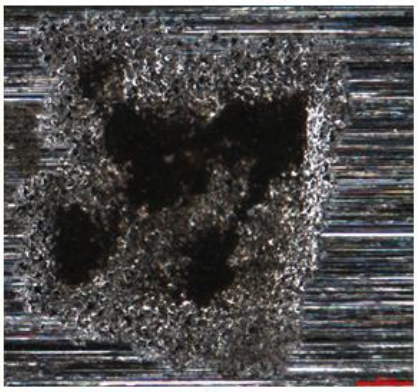
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	10



Comentari:

En aquest experiment, no es pot apreciar una geometria massa bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat i una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, són bastant bons (d'unes 570µm en X i d'unes 580µm en Y). A simple vistaes pot veure un quadrat situat en el centre de la cavitat. Aquest fet pot fer pensar que no s'obté una geometria bons pel que fa al perfil. Així doncs, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

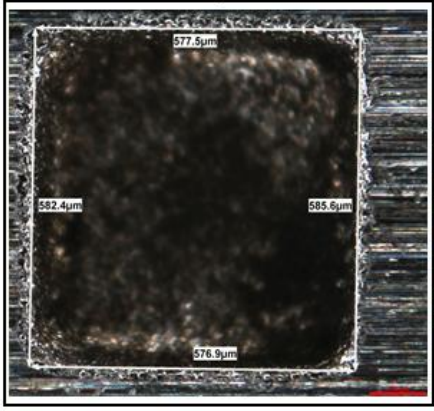
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	11



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar com no s'ha obtingut la geometria esperada. Per tant, no es pot obtenir cap tipus de mesura en aquest experiment degut al seu mal resultat.

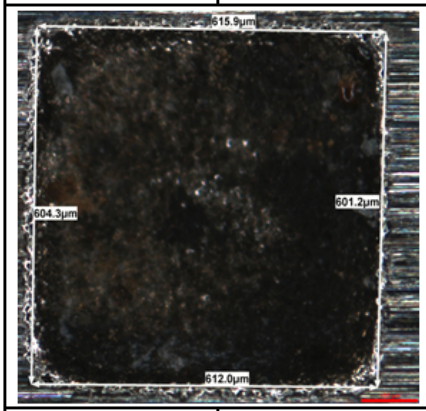
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	12



Comentari:

En l'experiment 3.12, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. En aquest experiment la presència de marques no és tan significativa com en d'altres casos, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, es troben pròxims a les 580µm en el sentit Y i d'unes 570µm en l'X. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. No obstant, degut a la percepció les marques d'erosió en el perímetre s'hauria d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

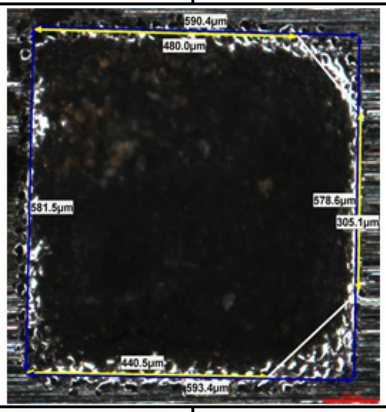
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	13



Comentari:

En l'experiment 3.13, es pot apreciar una geometria molt bona, amb un arrodoniment pràcticament inexistent en els vèrtexs de la cavitat. En aquest experiment la presència de marques no és tan significativa com en d'altres casos, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada i no en tota la longitud. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, s'aconseguiexen uns bons valors ja que tots superen lleugerament les 600µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. Pel que fa a la imatge del costat, es pot percebre unes certes irregularitats en el fons de la cavitat. Això farà que s'hagi d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

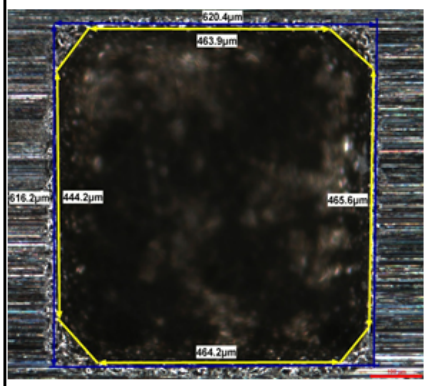
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	14



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat , sobretot en els dos extrems de la meitat dreta. Aquest arrodoniment ve provocat per l'erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, es troben pròxims a les 580µm en el sentit Y i d'unes 590µm en l'X. No obstant, degut a la percepció les marques d'erosió en el perímetre s'hauria d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	15



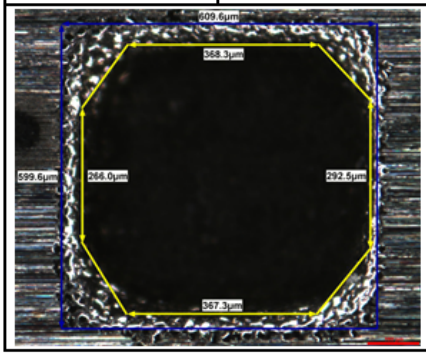
Comentari:

En l'experiment 3.15, es pot apreciar un bon acabat pel que fa a la geometria de la secció. Tot i tenir un cert arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat realitzada, s'obtenen uns valors molt pròxims als esperats, concretament, d'unes 620µm pel costat hortizontal i d'unes 616µm en el vertical. Al mateix temps, en el fons de la cavitat, a simple vista, té una bona qualitat superficial. A més a més, les mesures extretes dels costats, sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant bones.

Conclusió particular:

Encara que es pugui veure un cert arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada, aquest experiment s'adequa bastant a les condicions esperades, establertes inicialment. Proporciona uns valors mesurats pròxims al teòric. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment provoquen uns bons resultats.

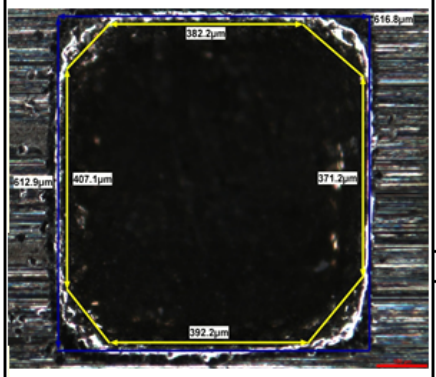
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	16



Comentari:

En aquest experiment, es pot apreciar una geometria no massa bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat bastant pronunciat. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en la zona exterior de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona i, essent el causant de l'arrrodoniment present. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproximen bastant als valors teòrics de 600µm. Degut a la percepció del dos nivells a simple vista, s'ha d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	17



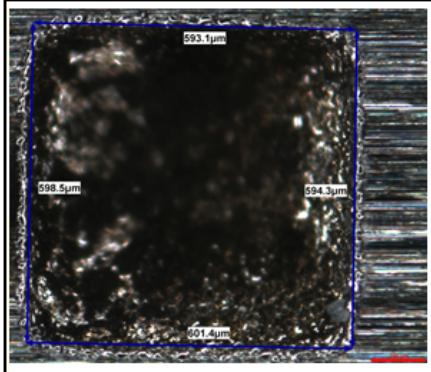
Comentari:

En l'experiment 3.17, tal i com es pot apreciar en els resultats obtinguts, s'obté una cavitat amb una geometria bastant bona. En les mesures aproximades realitzades, s'acosten al valor teòric desitjat de 600µm, tot i tenir un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat quadrada. Concretament, pel que fa referència als valors obtinguts, es pot apreciar al voltant de 618µm en el costat horitzontal i unes 613µm en el vertical. Pel que fa al fons de la cavitat, a simple, vista proporciona una qualitat superficial bastant acceptable. A més a més, les mesures extretes dels costats (color groc), sense tenir en compte l'arrodoniment, resulten bastant correctes, tot i que s'hauria d'augmentar aquests valors, permetent així disposar d'un menor arrodoniment en els

Conclusió particular:

En aquest experiment, tot i l'arrodoniment present en els vèrtexs de la cavitat quadrada, s'adequa bastant bé a la geometria quadrada desitjada. A més, proporciona uns valors mesurats pròxims al valor teòric de 600µm, establert inicialment. Així doncs, els paràmetres de procés introduïts en aquest experiment provoquen uns bons resultats.

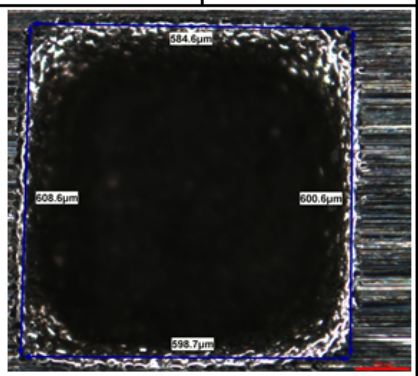
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	18



Comentari:

En l'experiment 3.18, es pot apreciar una geometria molt bona, amb un lleuger arrodoniment en els vèrtexs de la cavitat. En aquest experiment la presència de marques no és tan significativa com en d'altres casos, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, s'aconseguiexen uns bons valors pròxims a 600µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte. Pel que fa a la imatge del costat, es pot percebre unes certes irregularitats en el fons de la cavitat. Això farà que s'hagi d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

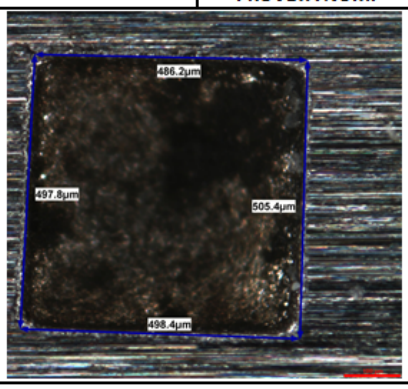
PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	19



Comentari:

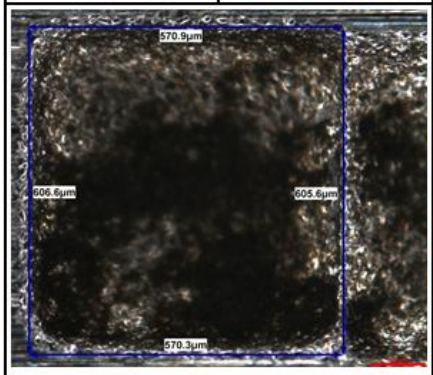
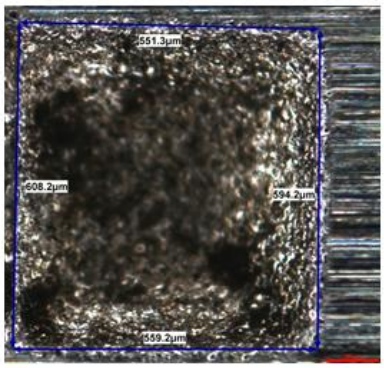
En aquest experiment, es pot apreciar una geometria bastant bona, amb un arrodoniment en els vèrtexs de la secció quadrada. Al mateix temps, es pot veure com hi ha una erosió gruixuda (marques) en el perímetre de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial en aquesta zona. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, en l'aproximació realitzada, s'aproximen bastant als valors teòrics de 600µm. Així doncs, podríem dir que es tracta d'un resultat correcte a l'espera de l'anàlisi del perfil.

PROVETA NÚM.	3	EXPERIMENT NÚM.	20



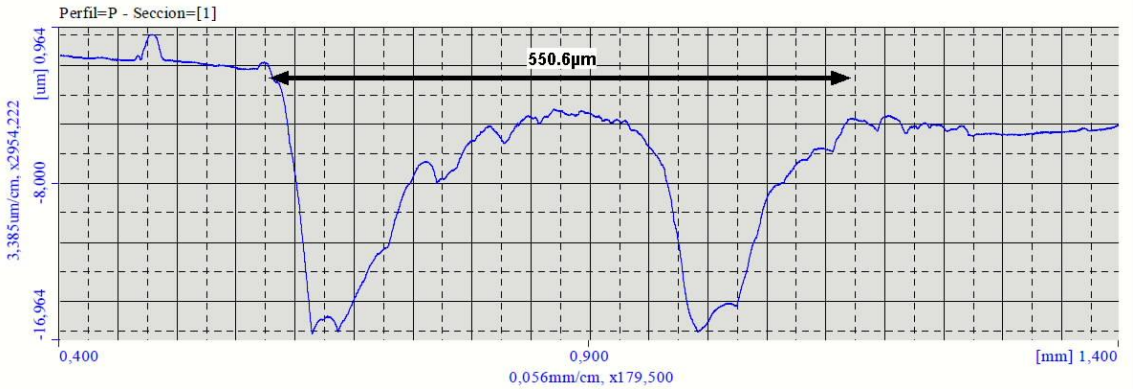
Comentari:

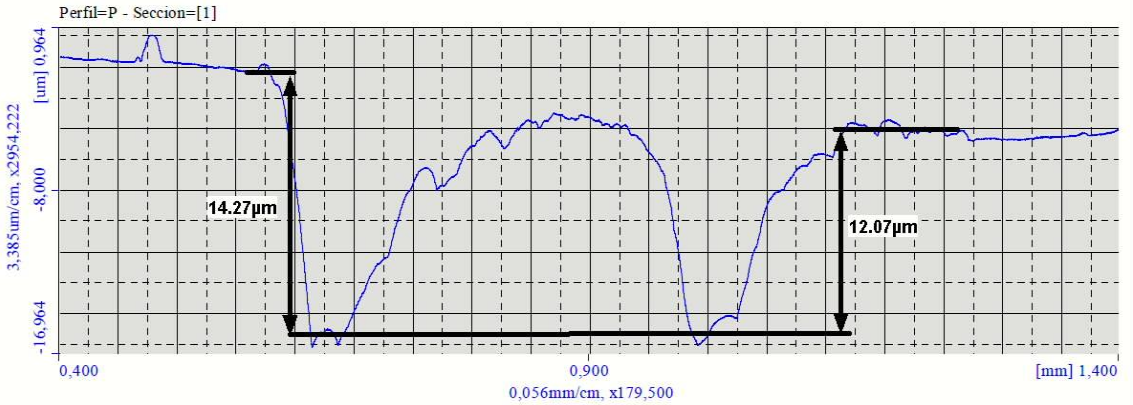
En l'experiment 3.20, es pot apreciar una geometria bastant bona tot i la lleugera desviació. A més, hi ha un arrodoniment pràcticament inexistent en els vèrtexs de la cavitat. En aquest experiment, la presència de marques no és tan significativa com en d'altres casos, essent present només en el perímetre de la cavitat quadrada i no en tota la longitud. Pel que fa als valors mesurats obtinguts, s'aconseguiexen uns valors dolents al voltatnt de les 500µm. Això fa pensar que hi ha hagut algun problema durant el procés en el moment de realitzar els orbitals. Així doncs, no és un bon resultat tot i tenir un acabat bastant correcte pel que fa a característiques qualitatives. A més, es pot percebre unes certes irregularitats en el fons de la cavitat. Això farà que s'hagi d'analitzar el perfil per tal de poder comprovar si es tracta d'un resultat correcte.

	PROVETA NÚM.	3		EXPERIMENT NÚM.	21	
	Comentari:					
	En aquest experiment, es pot apreciar una geometria inesperada. Tal i com es pot apreciar en la imatge hi ha un solapament entre dos experiments. Per tant, aquest experiment es pot donar com a no vàlid per realitzar un anàlisi. No obstant, s'ha intentat buscar uns valors aproximats de la cavitat per tal de coneixer, en cas de no haver-se solapat, si s'obtenien uns bons valors. Aquests són bastant correctes,essent pròxims als teòrics de 600µm.					
	PROVETA NÚM.	3		EXPERIMENT NÚM.	22	
	Comentari:					
	En aquest experiment, no es pot apreciar una geometria bona de la secció.Es pot veure com hi ha una erosió gruixida (marques) en la totalitat de la cavitat provocada per les guspires durant el procés que no garanteix una bona qualitat superficial. S'ha intentat mesurar les dimensions de la cavitat i s'ha pogut comprovar que són pròxims als teòrics de 600µm, tot i que la geometria no sigui l'esperada.					

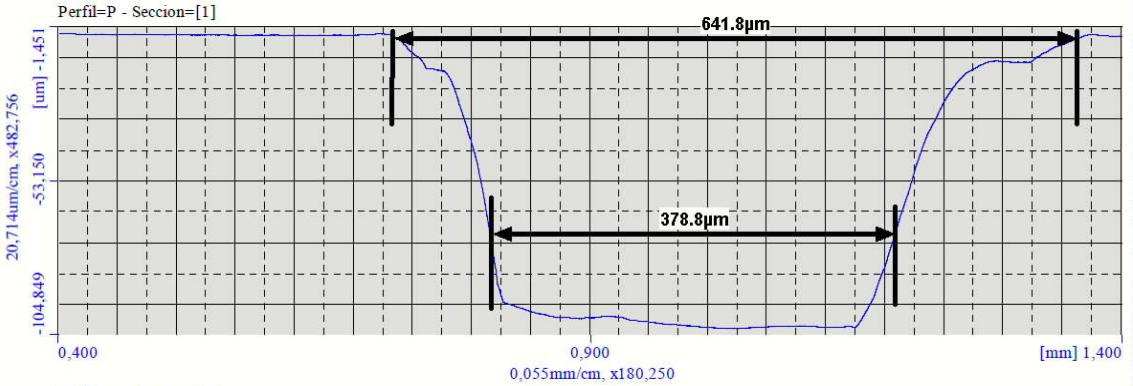
D.2.4. MESURA DE LES CAVITATS (PERFIL)

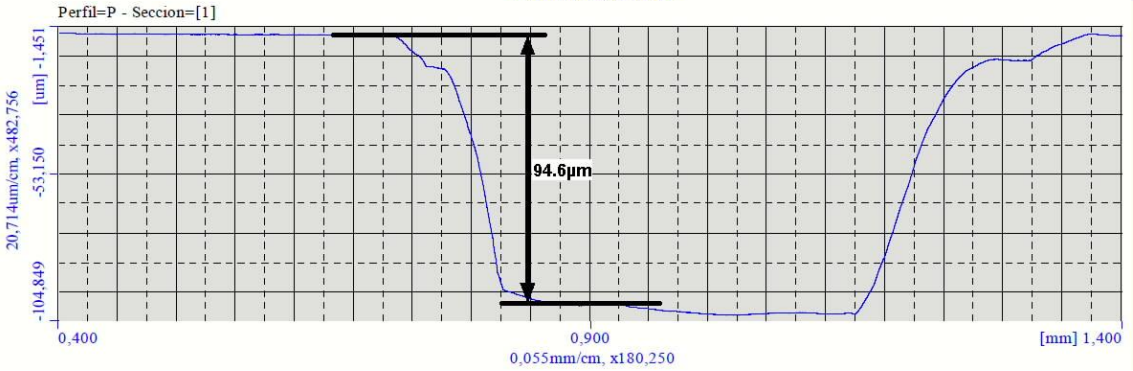
PROVETA 2 – EXPERIMENT 1



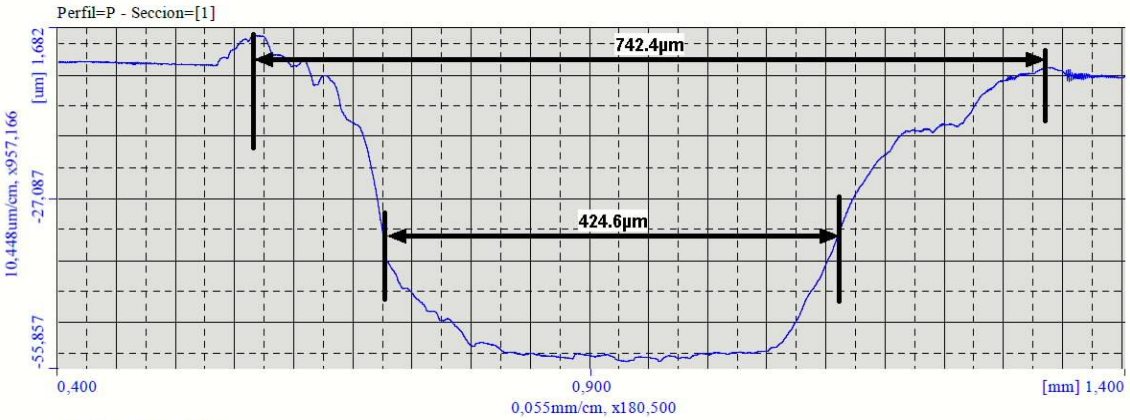


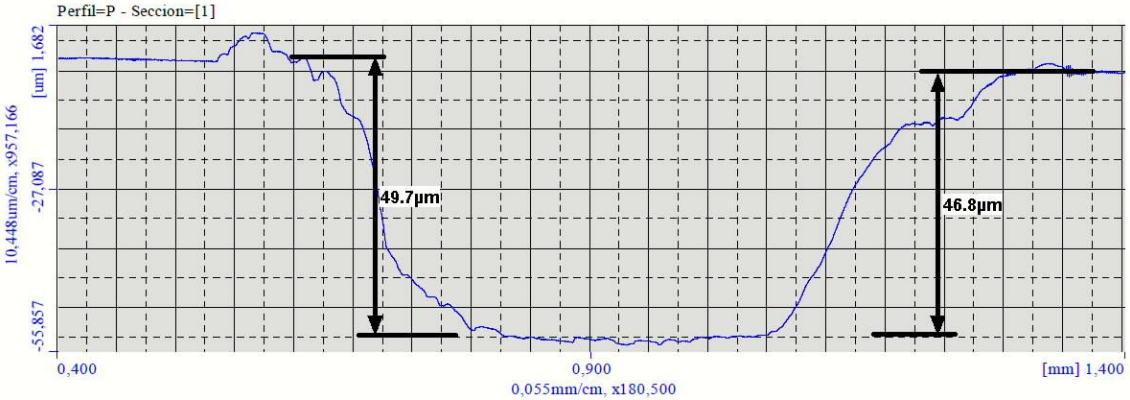
PROVETA 2 – EXPERIMENT 2



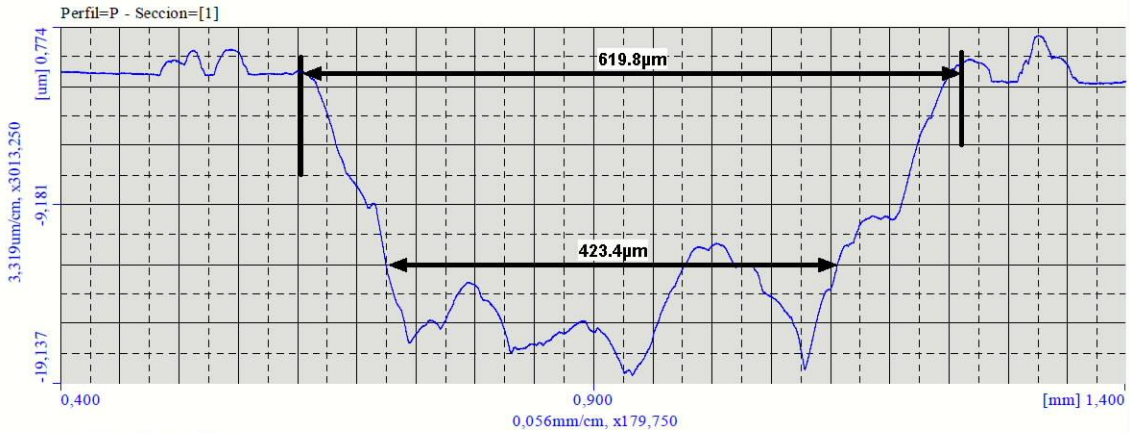


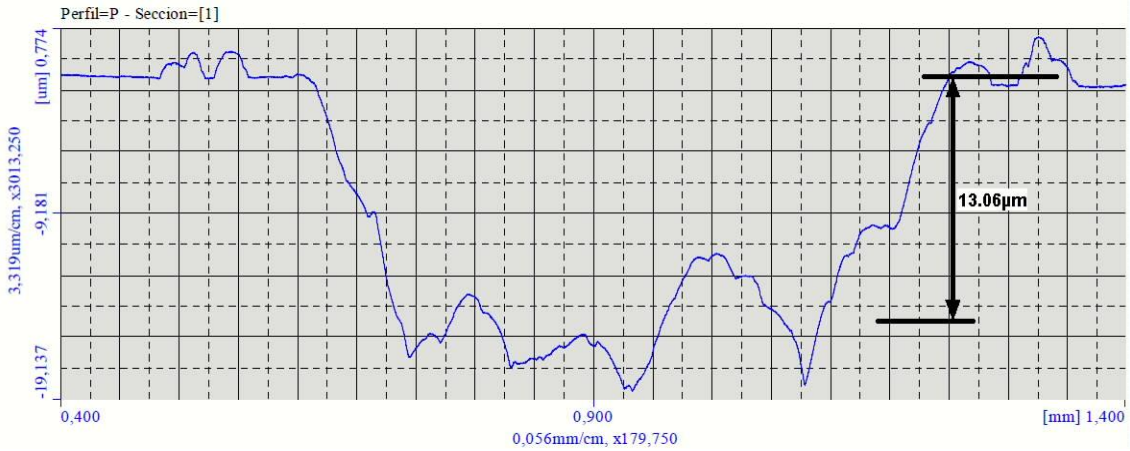
PROVETA 2 – EXPERIMENT 4



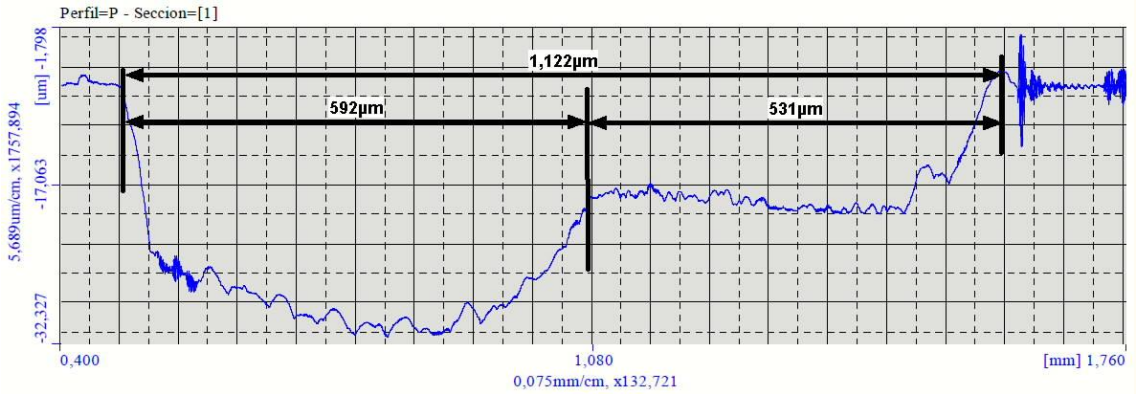


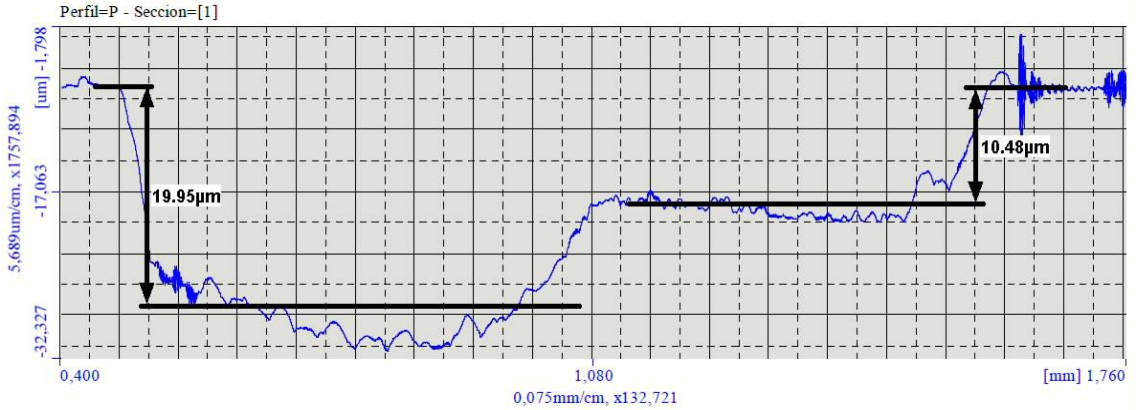
PROVETA 2 – EXPERIMENT 7



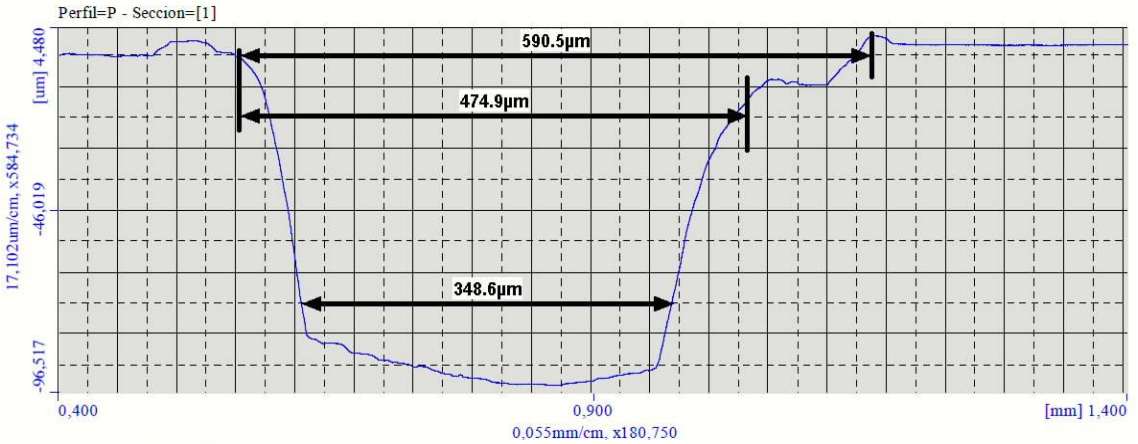


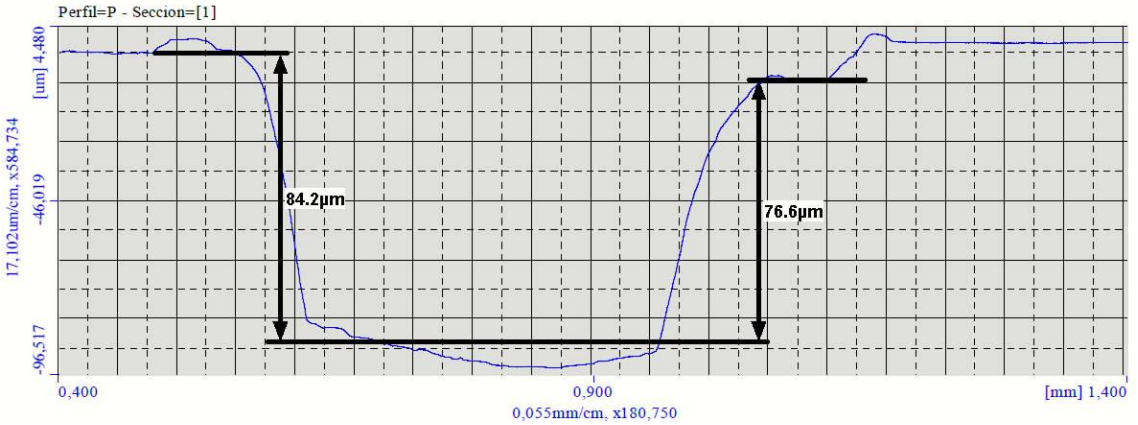
PROVETA 2 – EXPERIMENT 8/9



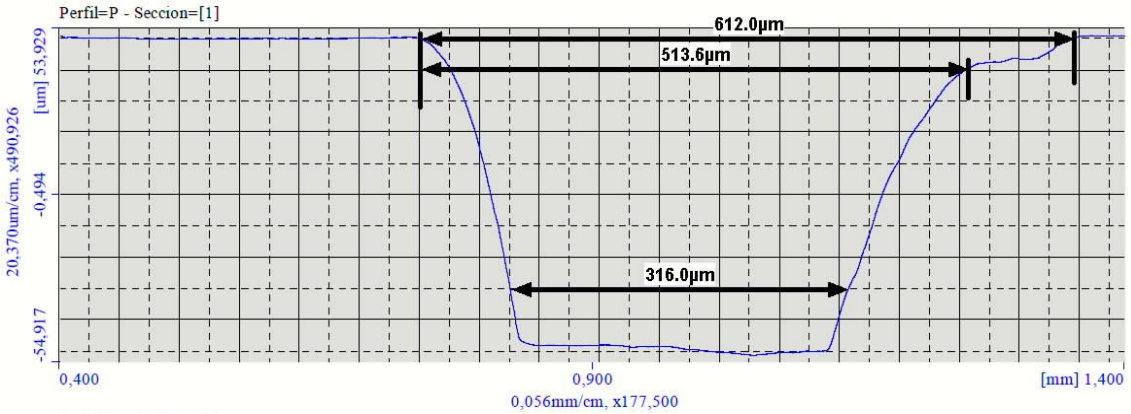


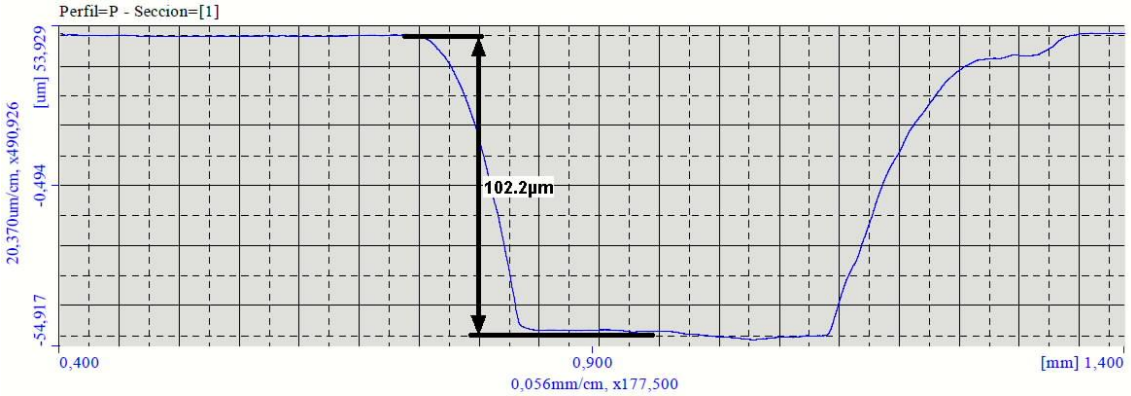
PROVETA 2 – EXPERIMENT 10



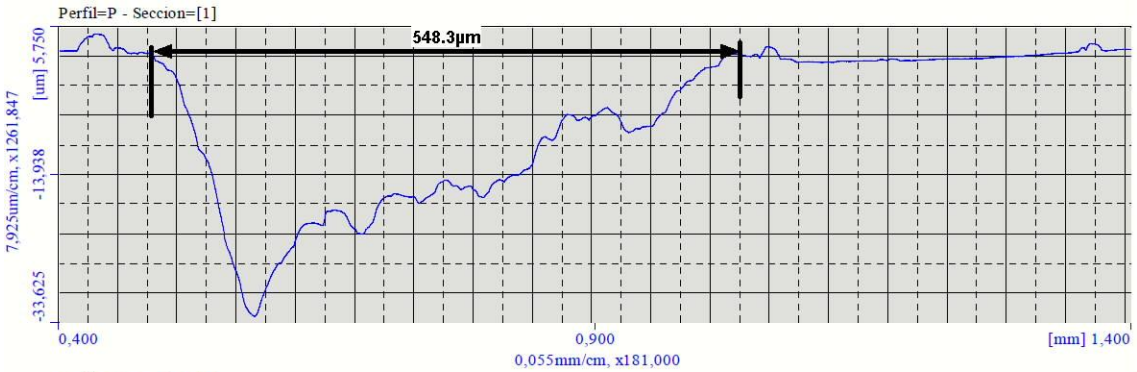


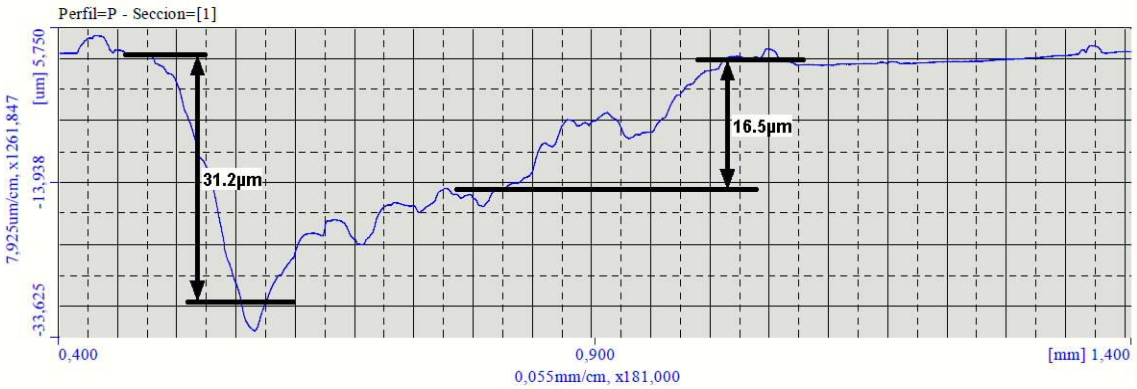
PROVETA 2 – EXPERIMENT 12



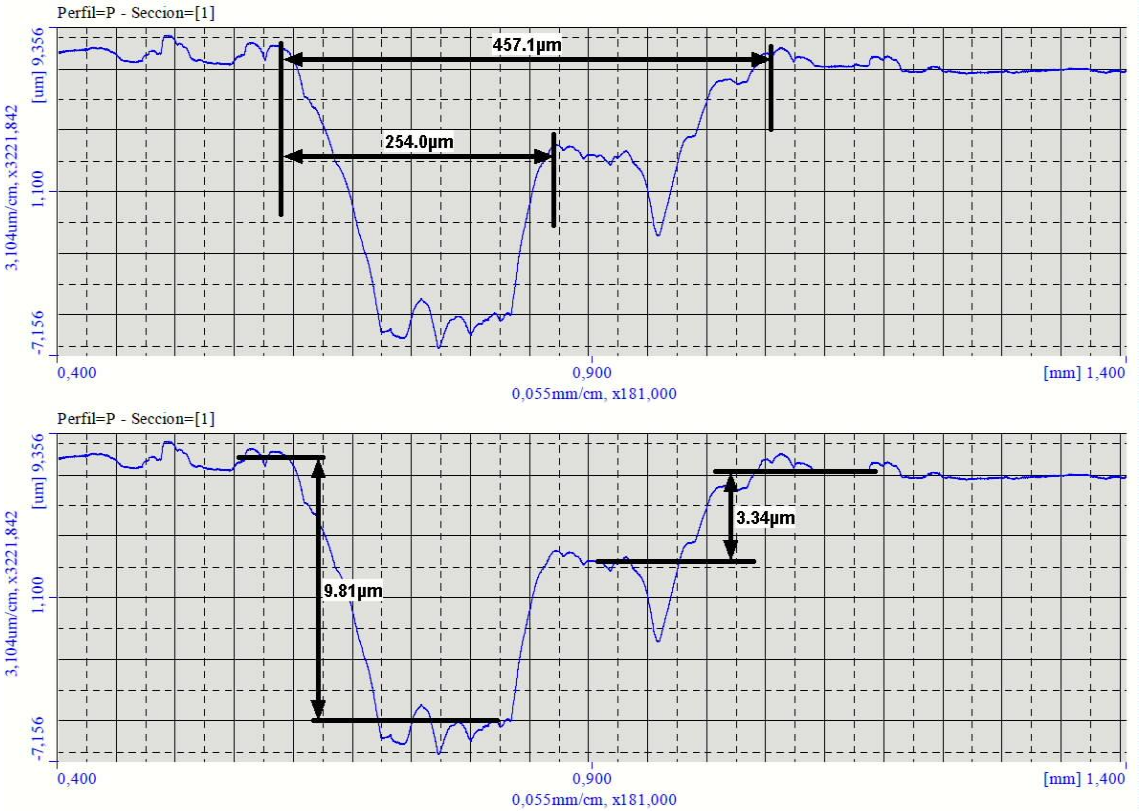


PROVETA 2 – EXPERIMENT 14

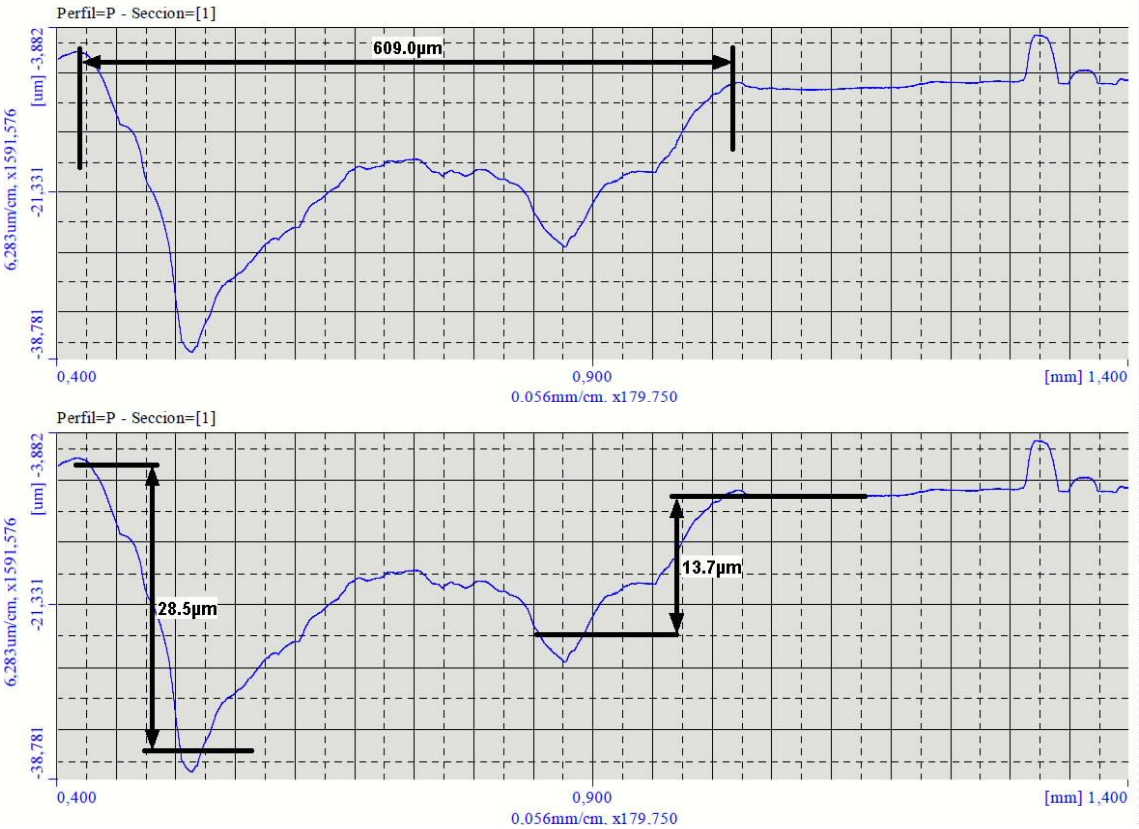




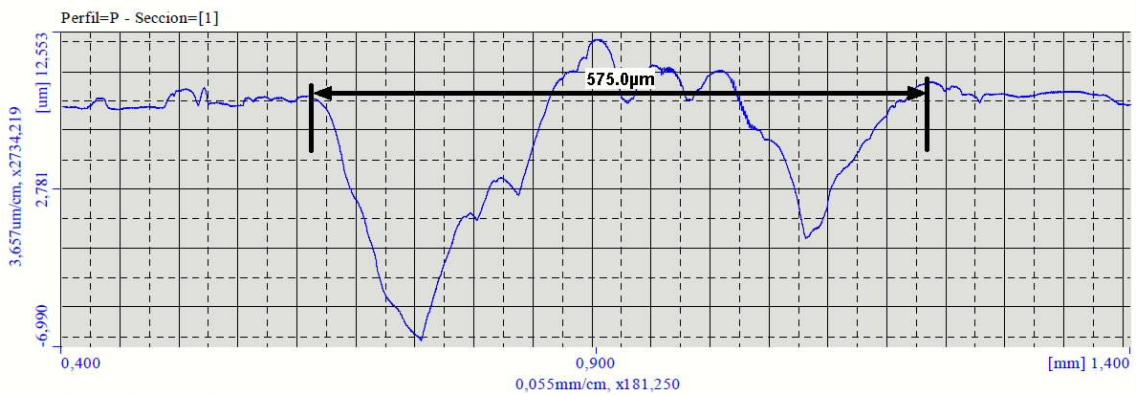
PROVETA 2 – EXPERIMENT 15

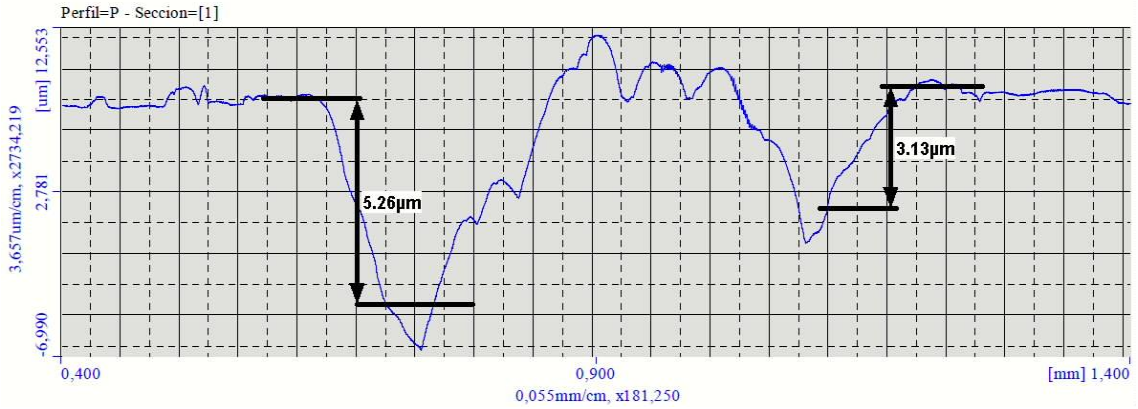


PROVETA 2 – EXPERIMENT 16

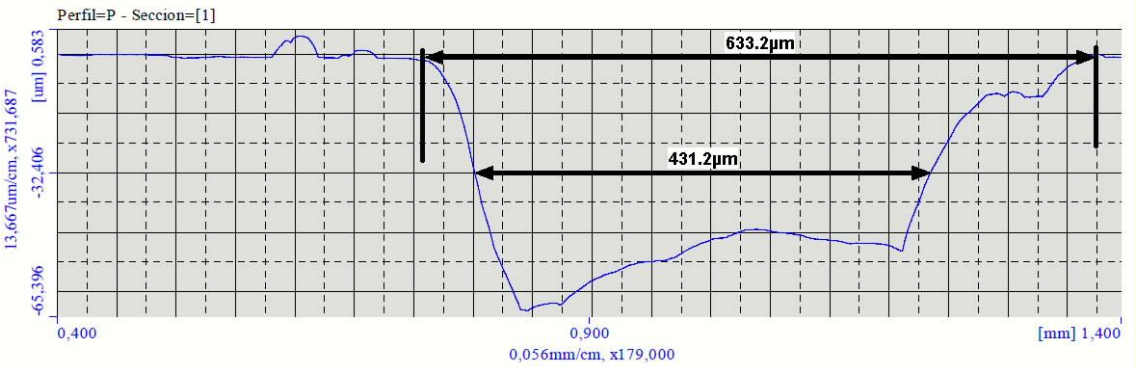


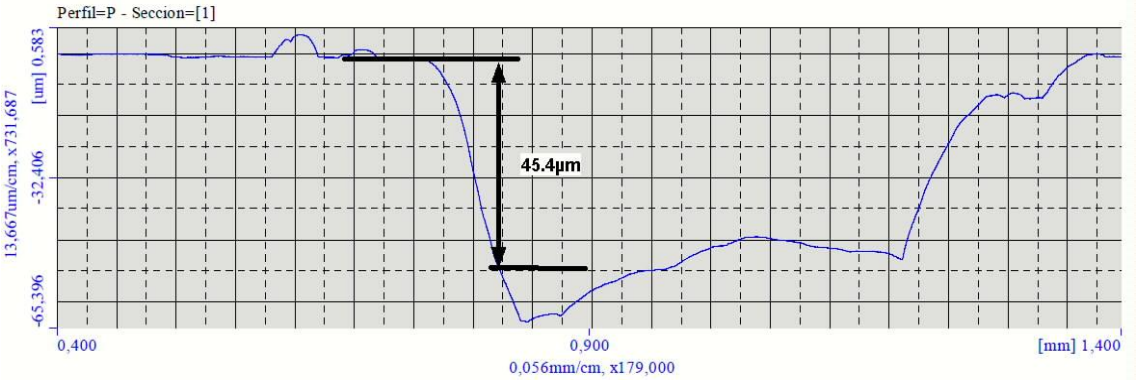
PROVETA 2 – EXPERIMENT 17



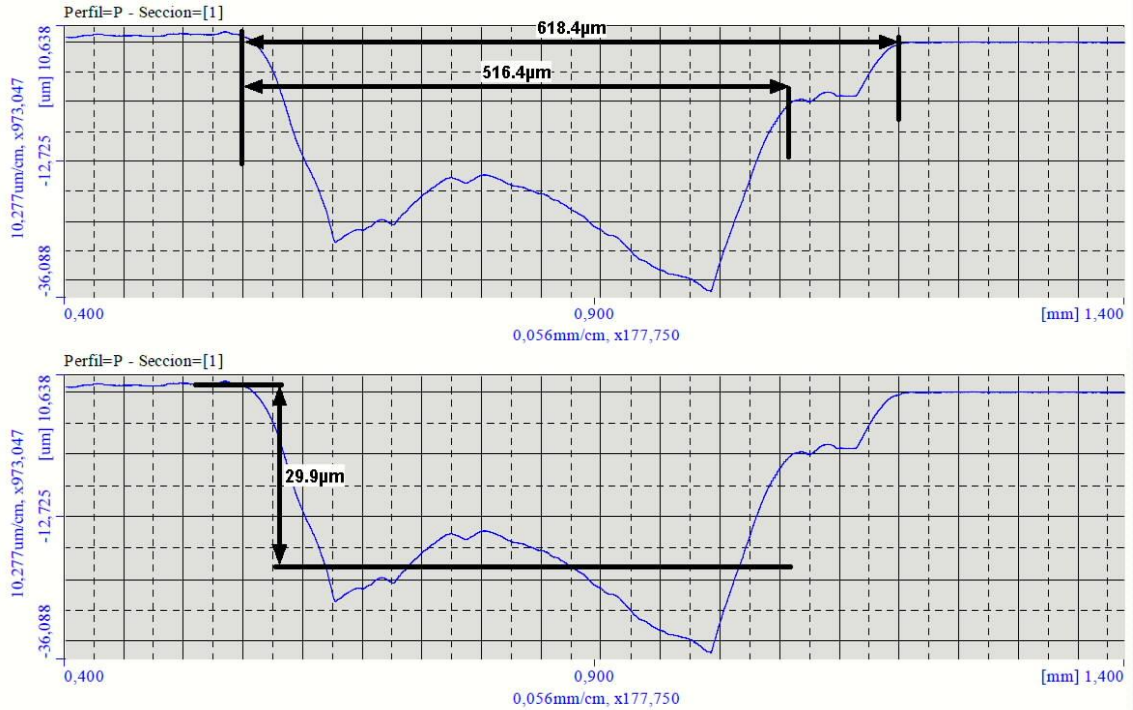


PROVETA 2 – EXPERIMENT 18

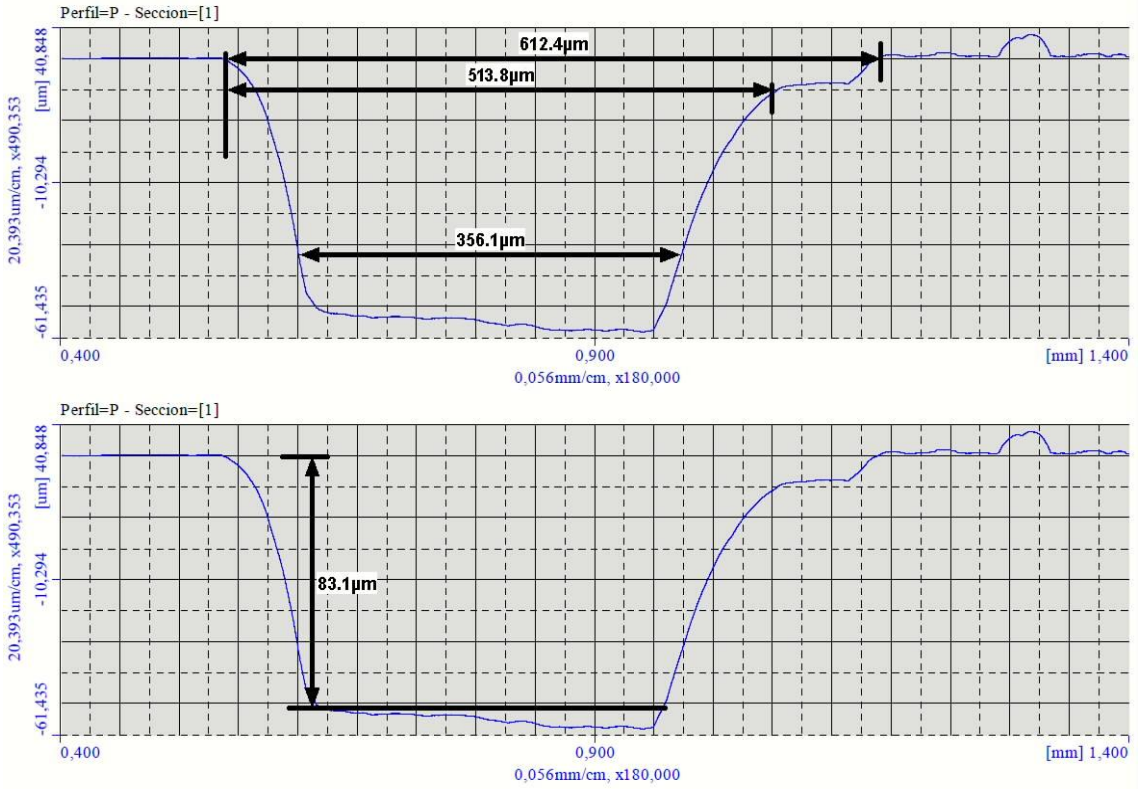




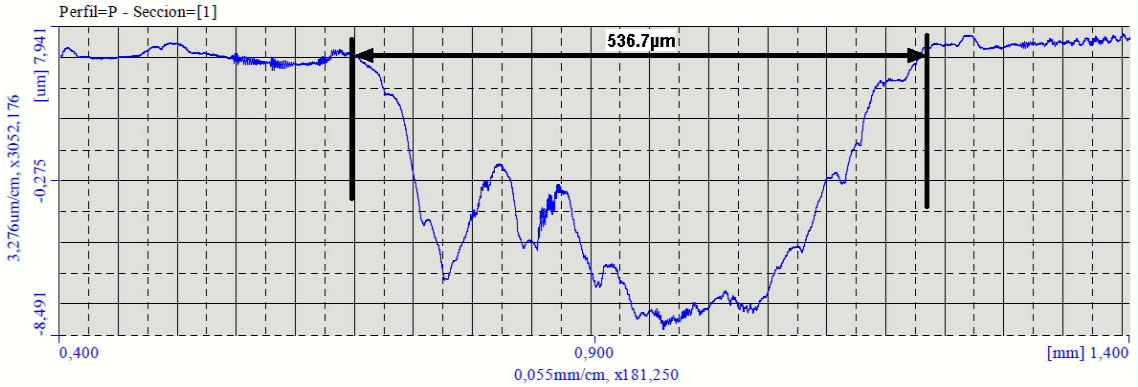
PROVETA 2 – EXPERIMENT 19

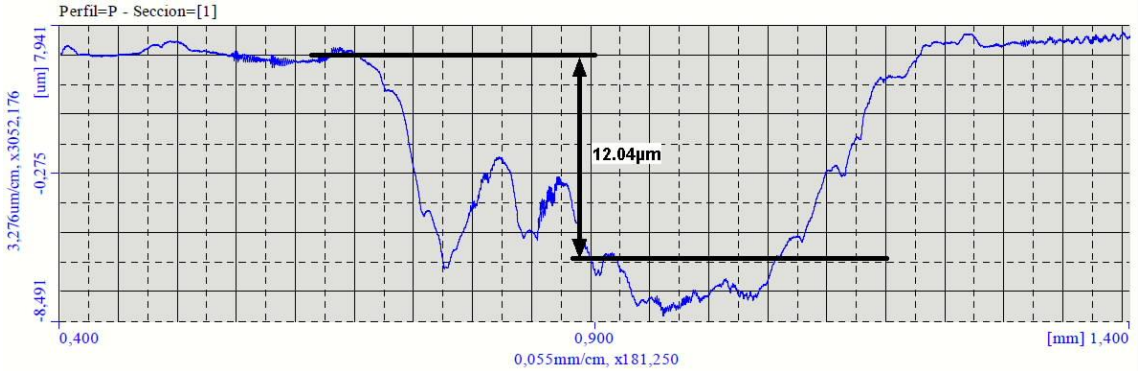


PROVETA 2 – EXPERIMENT 20

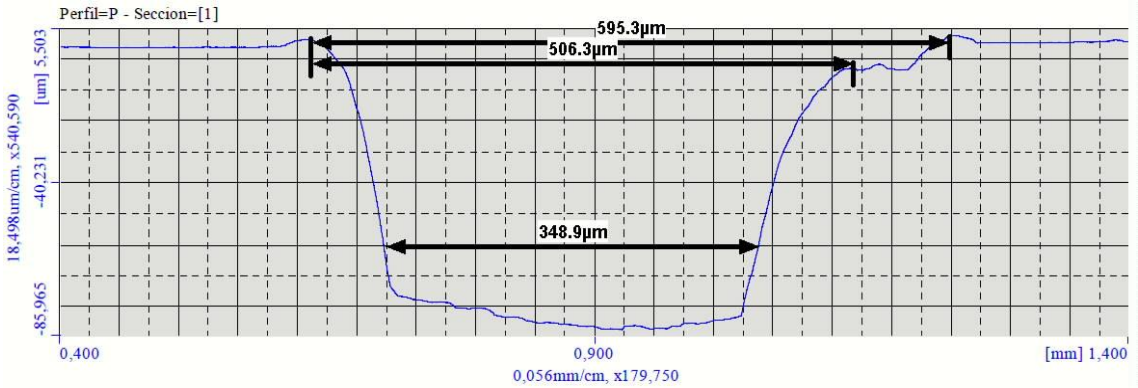


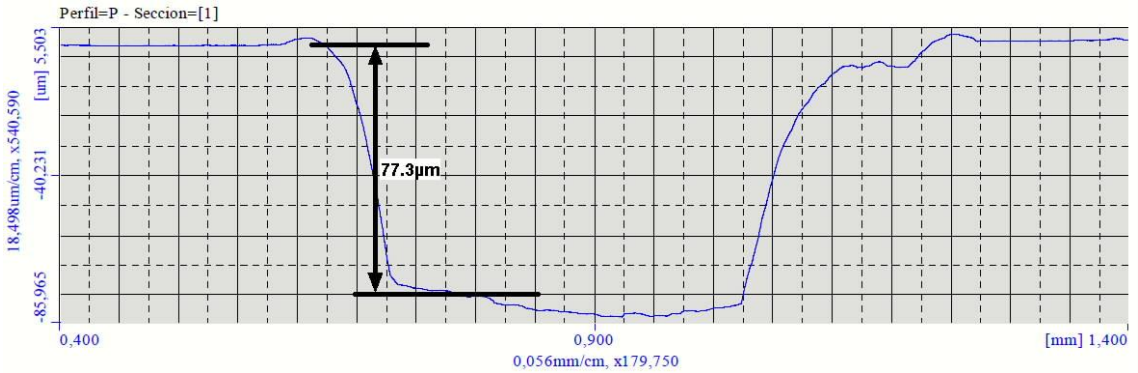
PROVETA 2 – EXPERIMENT 23



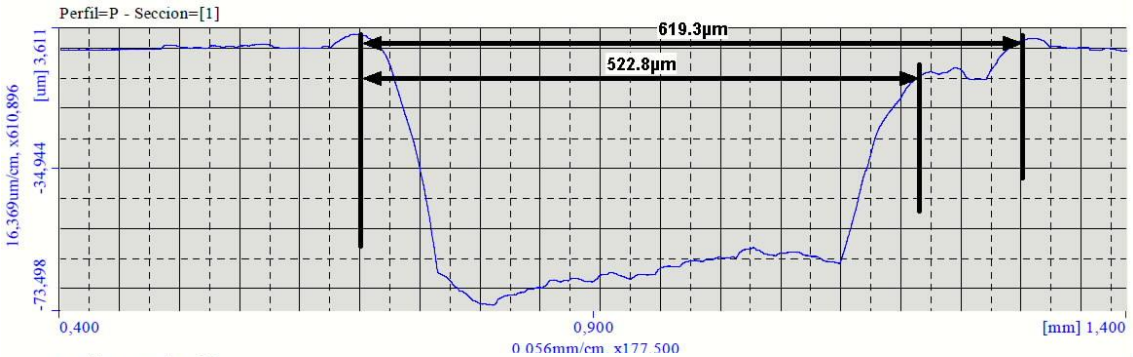


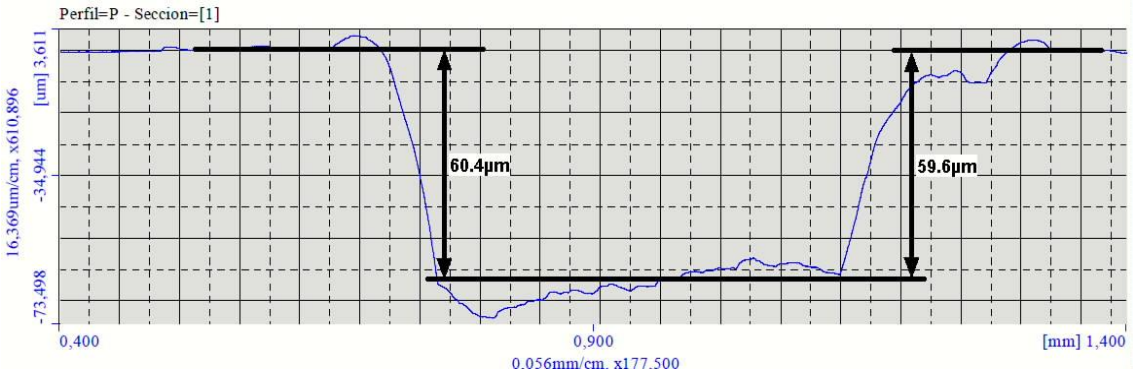
PROVETA 2 – EXPERIMENT 24



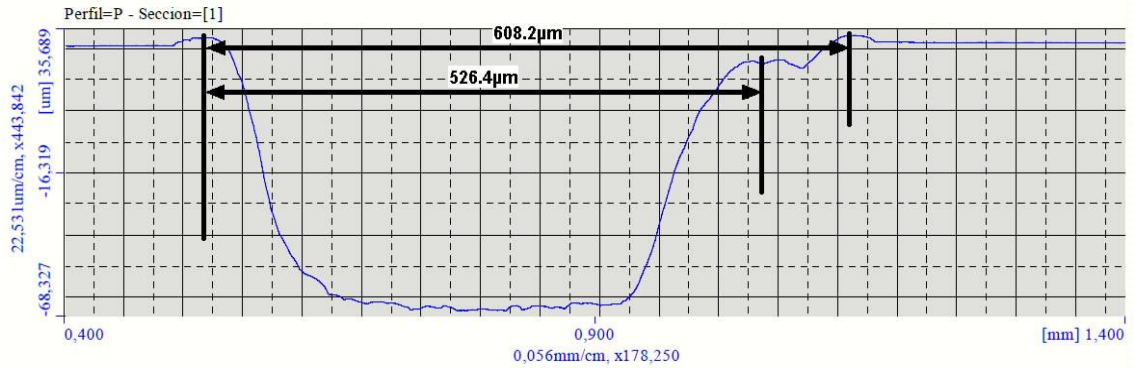


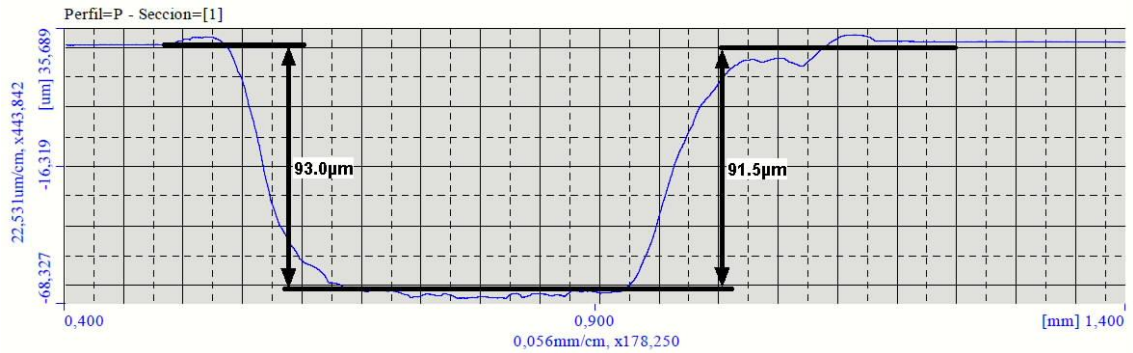
PROVETA 2 – EXPERIMENT 25



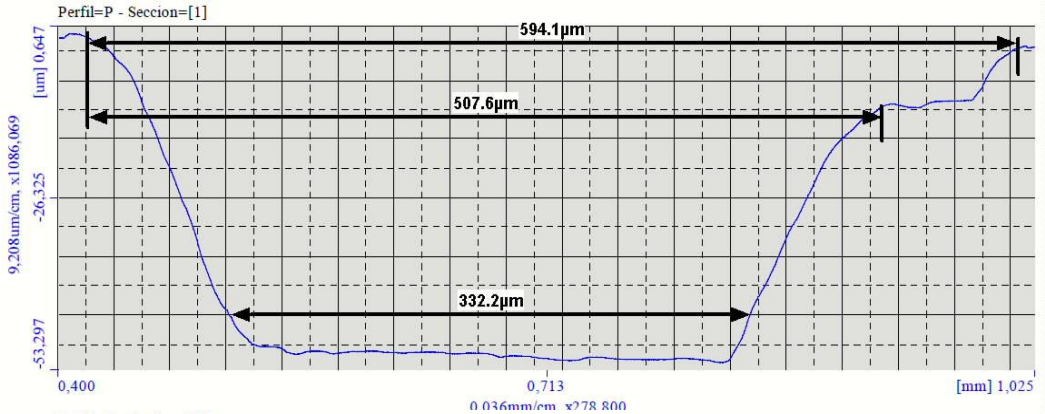


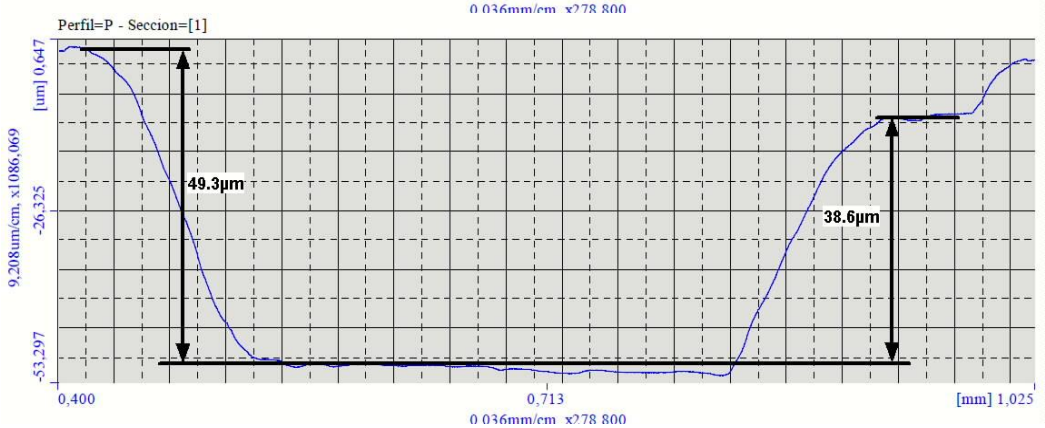
PROVETA 2 – EXPERIMENT 26



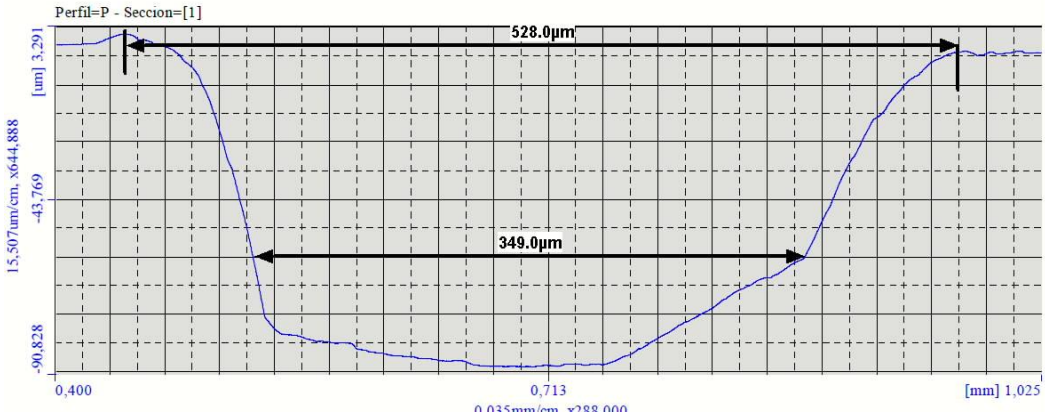


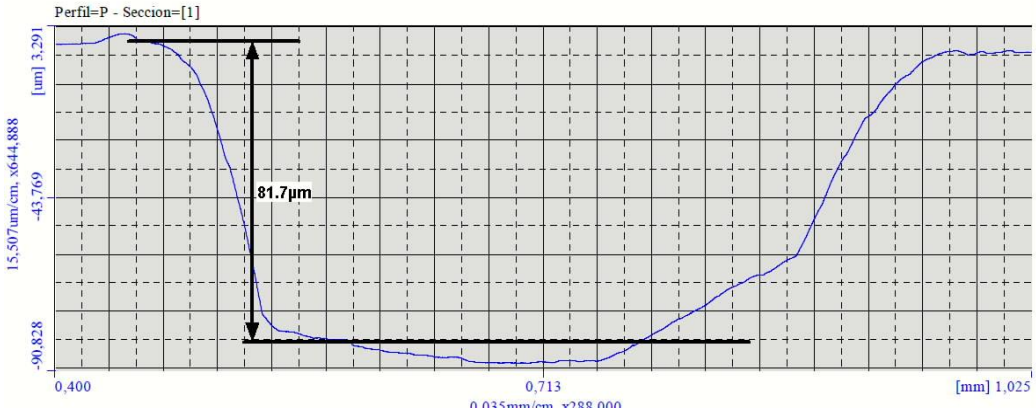
PROVETA 3 – EXPERIMENT 1



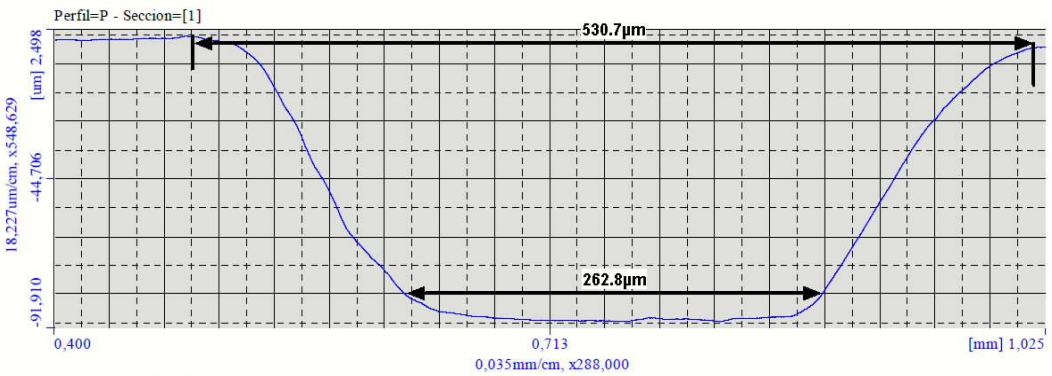


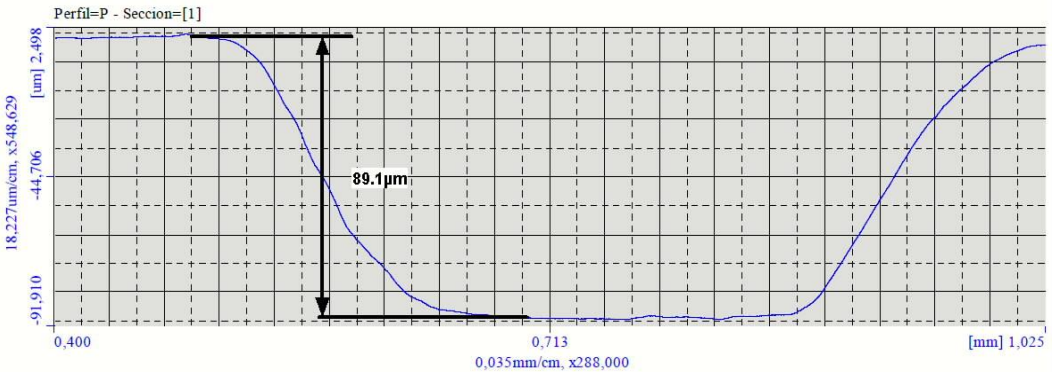
PROVETA 3 – EXPERIMENT 2



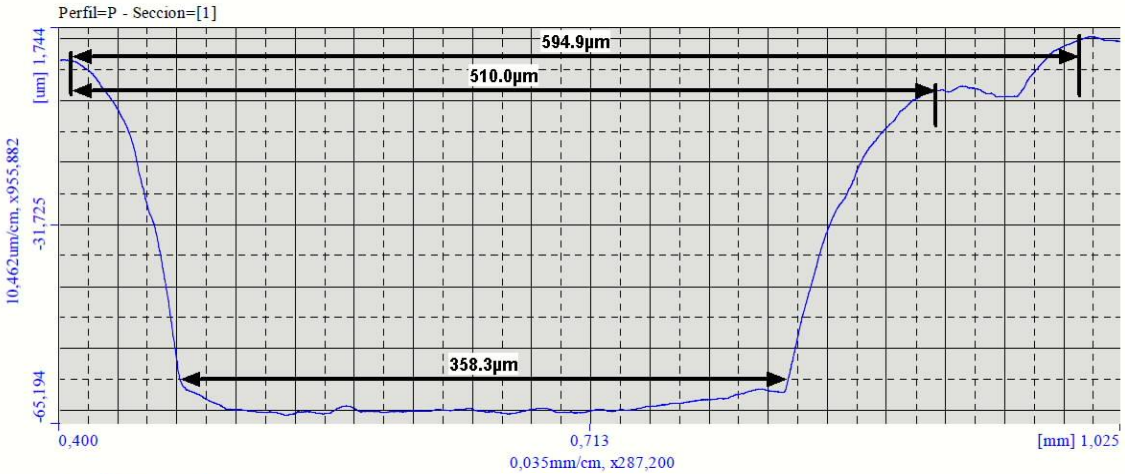


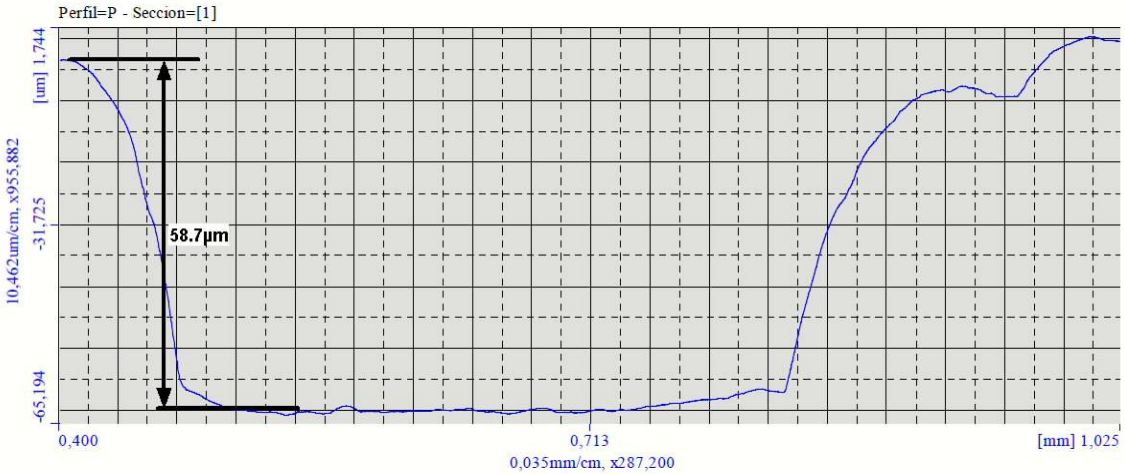
PROVETA 3 – EXPERIMENT 3



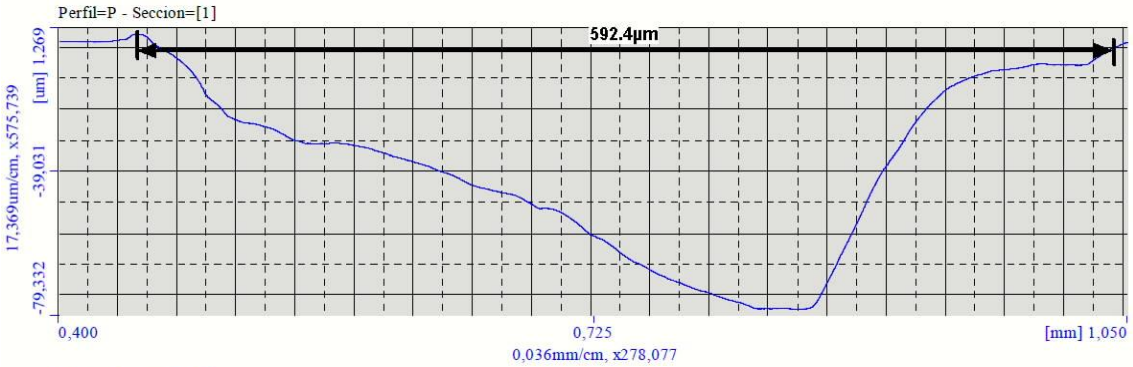


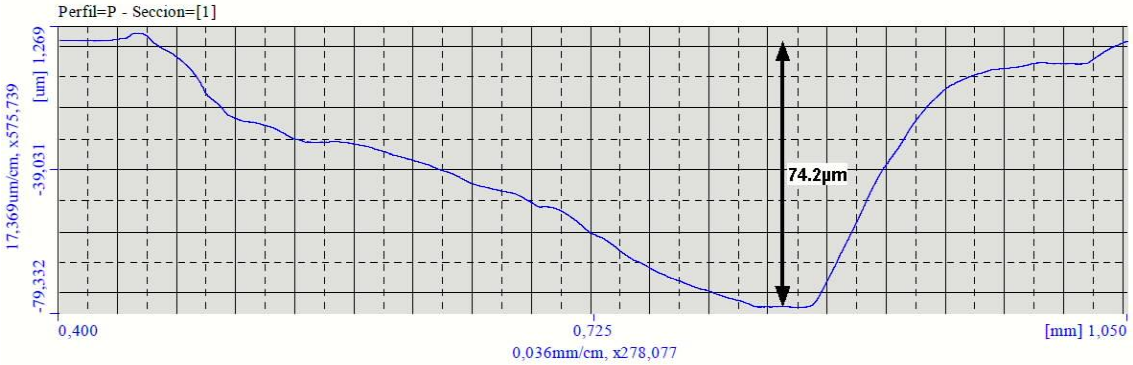
PROVETA 3 – EXPERIMENT 4



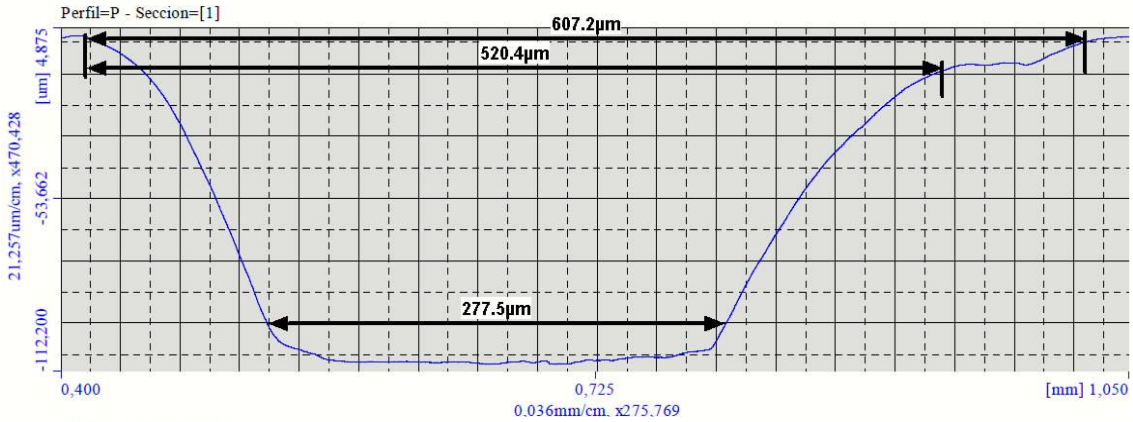


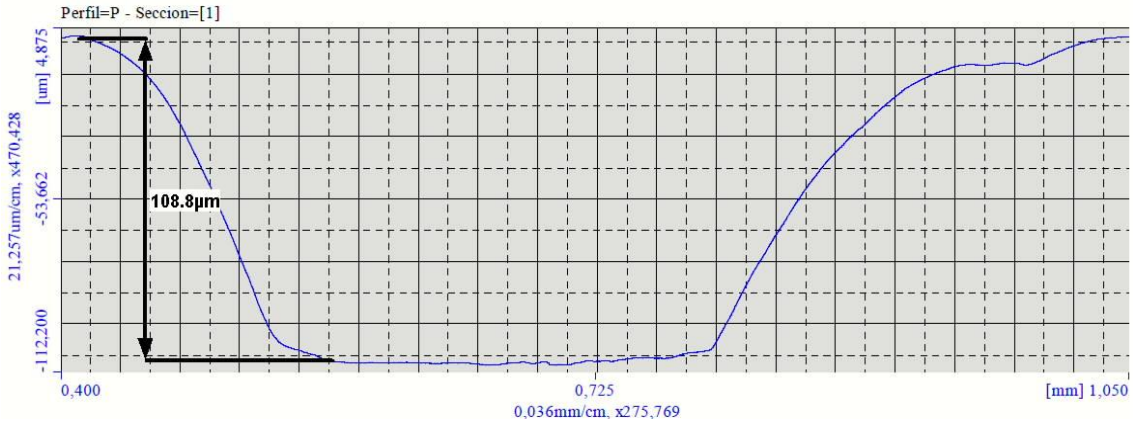
PROVETA 3 – EXPERIMENT 5



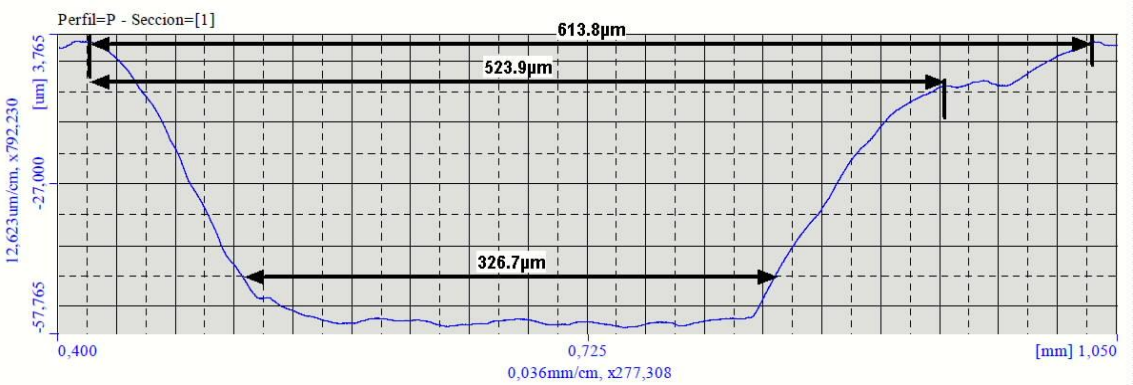


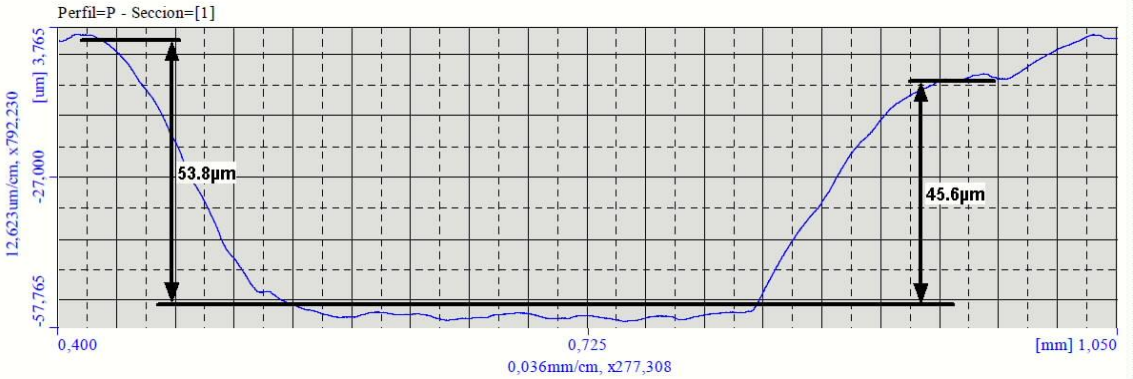
PROVETA 3 – EXPERIMENT 6



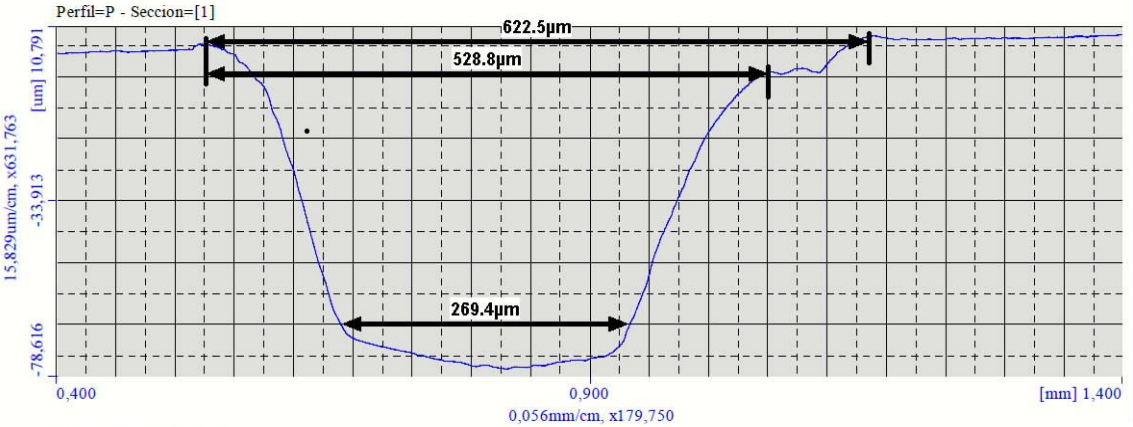


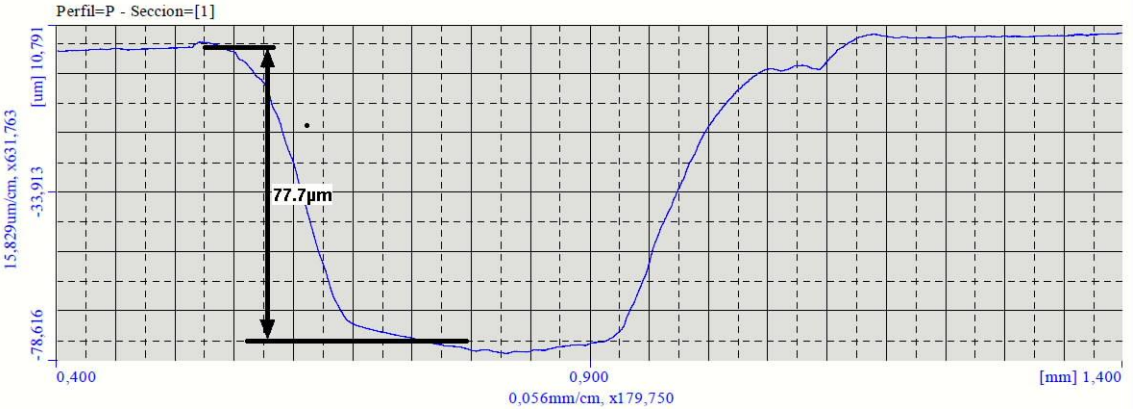
PROVETA 3 – EXPERIMENT 7



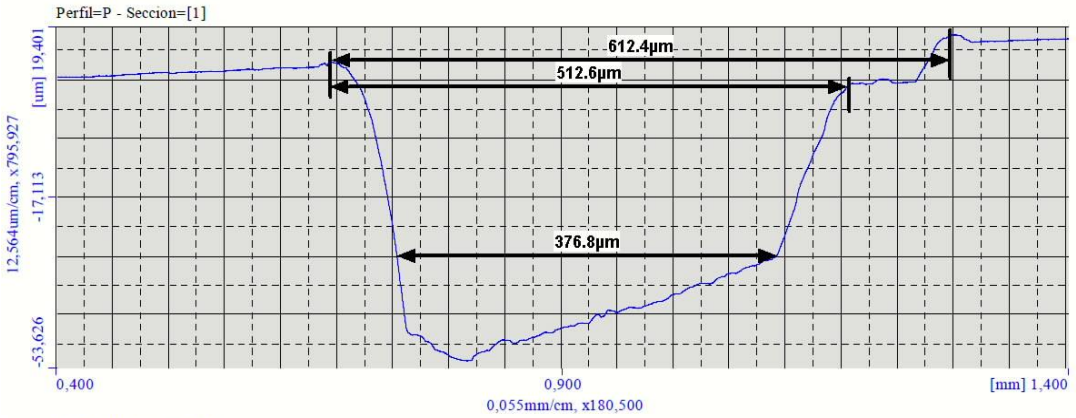


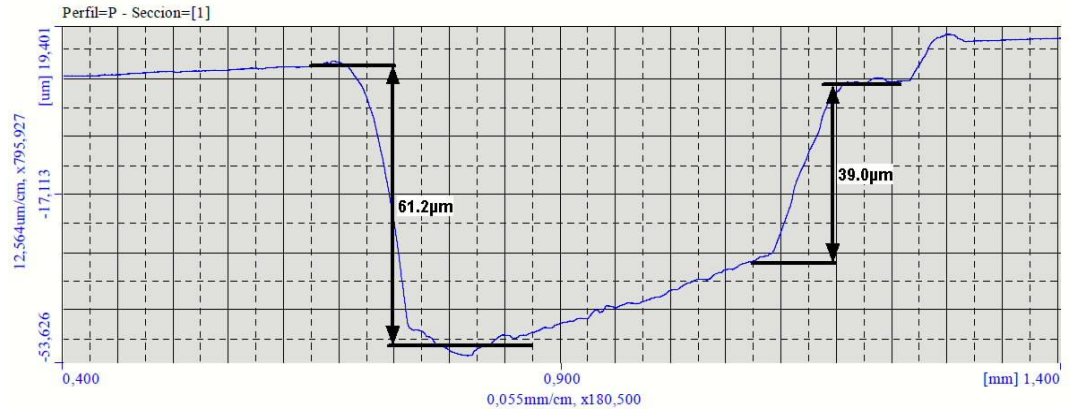
PROVETA 3 – EXPERIMENT 8



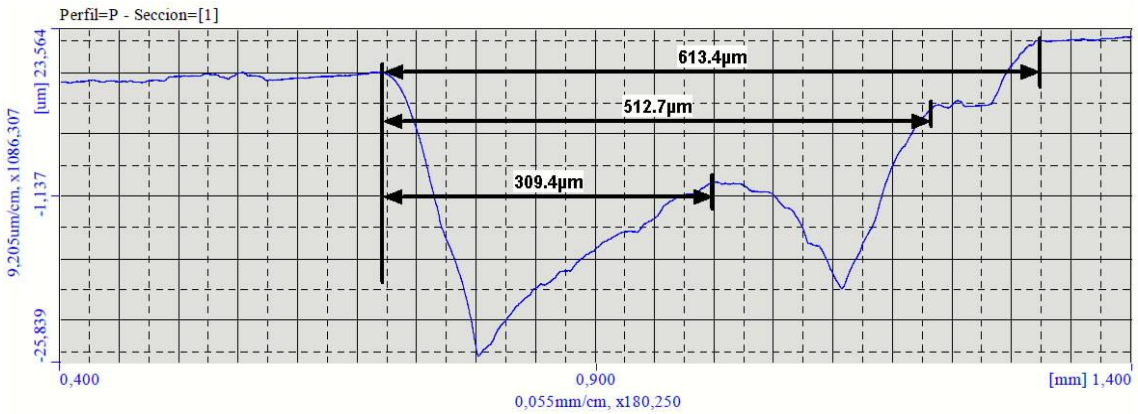


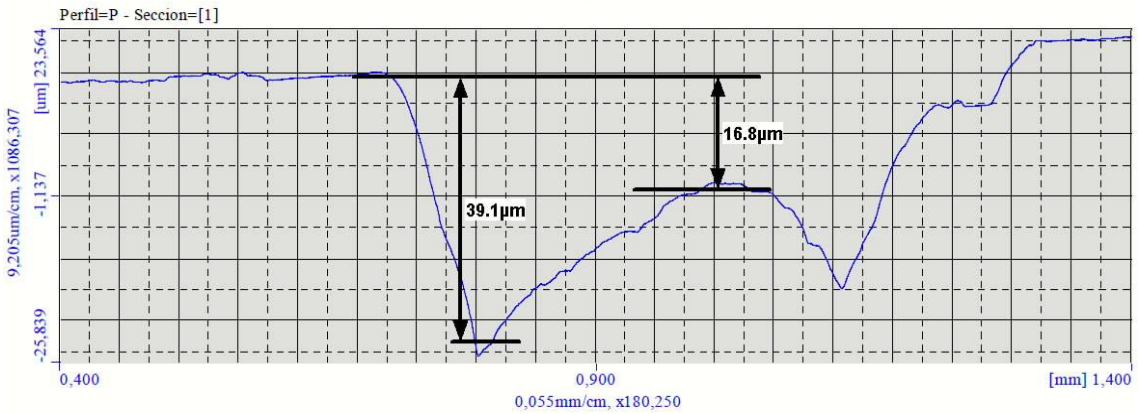
PROVETA 3 – EXPERIMENT 9



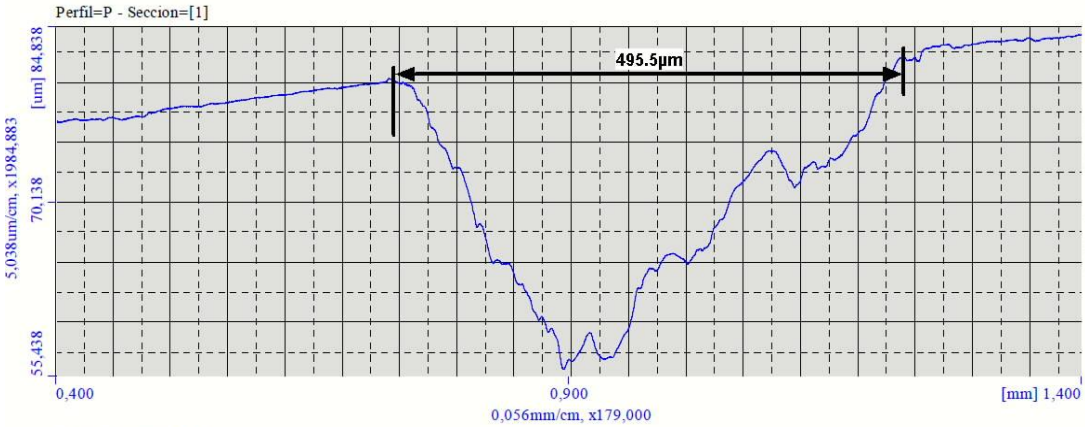


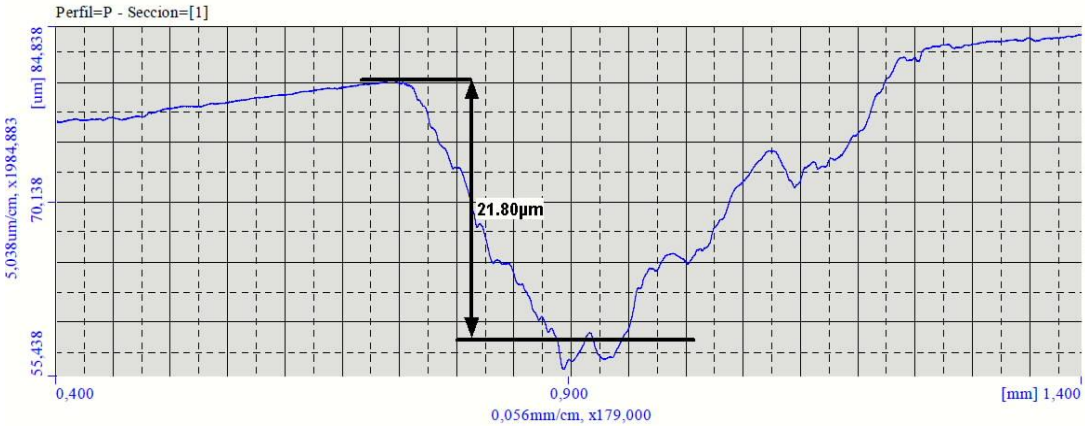
PROVETA 3 – EXPERIMENT 10



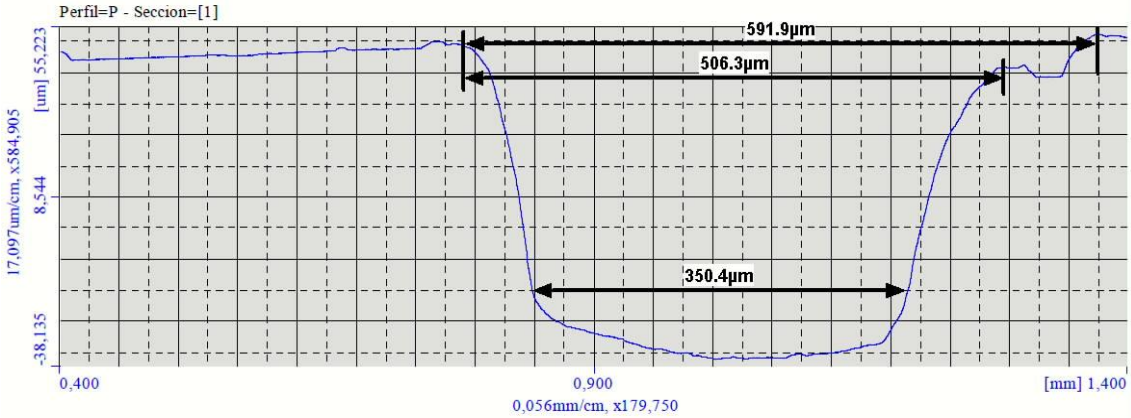


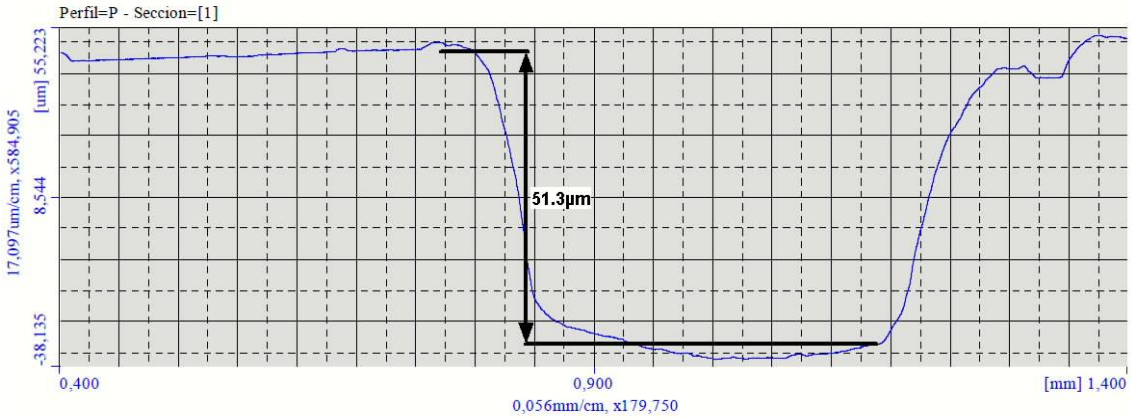
PROVETA 3 – EXPERIMENT 11



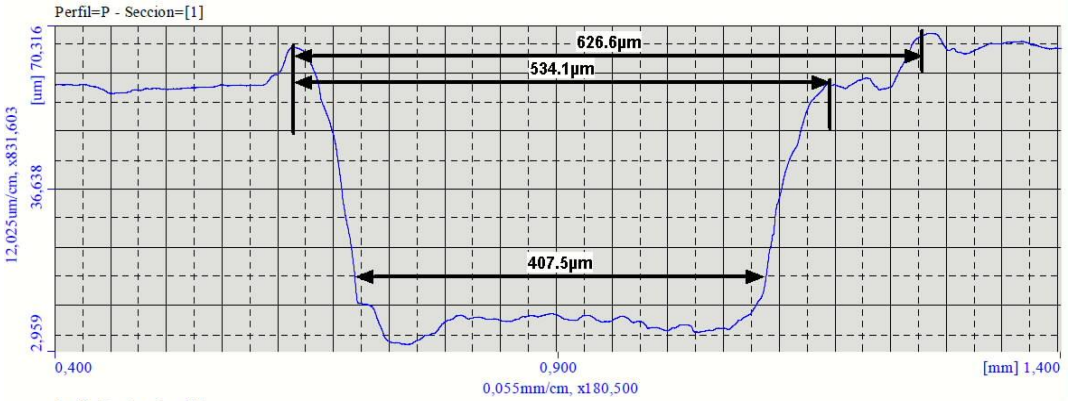


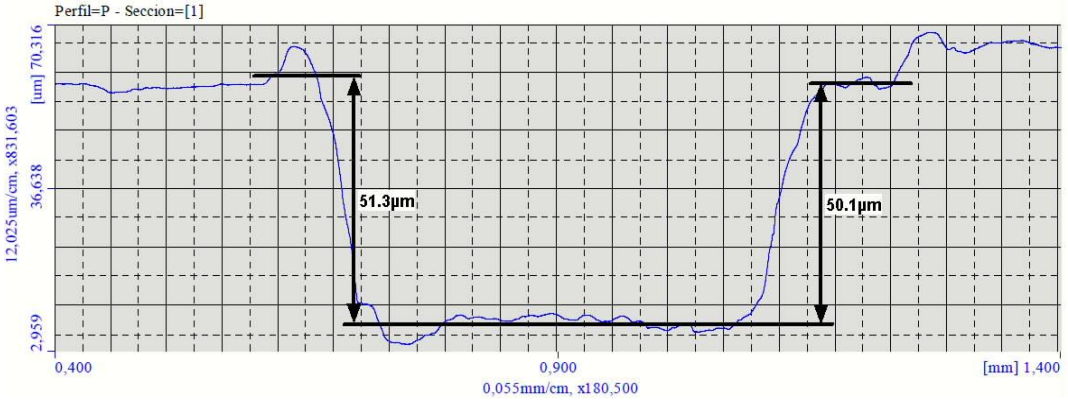
PROVETA 3 – EXPERIMENT 12



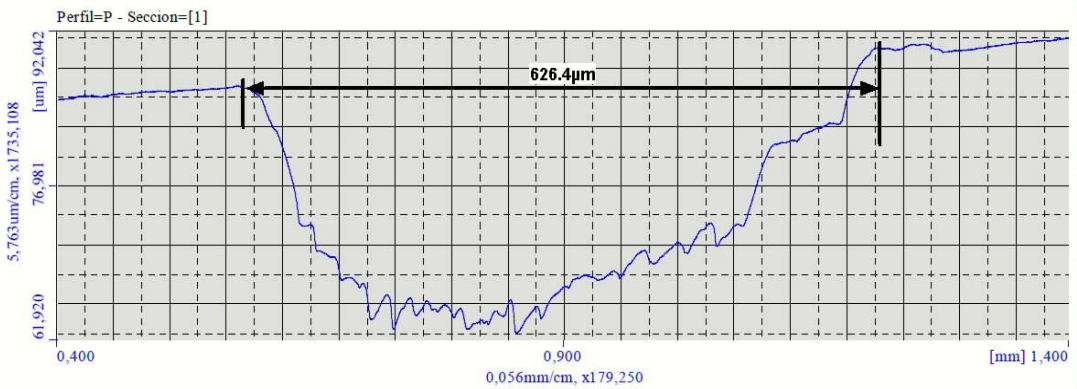


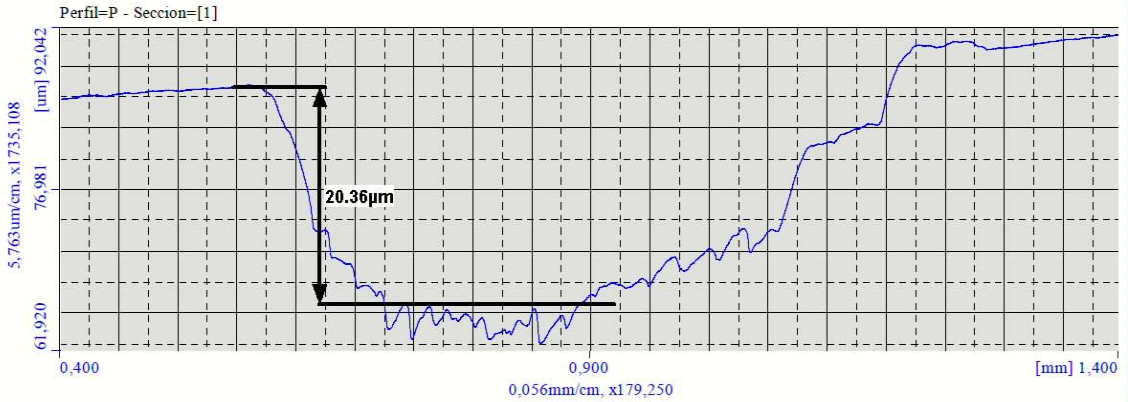
PROVETA 3 – EXPERIMENT 13



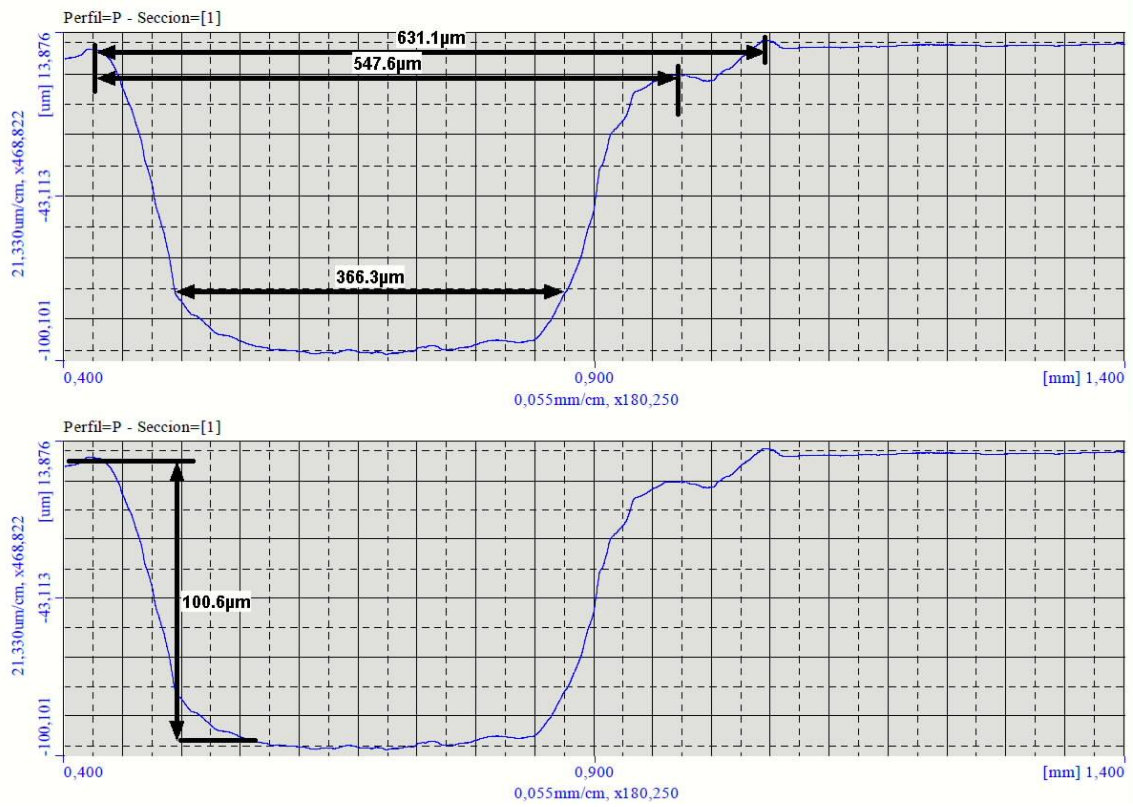


PROVETA 3 – EXPERIMENT 14

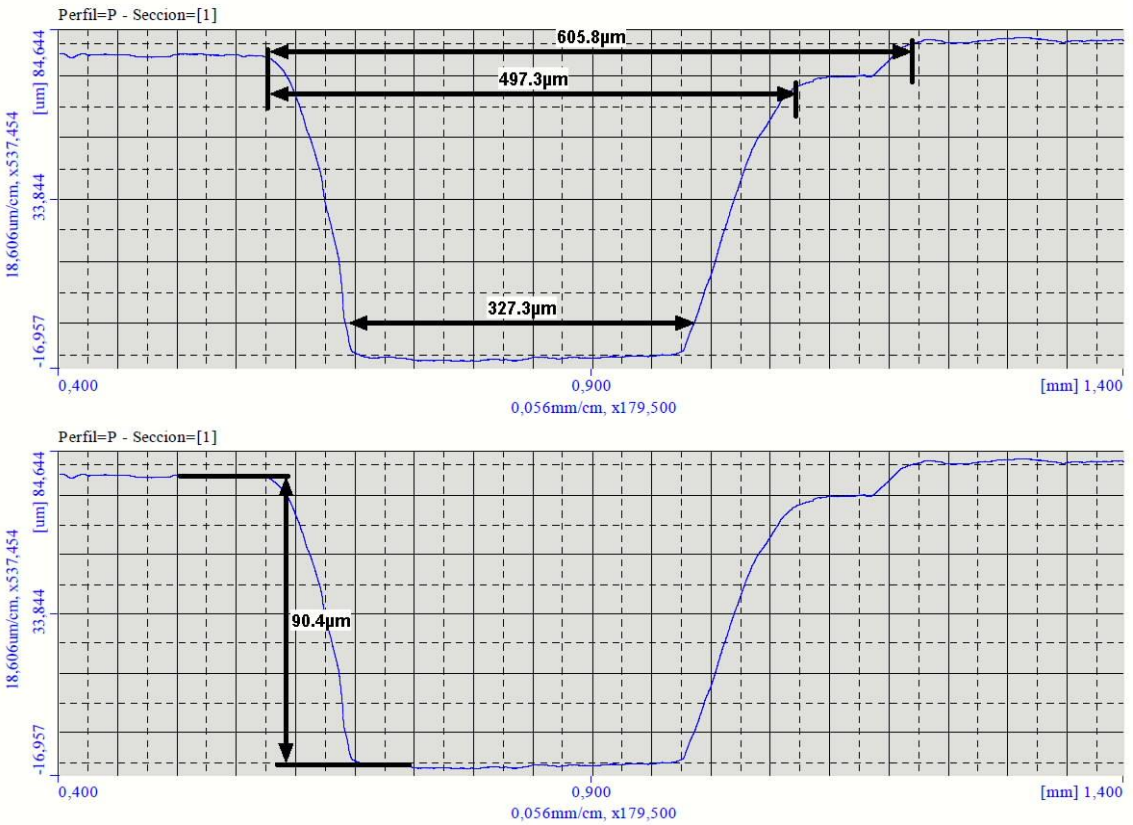




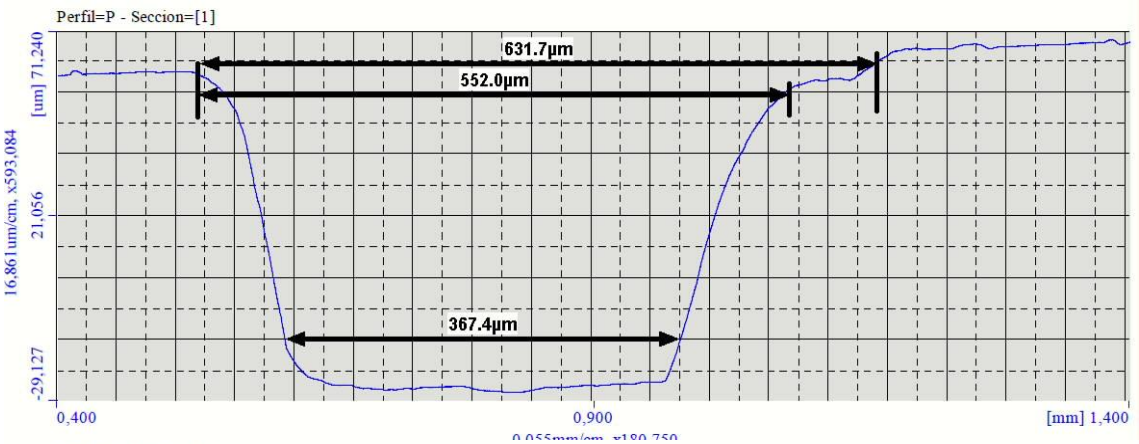
PROVETA 3 – EXPERIMENT 15

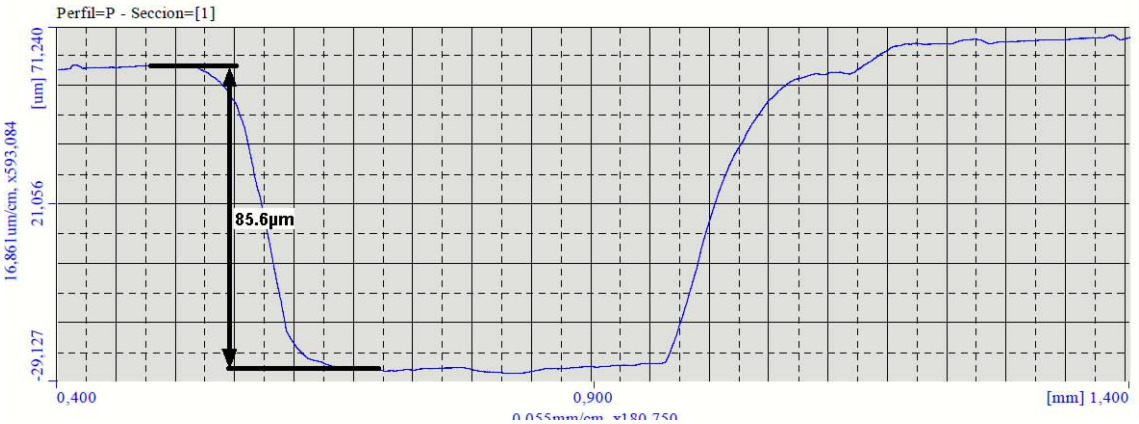


PROVETA 3 – EXPERIMENT 16

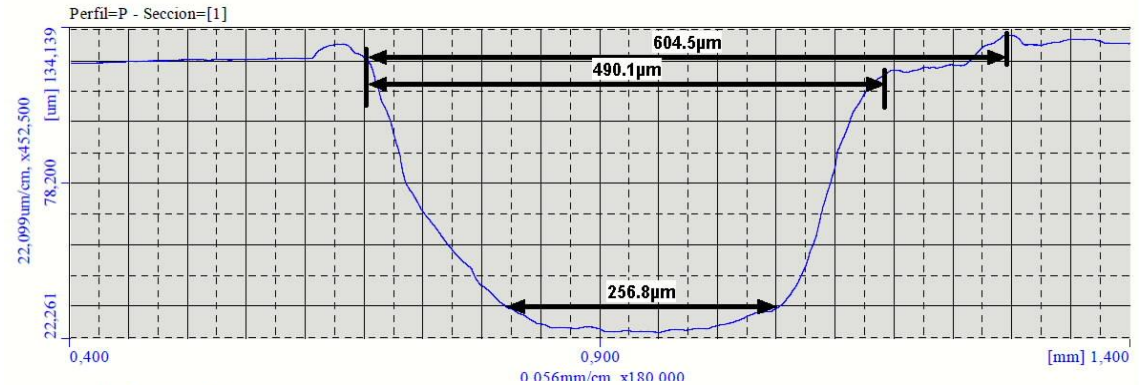


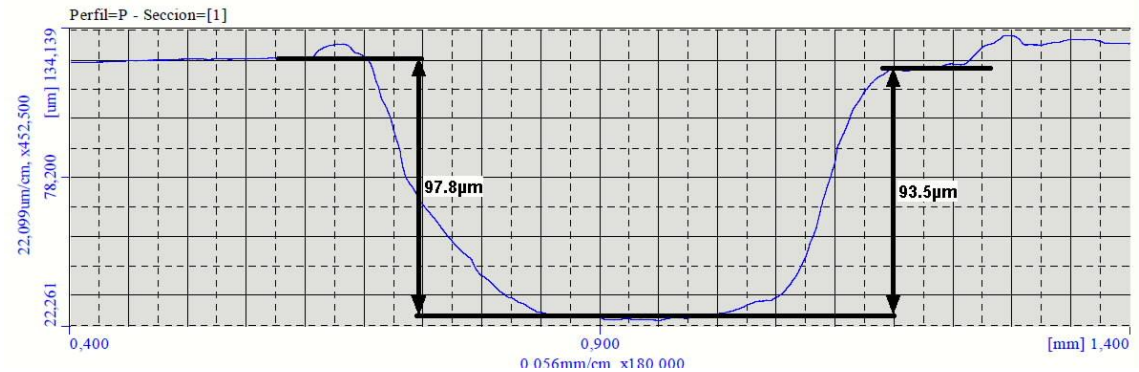
PROVETA 3 – EXPERIMENT 17



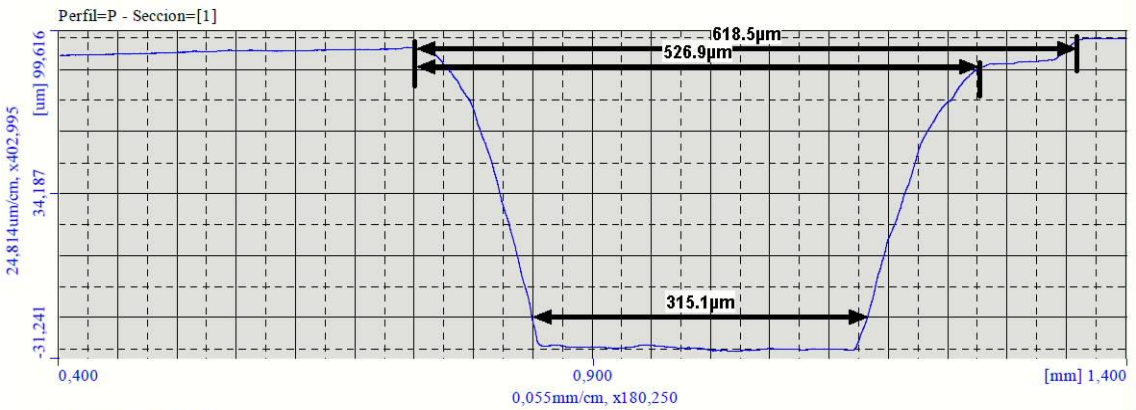


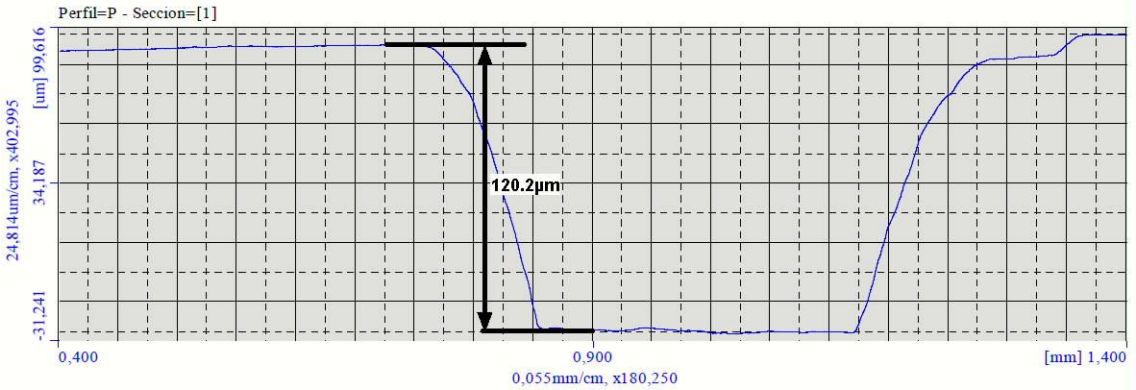
PROVETA 3 – EXPERIMENT 18



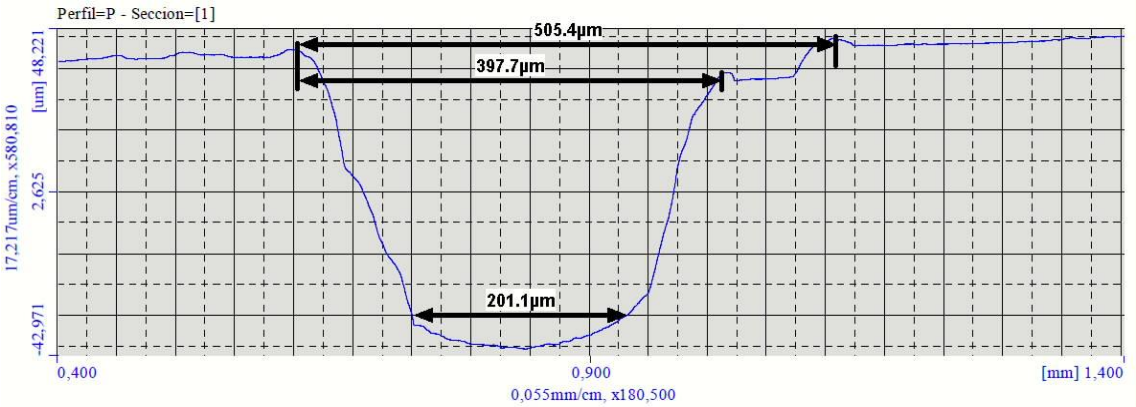


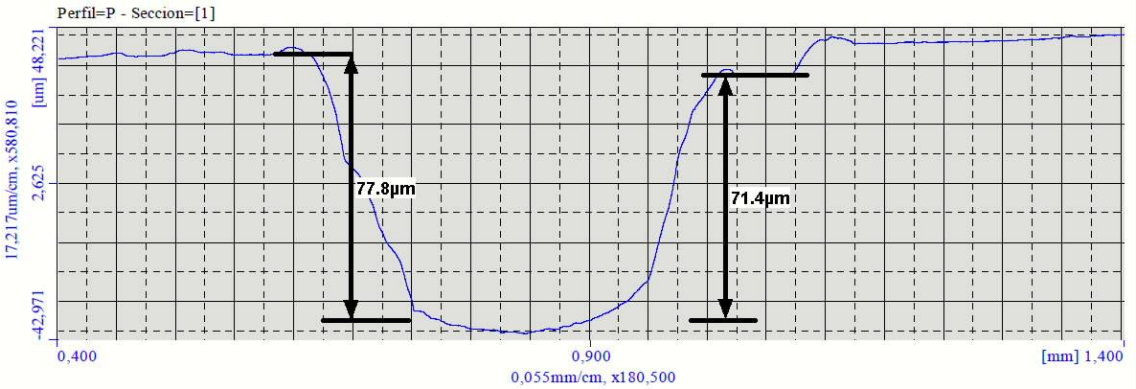
PROVETA 3 – EXPERIMENT 19



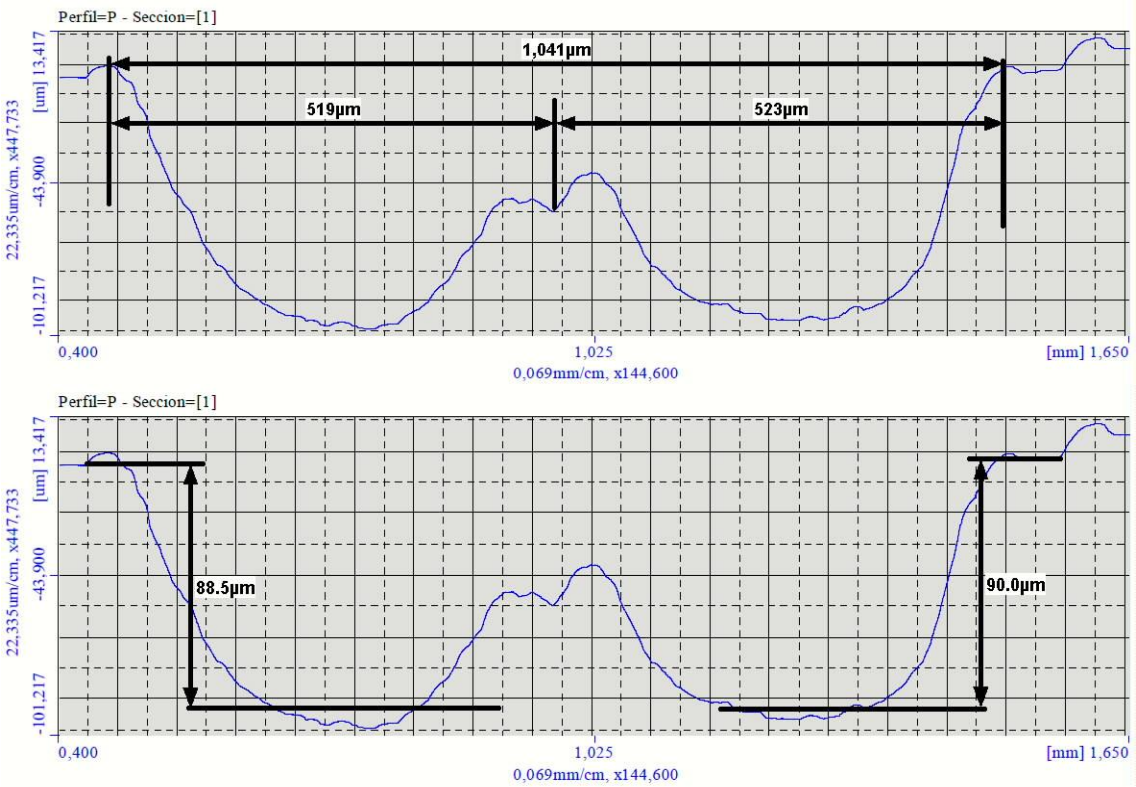


PROVETA 3 – EXPERIMENT 20

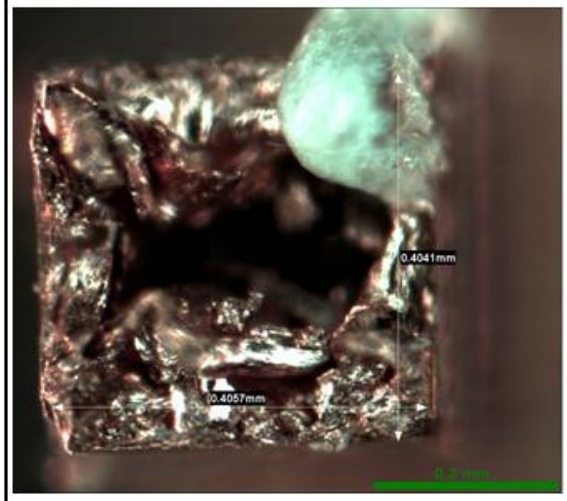
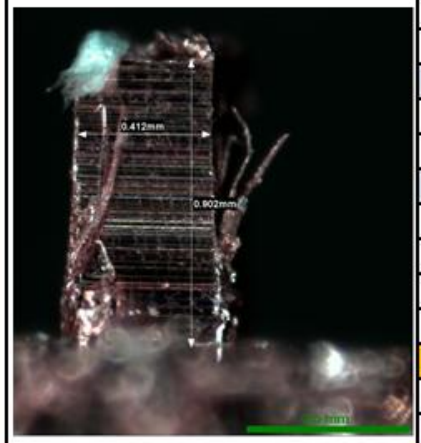




PROVETA 3 – EXPERIMENT 21 / 22

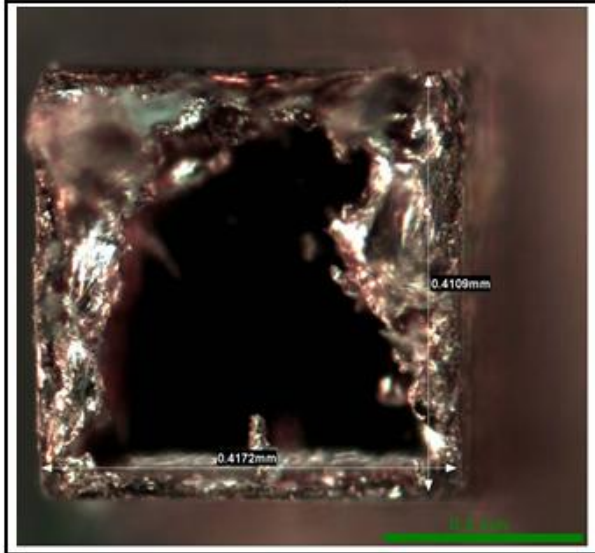


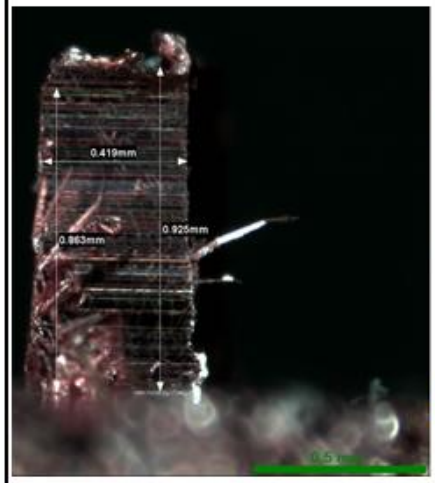
D.2.5. DESGAST DELS ELÈCTRODES DESPRÉS DE LA UTILITZACIÓ

Elèctrode núm.	7				
Imatges elèctrode ABANS de l'electroerosió					
			VALORS MESURATS		
			Alçat (µm)		
			Inicial	Mesura 1	Mesura 2
			902,0	690,1	772,2
			Planta (µm)		
			Inicial X	Inicial Y	
			405,7	404,1	
			Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
			424,4	427,5	-	-
			DESGAST ELÈCTRODE		
			Alçat (µm)		
			211,9	129,8	
			Planta (µm)		
			Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
			-18,7	-23,4	-	-
Imatges elèctrode DESPRÉS de l'electroerosió			COMENTARI:		
			Tal i com es pot comprovar en els valors mesurats de l'elèctrode, pel que fa a la secció, no són valors que es pugui usar ja que hi ha unes diferencies negatives molt significatives (-18,7µm i -23,4µm). El fet que s'obtingui aquests valors ve provocat per errors en la mesura degut a la presència de la rebava en la superfície de l'electrode. No obstant, pel que fa a l'alçat, és a dir, en l'erosió en z, es desgasta de diferent manera i una quantitat considerable (211,9µm i 129,8µm). Aquest desgast diferent pot venir provocat per la quantitat de rebaves present en l'elèctrode abans de electroerosionar. Tot i així, aquests resultats indiquen que es desgasta en el sentit de l'eix Z i no hi ha massa desgast en la secció quadrada.			

Elèctrode núm.	10

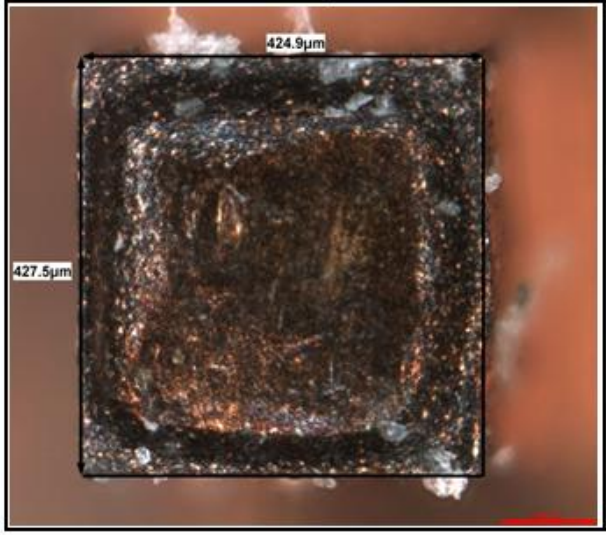
Imatges elèctrode ABANS de l'electroerosió





VALORS MESURATS			
Alçat (µm)			
Inicial		Mesura 1	Mesura 2
925,0		715,3	802,8
Planta (µm)			
Inicial X		Inicial Y	
417,2		410,9	
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
424,9	427,5	-	-
DESGAST ELÈCTRODE			
Alçat (µm)			
209,7		122,2	
Planta (µm)			
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
-7,7	-16,6	-	-

Imatges elèctrode DESPRÉS de l'electroerosió

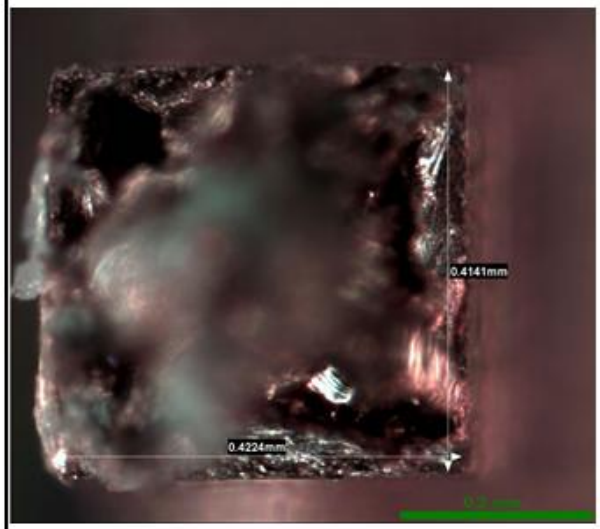


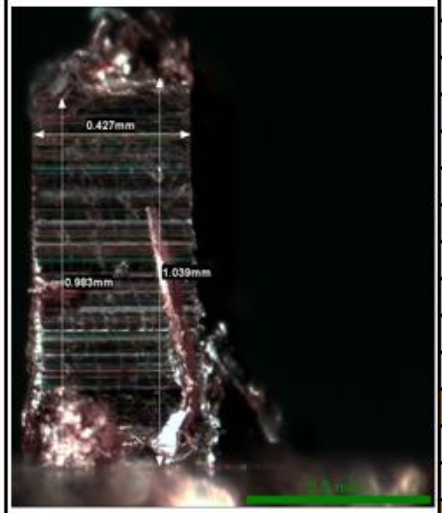
COMENTARI:

Tal i com es pot comprovar en els valors mesurats de l'elèctrode, pel que fa a la secció, no són valors que es pugui usar, ja que hi ha unes diferencies negatives molt significatives (-7,7µm i -16,6µm). El fet que s'obtingui aquests valors ve provocat per errors en la mesura degut a la presència de la rebava en la superfície de l'electrode. No obstant, pel que fa a l'alçat, és a dir, en l'erosió en z, es desgasta de diferent manera i una quantitat considerable (209,7µm i 122,2µm). Aquest desgast diferent pot venir provocat per la quantitat de rebaves present en l'elèctrode abans de electroerosionar. Tot i així, aquests resultats indiquen que es desgasta en el sentit de l'eix Z i no hi ha massa desgast en la secció quadrada.

Elèctrode núm.	18

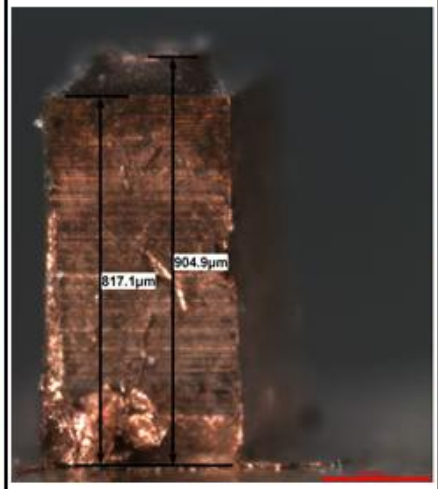
Imatges elèctrode ABANS de l'electroerosió





VALORS MESURATS			
Alçat (µm)			
Inicial		Mesura 1	Mesura 2
1039,0		817,1	904,9
Planta (µm)			
Inicial X		Inicial Y	
422,4		414,1	
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
436,6	426,8	-	-
DESGAST ELÈCTRODE			
Alçat (µm)			
221,9		134,1	
Planta (µm)			
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
-14,2	-12,7	-	-

Imatges elèctrode DESPRÉS de l'electroerosió

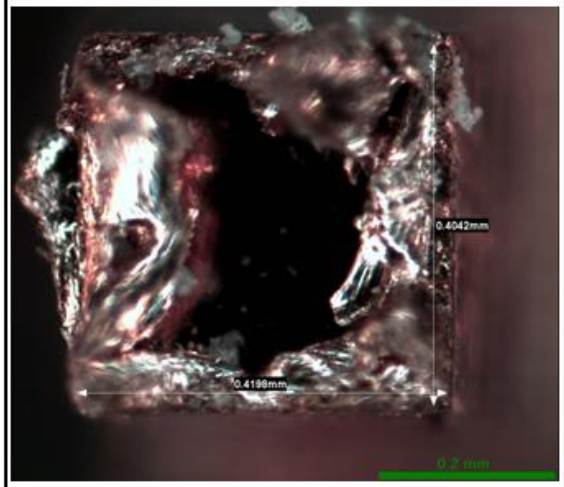


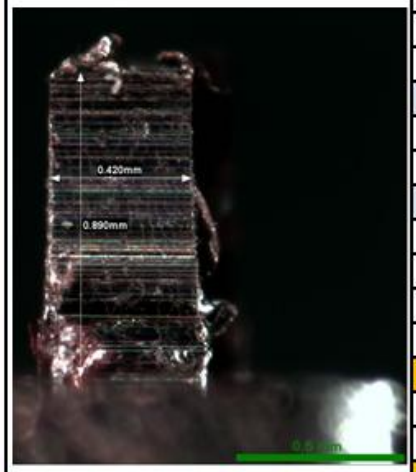
COMENTARI:

Tal i com es pot comprovar en els valors mesurats de l'elèctrode, pel que fa a la secció, no són valors que es pugui usar ja que hi ha unes diferencies negatives molt significatives (-14,2µm i -12,7µm). El fet que s'obtingui aquests valors ve provocat per errors en la mesura degut a la presència de la rebava en la superfície de l'electrode. No obstant, pel que fa a l'alçat, és a dir, en l'erosió en z, es desgasta de diferent manera i una quantitat considerable (221,9µm i 134,1µm). Aquest desgast diferent pot venir provocat per la quantitat de rebaves present en l'elèctrode abans de electroerosionar. Tot i així, aquests resultats indiquen que es desgasta en el sentit de l'eix Z i no hi ha massa desgast en la secció quadrada.

Elèctrode núm.	19

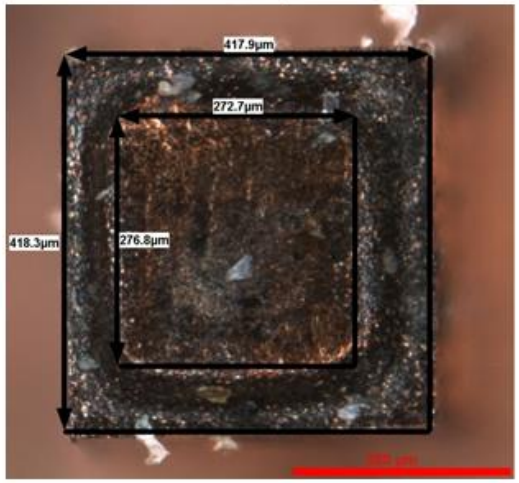
Imatges elèctrode ABANS de l'electroerosió

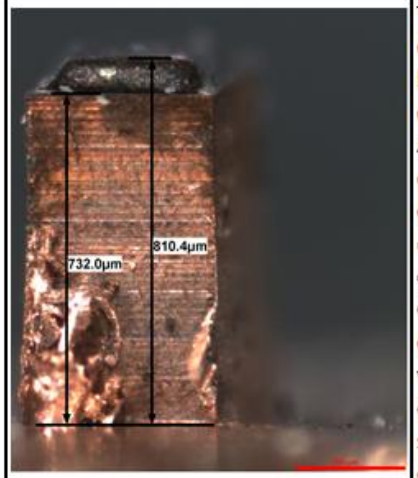




VALORS MESURATS			
Alçat (µm)			
Inicial		Mesura 1	Mesura 2
890,0		732,0	810,4
Planta (µm)			
Inicial X		Inicial Y	
419,8		404,2	
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
417,9	418,3	272,7	276,8
DESGAST ELÈCTRODE			
Alçat (µm)			
158,0		79,6	
Planta (µm)			
Mesura X1	Mesura Y1	Mesura X2	Mesura Y2
1,9	-14,1	147,1	127,4

Imatges elèctrode DESPRÉS de l'electroerosió





COMENTARI:

Tal i com es pot comprovar en els valors mesurats de l'elèctrode, pel que fa a l'alçat, és a dir, en l'erosió en z, es desgasta de diferent manera i una quantitat raonableper l'erosió en z desitjada. Aquest desgast diferent pot venir provocat per la quantitat de rebaves present en l'elèctrode abans de electroerosionar. Pel que fa a la planta, és a dir, en la secció quadrada de l'elèctrode, es pot comprovar que no hi ha un excessiu desgast. Concretament, en un costat de la secció es desgasta 1,9µm i l'altre -14,1µm. Aquest segon valor negatiu indicaria que no s'ha desgast sinó que ha augmentat de volum. Evidentment, aquest succés no és possible i el fet de que passi això ve determinat per l'error en la mesura de l'operari. No obstant, aquests resultats indiquen que es desgasta en el sentit de l'eix Z i no hi ha gairebé desgast en la secció quadrada.

ANNEX E. PRESSUPOST

E.1. ANÀLISI DE COSTOS

E.1.1. MODEL D'ESTIMACIÓ DE COSTOS

L'estimació de costos es basa en el model de costos de Hyuk-Jin Kang [2007] i Boothroyd [1989] (Equació 1).

$$C_{Total} = C_w + C_p + C_m + C_t \quad \text{(Eq. 1)}$$

On C_{Total} és el cost total per peça, C_w és el cost material, C_p és el cost de preparació, C_m és el cost de mecanitzat, i C_t és el cost de l'eina. El primer terme, el preu de la peça de material (C_w), es calcula usant l'Equació 2.

$$C_{wl} = V \cdot \rho \cdot C_{um} \quad \text{(Eq. 2)}$$

On V és el volum del material component (m^3), ρ és la densitat del material (kg/m^3), i C_{um} és el preu unitari (€/kg). No obstant això, en aquest cas, el primer terme es desprecia a causa de que no és un cost significatiu. Llavors el cost pot calcular-se com es mostra en l'Equació 3.

$$C_{Total} = C_p + C_m + C_t \quad \text{(Eq. 3)}$$

El segon terme, el cost de preparació (C_p), es calcula com es mostra en l'Equació 4.

$$C_p = W \cdot T_p \quad \text{(Eq. 4)}$$

On T_p és el temps per preparar la configuració de la màquina i W és el cost involucrat per iniciar la producció (per exemple, salari de l'operador per hora, la velocitat de la màquina per hora, l'energia consumida, despeses administratives, etc.) El tercer terme, cost de mecanitzat (Cm), es calcula amb l'Equació (5).

$$C_p = W \cdot T_m \quad \text{(Eq. 5)}$$

On T_m és el temps de mecanitzat. L'últim terme, el cost de l'eina (C_t), es mostra en l'Equació 6.

$$C_t = W \cdot t_{ch}\left(\frac{T_m}{T}\right) + C_a\left(\frac{T_m}{T}\right) \quad \text{(Eq. 6)}$$

On el t_{ch} és el temps relacionat amb els canvis d'eina, C_a és el cost d'adquisició i T és la vida mitjana de l'eina. El valor d'aquest últim terme T, s'obté de la relació de la vida de l'eina segons Taylor, tal i com es mostra en l'Equació 7.

$$T = t_r \cdot \left(\frac{v_r}{v}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{(Eq. 7)}$$

On:

v = Velocitat de tall

n = Constant

t_r = durada de l'eina de mesurada per una velocitat de tall donada v_r

El valor de t_r es pot trobar segons l'eina de treball usada i pel material de l'eina , ja sigui per l'experimentació o per dades empíriques publicades. L'índex n depèn principalment del material de

l'eina, per a alta velocitat d'acer el valor de la n ~ 0,125, per al carbur 0,25 < n < 0,3, i per materials ceràmics 0,5 < n < 0,7.

E.2. ANÀLISI ECONÒMIC

L'estimació de costos del model es particularitza per a la micro-electroerosió (micro-EDM). Segons l'Equació 1, el temps de preparació inclou el temps dedicat a la subjecció de l'elèctrode a la màquina i, també, el temps de fixació de peça.

L'Equació 5, considera el temps de mecanitzat. En aquest cas, és el temps necessari per mecanitzar una micro-cavitat mitjançant l'erosió.

Concretament, per aquesta tecnologia, la fabricació de l'elèctrode es realitza amb la fresadora Deckel-Maho © 64V, per això el cost de l'eina (C_a), es calcula de la mateixa manera que un component fabricat amb micro-fresat. La vida de l'eina es calcula a partir de dades experimentals.

E.3. CÀLCUL DEL COST DE LA FABRICACIÓ DE L'ELÈCTRODE

Primerament i, usant el model d'estimació de costos de l'apartat E.1, es procedeix a trobar el cost que ocasiona la fabricació d'un elèctrode. Així, doncs, tots els càlculs es poden apreciar en la Taula E. 1 que es presenta a continuació.

COST FABRICACIÓ ELÈCTRODE					
Cost de preparació					
Cp = W · Tp	Taxa horària	W	€/h	58,50	19,50 €
	Temps de preparació	Tp	min	20	
Cost de mecanitzat					
Cm = W · Tm	Taxa horària	W	€/h	58,50	29,25 €
	Temps de mecanitzat	Tm	min	30	
Cost de l'eina					
$C_t = W \cdot t_{ch}\left(\frac{T_m}{T}\right) + C_a\left(\frac{T_m}{T}\right)$	Cost de preparació	W	€/h	58,5	57,90 €
	Temps de canvi d'eina	t_{ch}	min	10	
	Cost d'adquisició	Ca	€	38,50	
	Temps de mecanització	Tm	min	30	
	Vida mitjana de l'eina	T	min	25	
		TOTAL			**106,65 €**

Taula E. 1. Cost de fabricació d'un elèctrode

Així doncs, el cost total per poder obtenir un elèctrode, destinat a posterior utilització en l'electroerosió, és de 106,65€.

E.4. CÀLCUL DEL COST DE LA MECANITZACIÓ D'UNA CAVITAT

A continuació, usant també el model d'estimació de costos de l'apartat E.1, es procedeix a trobar el cost que es produeix en la mecanització de les cavitats. Així, doncs, tots els càlculs realitzats es disposen en la Taula E. 2 següent.

COST MECANITZACIÓ CAVITATS					
Cost de preparació					
Cp = W · Tp	Taxa horària	W	€/h	70,00	11,67 €
	Temps de preparació	Tp	min	10	
Cost de mecanitzat					
Cm = W · Tm	Taxa horària	W	€/h	70,00	15,75 €
	Temps de mecanització*	Tm	min	13,50	
Cost de l'eina					
$C_t = W \cdot t_{ch}\left(\frac{T_m}{T}\right) + C_a\left(\frac{T_m}{T}\right)$	Cost de preparació	W	€/h	70	44,44 €
	Temps de canvi d'eina	t_{ch}	min	5	
	Cost d'adquisició	Ca	€	99,50	
	Temps de mecanització*	Tm	min	13,50	
	Vida mitjana de l'eina	T	min	32	
		TOTAL			**71,85 €**

Taula E. 2. Cost de mecanització d'una cavitat

Així doncs, el cost total per poder obtenir un cavitat és de 71,85€.

E.4. CÀLCUL DEL COST TOTAL DEL PROJECTE

Un cop es pot disposar del cost de la fabricació de cada elèctrode i de la mecanització de cada cavitat, es procedeix a buscar el pressupost final del projecte. Per fer-ho, es recullen totes les dades necessàries per poder-lo dur a terme. Primerament, s'ha d'analitzar el nombre d'elèctrodes fabricats i el nombre de cavitats realitzades. Posteriorment, com a conseqüència dels anàlisis de resultats, s'afegeix al cost total del projecte, el cost ocasionat en la mesura dels resultats. Així doncs, en la Taula E. 3 que es presenta a continuació, es podrà visualitzar totes les dades a tenir en compte i el conseqüent cost total del projecte.

COST TOTAL FABRICACIÓ ELÈCTRODES		2.559,60 €
Nombre d'elèctrodes fabricats	unitat	24
Cost fabricació elèctrode	€/unitat	106,65
COST TOTAL FABRICACIÓ CAVITATS		6.753,90 €
Nombre de cavitats realitzades (Exp. Preliminar i final)	unitat	94
Cost mecanització cavitat	€/unitat	71,85
COST MESURA CAVITATS		250,00 €
Taxa horària d'utilització microscopi electrònic	€/h	25
Temps emprat en les mesures	h	10
	TOTAL	**9.563,50 €**

Taula E. 3. Resum de costos total del projecte

Així doncs, el pressupost total del l'experimentació de la fabricació de micro-cavitats en acer, amb la preparació del taller, obtenció d'eines i material, adquisició de dades, resultats i posterior anàlisi, incloses les despeses generals i la redacció del projecte ascendeix a un total de:

Nou mil cinc-cents seixanta tres Euros amb cinquanta cèntims ..... (9.563,50€).