



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2014 / 2015

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

**DOCUMENTO 5.2: RESULTADOS**

**DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO**

NOMBRE: IGNACIO

APELLIDOS: MARGÜELLO JUARISTI

FDO.:

FECHA:10/09/2015

**DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA**

NOMBRE: BORJA

APELLIDOS: IZQUIERDO ARAMBURU

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:10/09/2015

**INDICE**

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

### 5.2.1. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°

A continuación se mostrarán los resultados correspondientes a cada una de las profundidades erosionadas con los electrodos con forma de cuña a 60°. La nomenclatura de las mediciones se encuentra detallada en el apartado 3.6.2.1 de la *MEMORIA*.

#### 5.2.1.1 RESULTADOS DE LAS EROSIONES A 0.5mm

##### Erosión 1

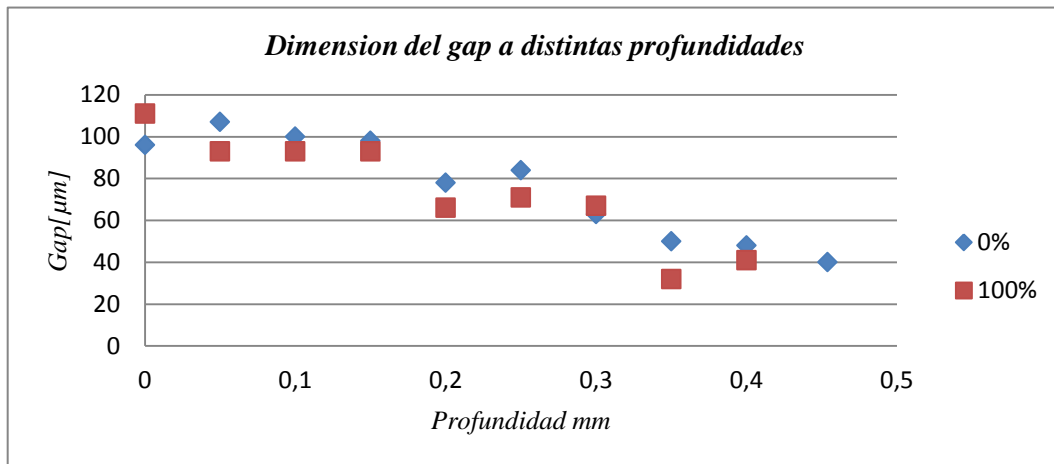
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
Secciones	R inicial	R final	Variación
5mm	10	83	73
10mm	14	78	64
15mm	8	93	85
Media	11	85	74

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
Secciones	Variación
5mm	4345
10mm	4650
15mm	4802
Media	4599

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
Secciones	Mediciones máquina
5mm	60
10mm	46
15mm	53
Media	53

Área erosionada (sección central) $\text{mm}^2$	0,247932
Tiempo de erosión (min.)	5,766666667

<i>Distribución del gap a distintas profundidades</i>		
Profundidad [mm]	Gap [ $\mu\text{m}$ ]	
	0%	100%
Sección B		
0	96	111
0,05	107	93
0,1	100	93
0,15	98	93
0,2	78	66
0,25	84	71
0,3	63	67
0,35	50	32
0,4	48	41
0,454	40	

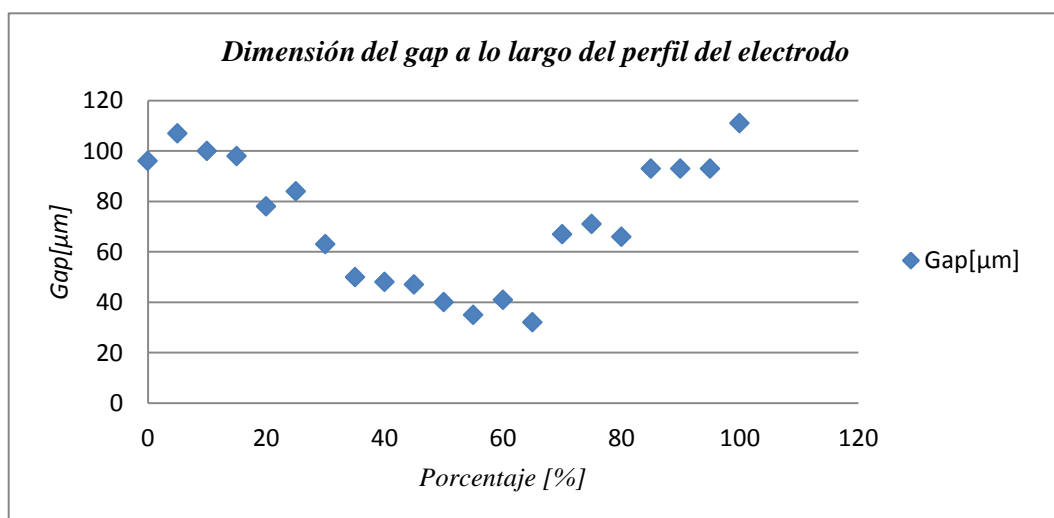


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	96	55	35
5	107	60	41
10	100	65	32
15	98	70	67
20	78	75	71
25	84	80	66
30	63	85	93
35	50	90	93
40	48	95	93
45	47	100	111
50	40	-	-

*Valor máximo y mínimo del gap*

Gap[µm]	Min	Max
	31	122



**Erosión 2**

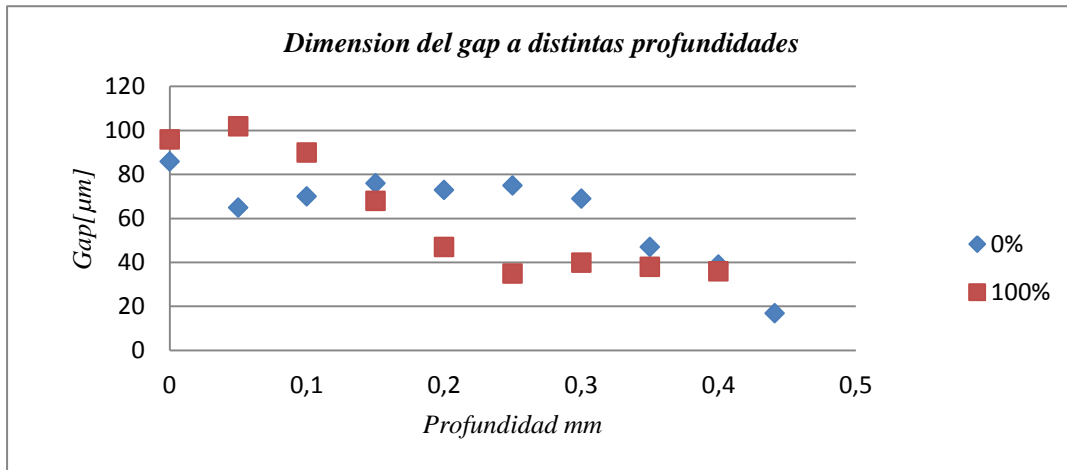
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
Secciones	R inicial	R final	Variación
5mm	11	78	67
10mm	16	88	72
15mm	12	130	117
Media	13	99	85

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
Secciones	Variación
5mm	4176
10mm	5479
15mm	5577
Media	5078

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
Secciones	Mediciones máquina
5mm	50
10mm	59
15mm	49
Media	52,66666667

Área erosionada (sección central) $\text{mm}^2$	0,228362
Tiempo de erosión (min.)	6,66666667

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
Profundidad [mm]	Gap [ $\mu\text{m}$ ]	
Sección B	0%	100%
0	86	96
0,05	65	102
0,1	70	90
0,15	76	68
0,2	73	47
0,25	75	35
0,3	69	40
0,35	47	38
0,4	39	36
0,441	17	

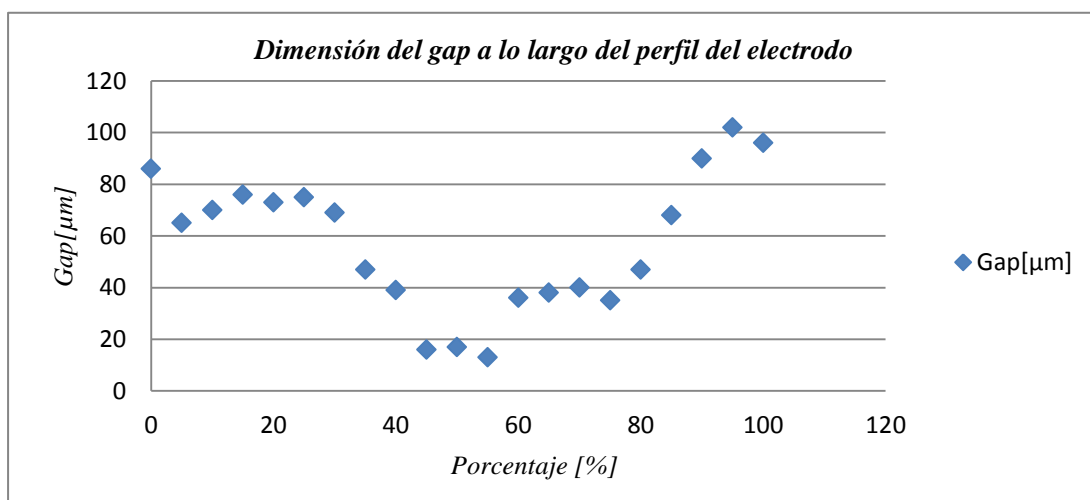


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	86	55	13
5	65	60	36
10	70	65	38
15	76	70	40
20	73	75	35
25	75	80	47
30	69	85	68
35	47	90	90
40	39	95	102
45	16	100	96
50	17		

*Valor máximo y mínimo del gap*

	Min	Max
Gap[µm]	17	110



**Erosión 3**

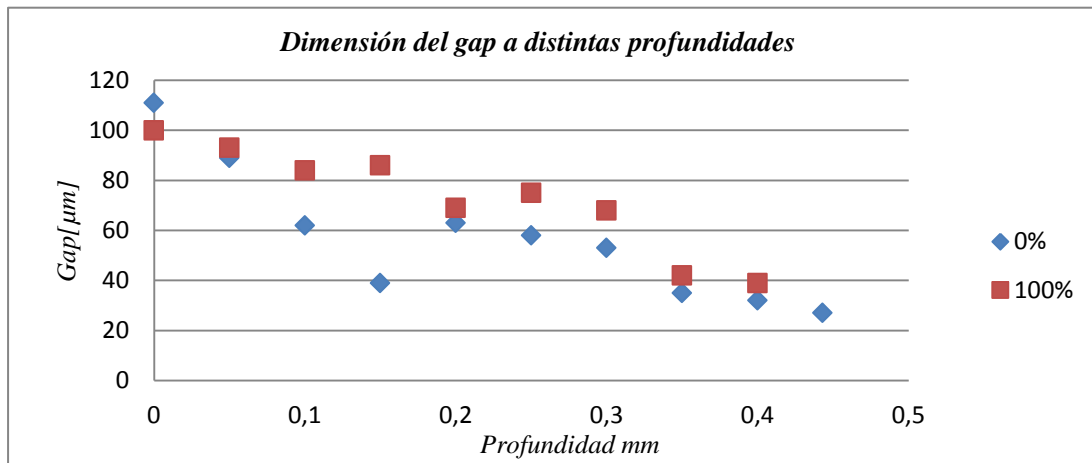
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	23	96	74
<b>10mm</b>	16	91	75
<b>15mm</b>	15	83	67
<b>Media</b>	18	90	72

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	5624
<b>10mm</b>	3852
<b>15mm</b>	5448
<b>Media</b>	4975

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	54
<b>10mm</b>	57
<b>15mm</b>	51
<b>Media</b>	54

<b>Área erosionada (sección central) <math>\text{mm}^2</math></b>	0,2299
<b>Tiempo de erosión (min.)</b>	6,81666667

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
<b>Profundidad [mm]</b>	<b>Gap [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección B</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	111	100
<b>0,05</b>	89	93
<b>0,1</b>	62	84
<b>0,15</b>	39	86
<b>0,2</b>	63	69
<b>0,25</b>	58	75
<b>0,3</b>	53	68
<b>0,35</b>	35	42
<b>0,4</b>	32	39
<b>0,443</b>	27	

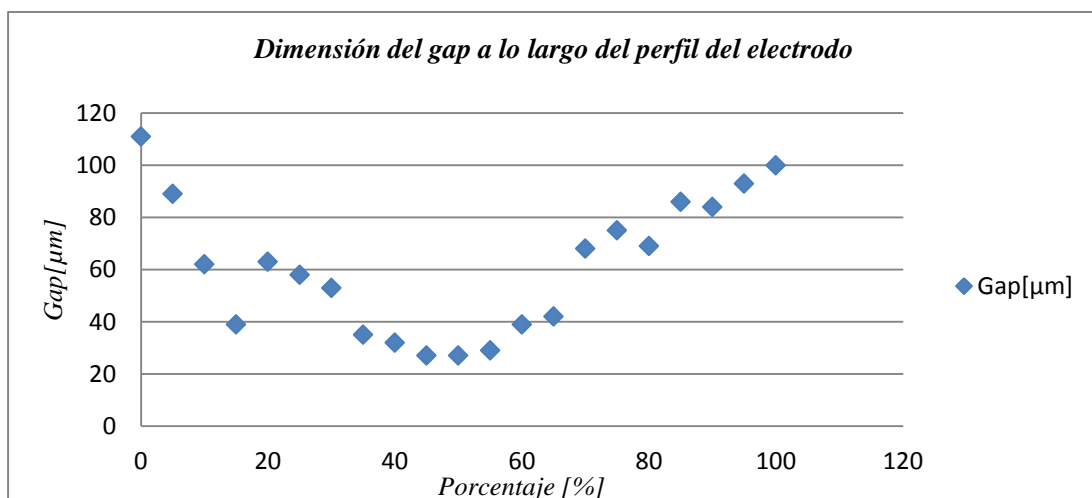


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap [µm]	Porcentaje [%]	Gap [µm]
0	111	55	29
5	89	60	39
10	62	65	42
15	39	70	68
20	63	75	75
25	58	80	69
30	53	85	86
35	35	90	84
40	32	95	93
45	27	100	100
50	27	-	-

*Valor máximo y mínimo del gap*

	Min	Max
Gap [µm]	16	117





## 5.2.1.2 RESULTADOS DE LAS EROSIONES A 1mm

Erosión 1

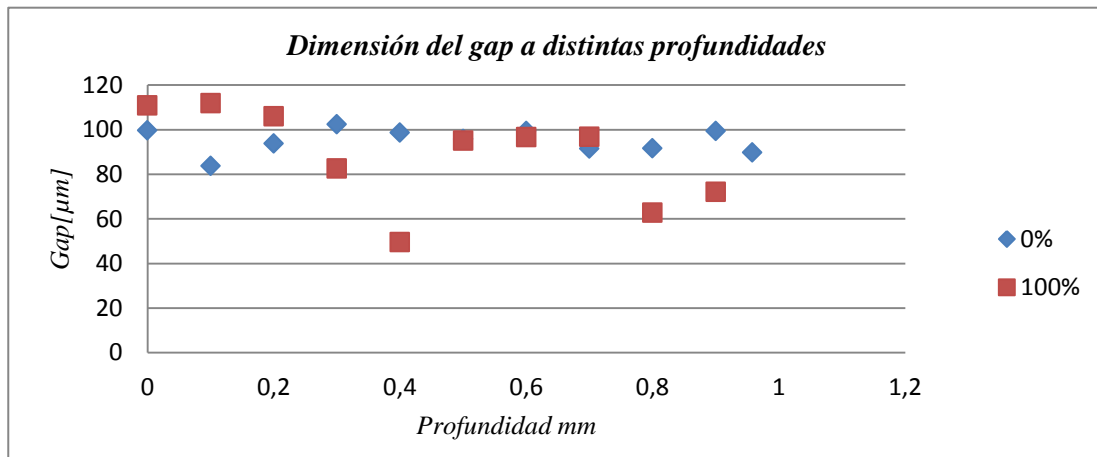
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	16	112	96
<b>10mm</b>	12	110	97
<b>15mm</b>	13	120	107
<b>Media</b>	14	114	100

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	5507
<b>10mm</b>	3968
<b>15mm</b>	4200
<b>Media</b>	4558

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	47
<b>10mm</b>	42
<b>15mm</b>	43
<b>Media</b>	44

<b>Área erosionada (sección central) <math>\text{mm}^2</math></b>	0,865178
<b>Tiempo de erosión (min.)</b>	9,05

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
<b>Profundidad[mm]</b>	<b>Gap[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección B</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	100	111
<b>0,1</b>	84	112
<b>0,2</b>	94	106
<b>0,3</b>	103	83
<b>0,4</b>	99	50
<b>0,5</b>	96	95
<b>0,6</b>	99	97
<b>0,7</b>	92	97
<b>0,8</b>	92	63
<b>0,9</b>	99	72
<b>0,958</b>	90	

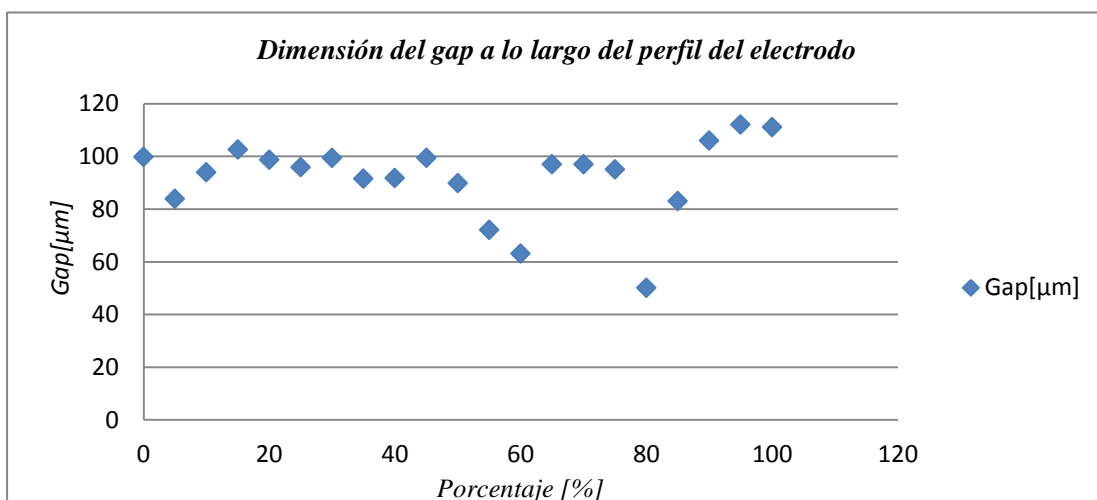


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	100	55	72
5	84	60	63
10	94	65	97
15	103	70	97
20	99	75	95
25	96	80	50
30	99	85	83
35	92	90	106
40	92	95	112
45	99	100	111
50	90		

*Valor máximo y mínimo del gap*

Gap[µm]	Min	Max
	42,6	120



**Erosión 2**

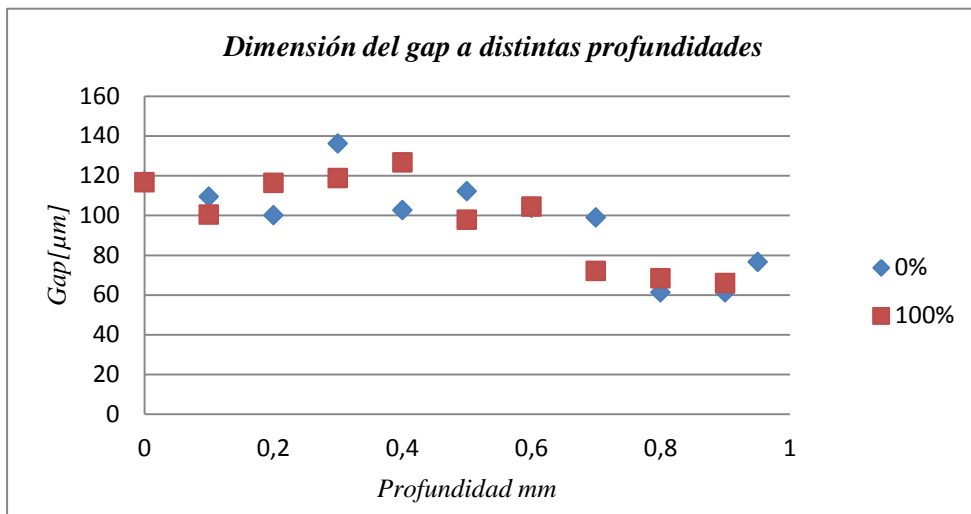
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	14	90	76
<b>10mm</b>	9	104	95
<b>15mm</b>	7	100	94
<b>Media</b>	10	98	88

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	4524
<b>10mm</b>	4765
<b>15mm</b>	4884
<b>Media</b>	4724

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	49
<b>10mm</b>	49
<b>15mm</b>	52
<b>Media</b>	50

<b>Área erosionada (sección central) <math>\text{mm}^2</math></b>	0,8385
<b>Tiempo de erosión (min.)</b>	9,53333333

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
<b>Profundidad[mm]</b>	<b>Gap[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección B</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	117	117
<b>0,1</b>	109	100
<b>0,2</b>	100	116
<b>0,3</b>	136	119
<b>0,4</b>	103	127
<b>0,5</b>	112	98
<b>0,6</b>	104	104
<b>0,7</b>	99	72
<b>0,8</b>	61	68
<b>0,9</b>	61	66
<b>0,951</b>	76	

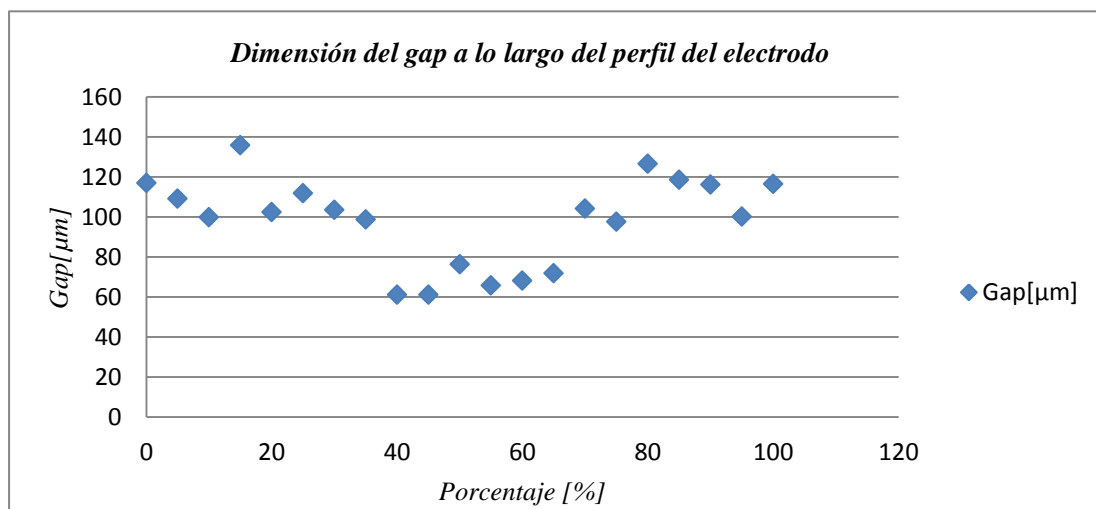


Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	117	55	66
5	109	60	68
10	100	65	72
15	136	70	104
20	103	75	98
25	112	80	127
30	104	85	119
35	99	90	116
40	61	95	100
45	61	100	117
50	76		

Valor máximo y mínimo del gap

Gap[µm]	Min	Max
Gap[µm]	33,6	136



**Erosión 3**

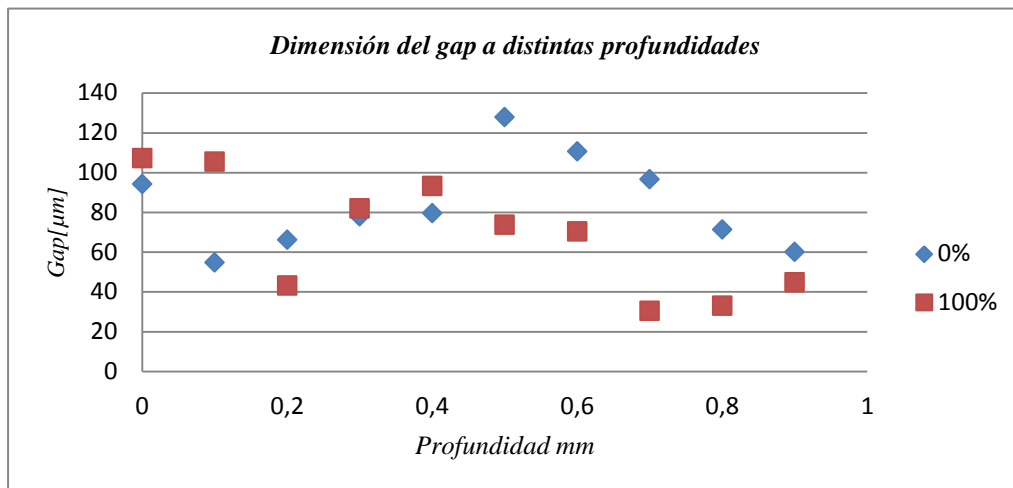
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	16	100	83
<b>10mm</b>	10	99	89
<b>15mm</b>	15	101	85
<b>Media</b>	14	100	86

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	5390
<b>10mm</b>	5058
<b>15mm</b>	4132
<b>Media</b>	4860

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	43
<b>10mm</b>	51
<b>15mm</b>	43
<b>Media</b>	45,66666667

<b>Área erosionada (sección central) <math>\text{mm}^2</math></b>	0,7959
<b>Tiempo de erosión (min.)</b>	10,11667

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
<b>Profundidad[mm]</b>	<b>Gap[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección B</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	94	107
<b>0,1</b>	55	105
<b>0,2</b>	66	43
<b>0,3</b>	78	82
<b>0,4</b>	80	93
<b>0,5</b>	128	74
<b>0,6</b>	111	70
<b>0,7</b>	97	30
<b>0,8</b>	71	33
<b>0,9</b>	60	45
<b>0,949</b>	50	

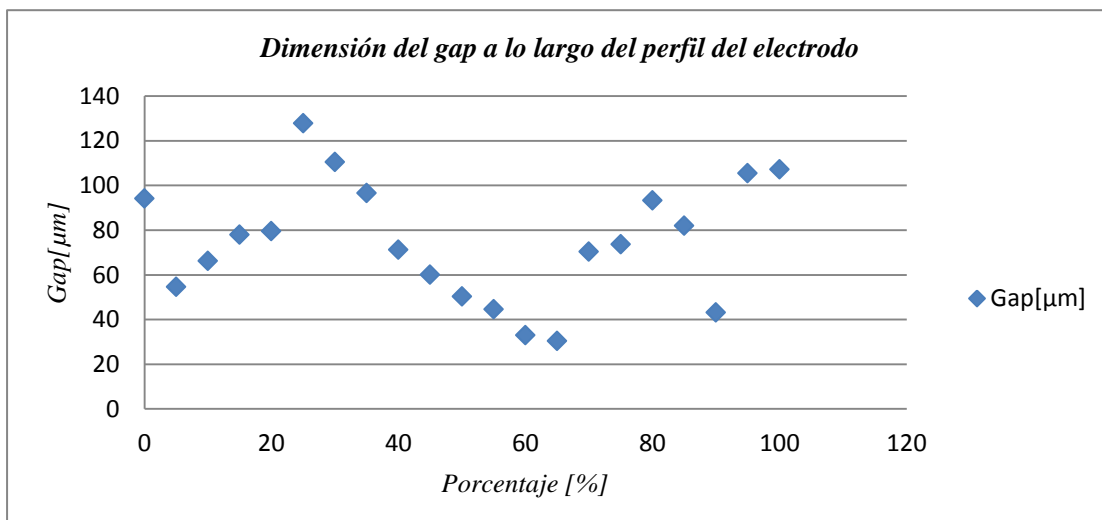


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	94	55	45
5	55	60	33
10	66	65	30
15	78	70	70
20	80	75	74
25	128	80	93
30	111	85	82
35	97	90	43
40	71	95	105
45	60	100	107
50	50		

*Valor máximo y mínimo del gap*

	Min	Max
Gap[µm]	27,8	135



## 5.2.1.3 RESULTADOS DE LA EROSION A 2mm

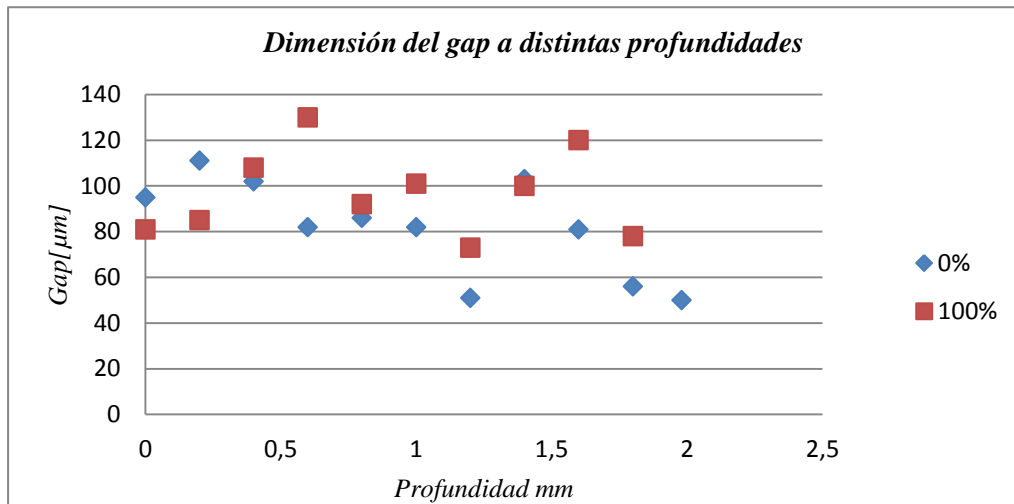
<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	55	129	74
<b>10mm</b>	20	130	110
<b>15mm</b>	14	108	95
<b>Media</b>	30	122	93

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	-7193
<b>10mm</b>	3304
<b>15mm</b>	2286
<b>Media</b>	-534

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	1
<b>10mm</b>	20
<b>15mm</b>	5
<b>Media</b>	8,666666667

<b>Área erosionada (sección central) <math>\text{mm}^2</math></b>	2,8292
---	--------

<i>Dimensión del gap a distintas profundidades</i>		
<b>Profundidad [mm]</b>	<b>Gap [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección B</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	95	81
<b>0,2</b>	111	85
<b>0,4</b>	102	108
<b>0,6</b>	82	130
<b>0,8</b>	86	92
<b>1</b>	82	101
<b>1,2</b>	51	73
<b>1,4</b>	103	100
<b>1,6</b>	81	120
<b>1,8</b>	56	78
<b>1,98</b>	50	

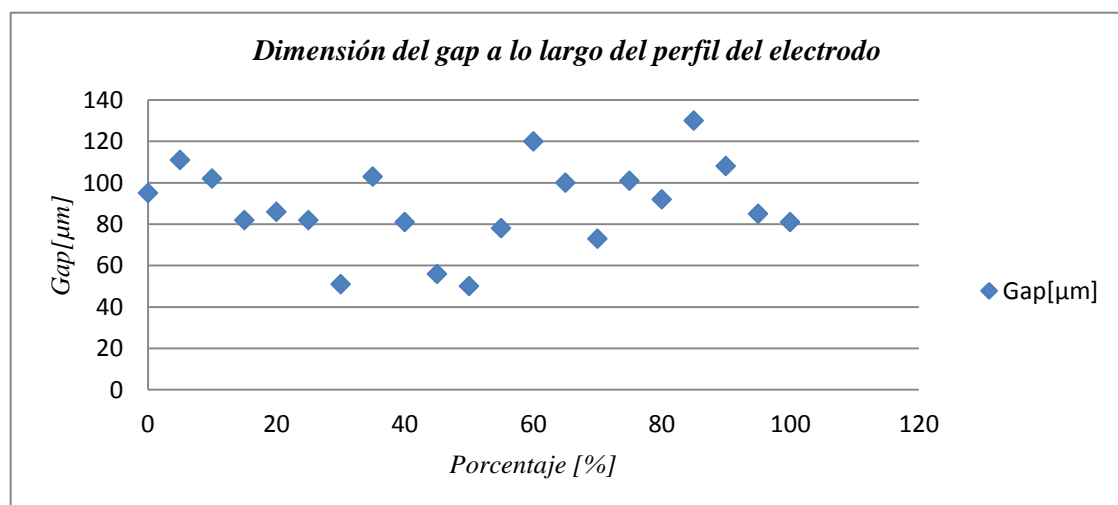


*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Porcentaje [%]	Gap[µm]	Porcentaje [%]	Gap[µm]
0	95	55	78
5	111	60	120
10	102	65	100
15	82	70	73
20	86	75	101
25	82	80	92
30	51	85	130
35	103	90	108
40	81	95	85
45	56	100	81
50	50		

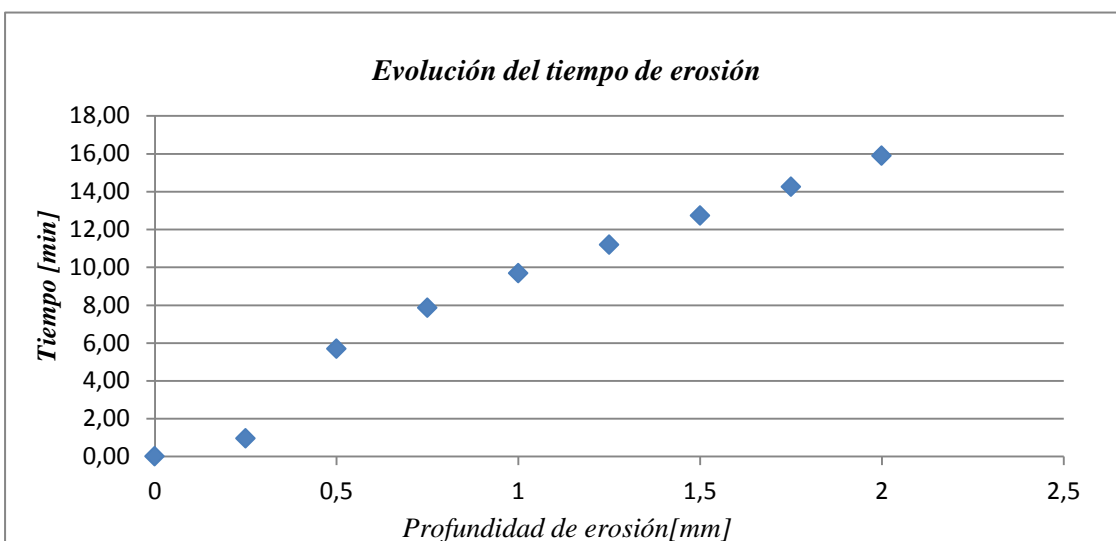
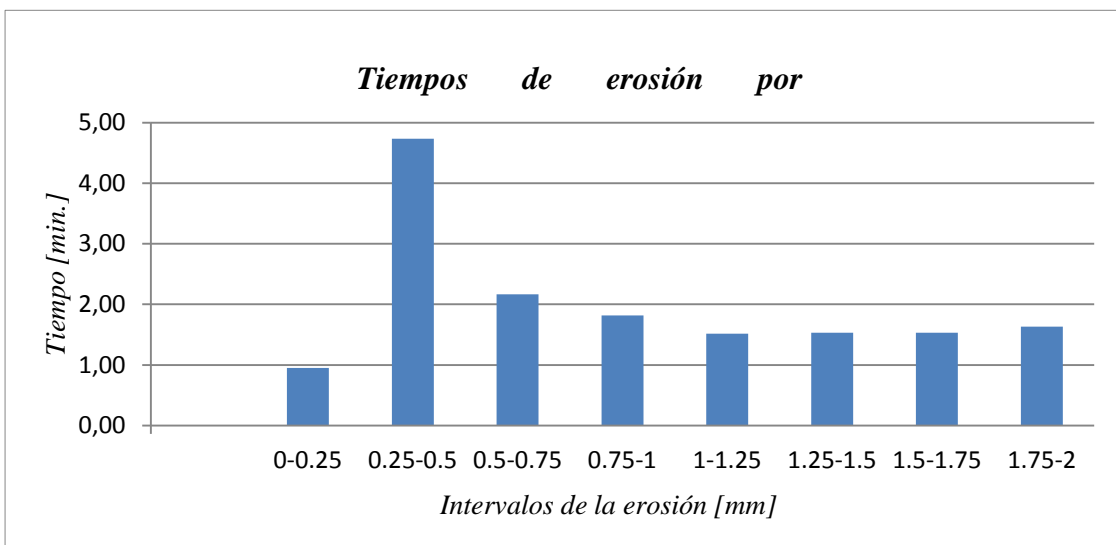
*Valor máximo y mínimo del gap*

	Min	Max
Gap[µm]	33	134





<i>Tiempos de erosión</i>							
	<i>Profundidad de erosión [mm]</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Min</i>	<i>Sg</i>	<i>Tiempo [min]</i>	<i>Tiempo por intervalo</i>
	0	11:38:20	0:00:00	0	0	0,00	0,00
<b>0-0.25</b>	0,25	11:39:17	0:00:57	0	57	0,95	0,95
<b>0.25-0.5</b>	0,5	11:44:01	0:05:41	5	41	5,68	4,73
<b>0.5-0.75</b>	0,75	11:46:11	0:07:51	7	51	7,85	2,17
<b>0.75-1</b>	1	11:48:00	0:09:40	9	40	9,67	1,82
<b>1-1.25</b>	1,25	11:49:31	0:11:11	11	11	11,18	1,52
<b>1.25-1.5</b>	1,5	11:51:03	0:12:43	12	43	12,72	1,53
<b>1.5-1.75</b>	1,75	11:52:35	0:14:15	14	15	14,25	1,53
<b>1.75-2</b>	2	11:54:13	0:15:53	15	53	15,88	1,63



## 5.2.1.4 RESULTADOS DE LA EROSIÓN A 4mm

<i>Radio de punta [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>R inicial</b>	<b>R final</b>	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	19	93	74
<b>10mm</b>	23	143	119
<b>15mm</b>	24	101	77
<b>Media</b>	22	112	90

<i>Área desgastada [<math>\mu\text{m}^2</math>]</i>	
	<b>Variación</b>
<b>5mm</b>	6014
<b>10mm</b>	73786
<b>15mm</b>	7144
<b>Media</b>	28982

<i>Longitud desgastada [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	
	<b>Mediciones máquina</b>
<b>5mm</b>	33
<b>10mm</b>	201
<b>15mm</b>	58
<b>Media</b>	97,33333333

<i>Área desgastada de electrodo por sección</i>	
<b>Secciones</b>	<b>Área erosionada <math>\text{mm}^2</math></b>
<b>5mm</b>	10,657
<b>10mm</b>	10,5348
<b>15mm</b>	10,6562

<i>Distribución del gap a lo largo del perfil del electrodo</i>		
<b>Profundidad[mm]</b>	<b>Gap[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	
<b>Sección A</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>0</b>	56	121
<b>0,4</b>	79	125
<b>0,8</b>	91	119
<b>1,2</b>	104	101
<b>1,6</b>	125	110
<b>2</b>	131	86
<b>2,4</b>	150	118
<b>2,8</b>	149	89
<b>3,2</b>	177	78
<b>3,6</b>	137	83
<b>3,967</b>	40	

*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo (Sección A)*

Porcentaje [%]	Gap[ $\mu\text{m}$ ]	Porcentaje [%]	Gap[ $\mu\text{m}$ ]
0	56	55	83
5	79	60	78
10	91	65	89
15	104	70	118
20	125	75	86
25	131	80	110
30	150	85	101
35	149	90	119
40	177	95	125
45	137	100	121
50	40		

*Distribución del gap a distintas profundidades*

Profundidad[mm]	Gap[ $\mu\text{m}$ ]	
	0%	100%
<b>Sección B</b>		
0	130	141
0,4	124	129
0,8	117	98
1,2	108	140
1,6	142	123
2	129	109
2,4	149	109
2,8	114	86
3,2	133	107
3,6	142	105
3,799	93	

*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo (Sección B)*

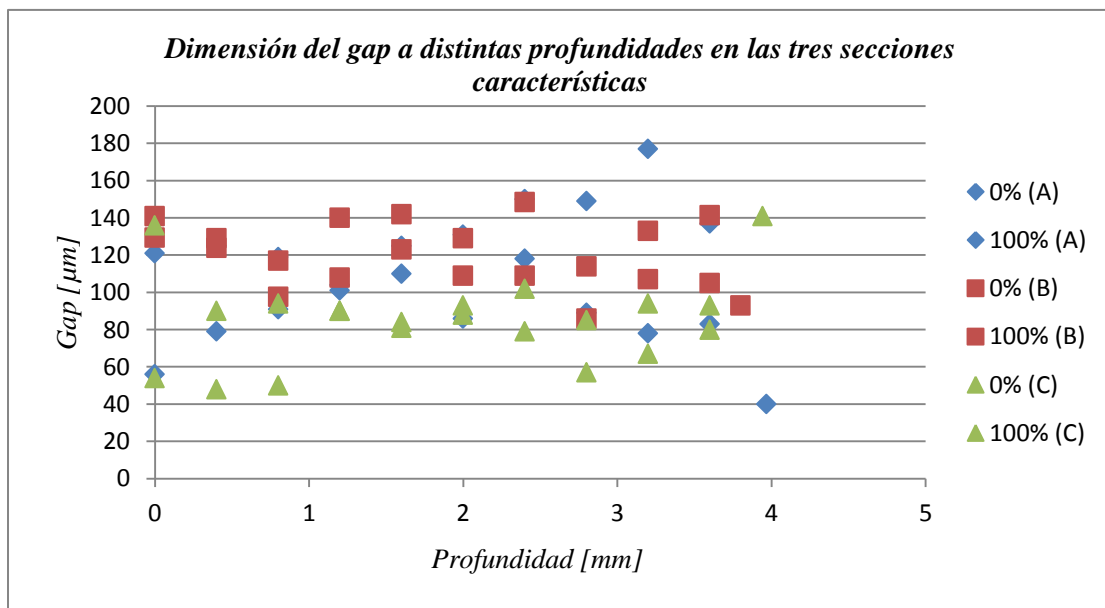
Porcentaje [%]	Gap[ $\mu\text{m}$ ]	Porcentaje [%]	Gap[ $\mu\text{m}$ ]
0	130	55	105
5	124	60	107
10	117	65	86
15	108	70	109
20	142	75	109
25	129	80	123
30	149	85	140
35	114	90	98
40	133	95	129
45	142	100	141
50	93		

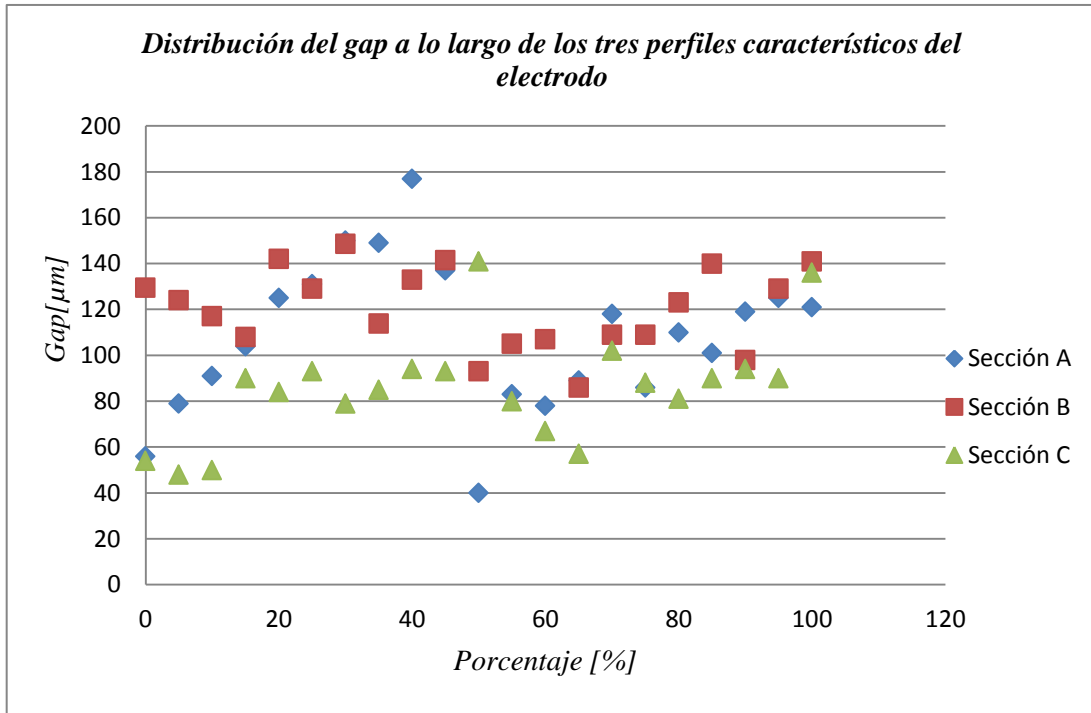
*Distribución del gap a lo largo del perfil del electrodo*

Profundidad[mm]	Gap[ $\mu$ m]	
	Sección C	
0	54	136
0,4	48	90
0,8	50	94
1,2	90	90
1,6	84	81
2	93	88
2,4	79	102
2,8	85	57
3,2	94	67
3,6	93	80
3,942	141	

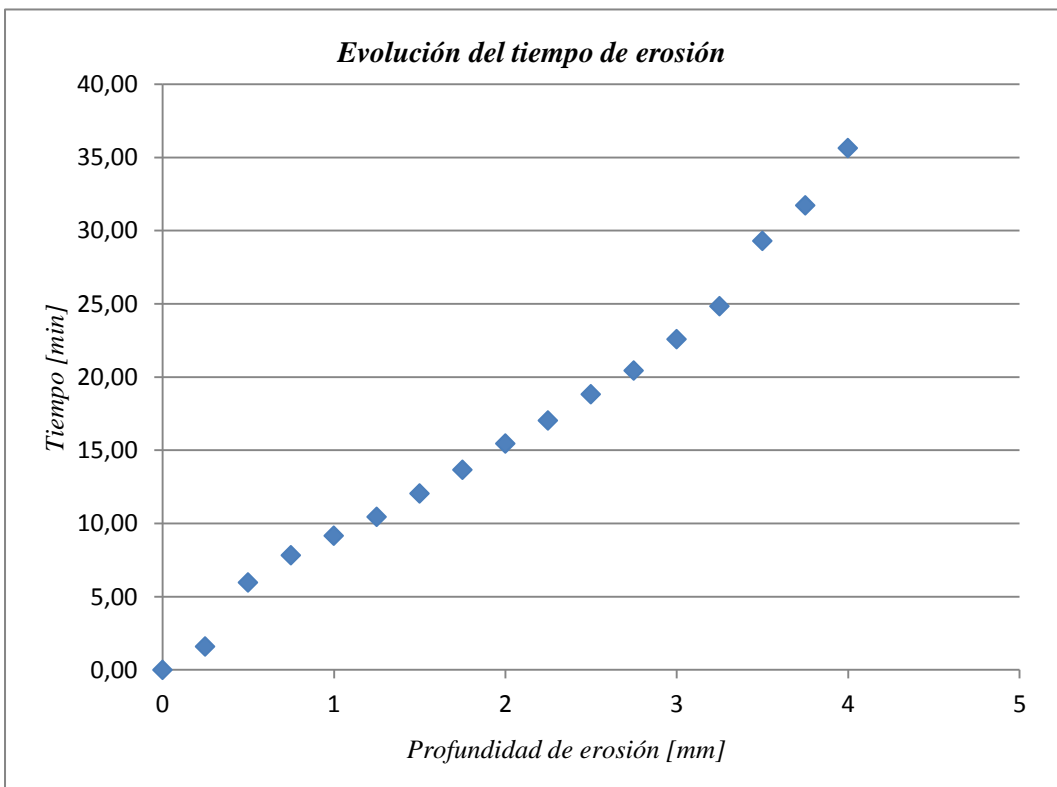
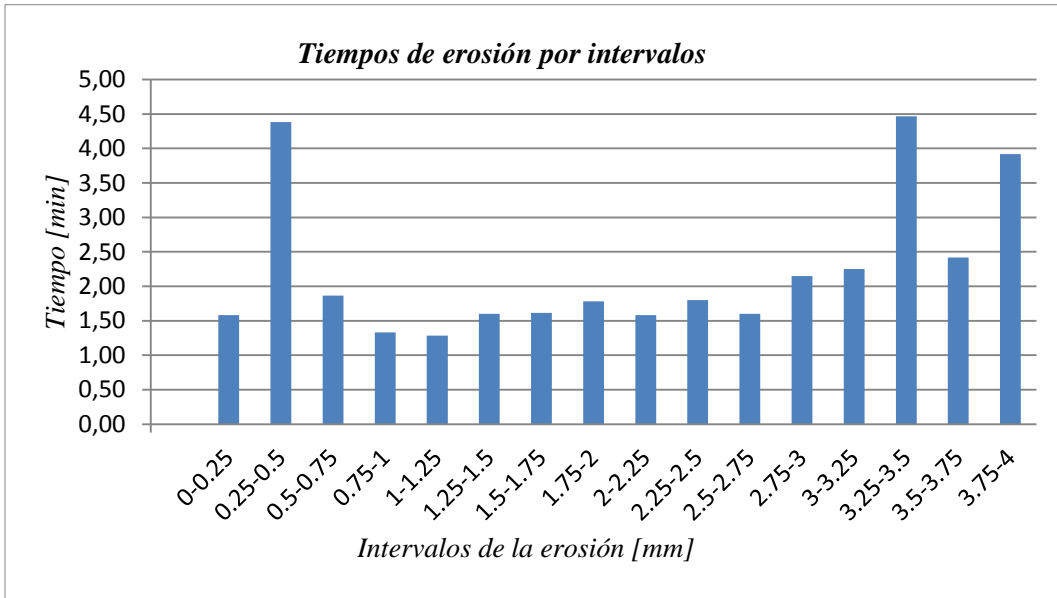
*Dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo (Sección C)*

Porcentaje [%]	Gap[ $\mu$ m]	Porcentaje [%]	Gap[ $\mu$ m]
0	54	55	80
5	48	60	67
10	50	65	57
15	90	70	102
20	84	75	88
25	93	80	81
30	79	85	90
35	85	90	94
40	94	95	90
45	93	100	136
50	141		





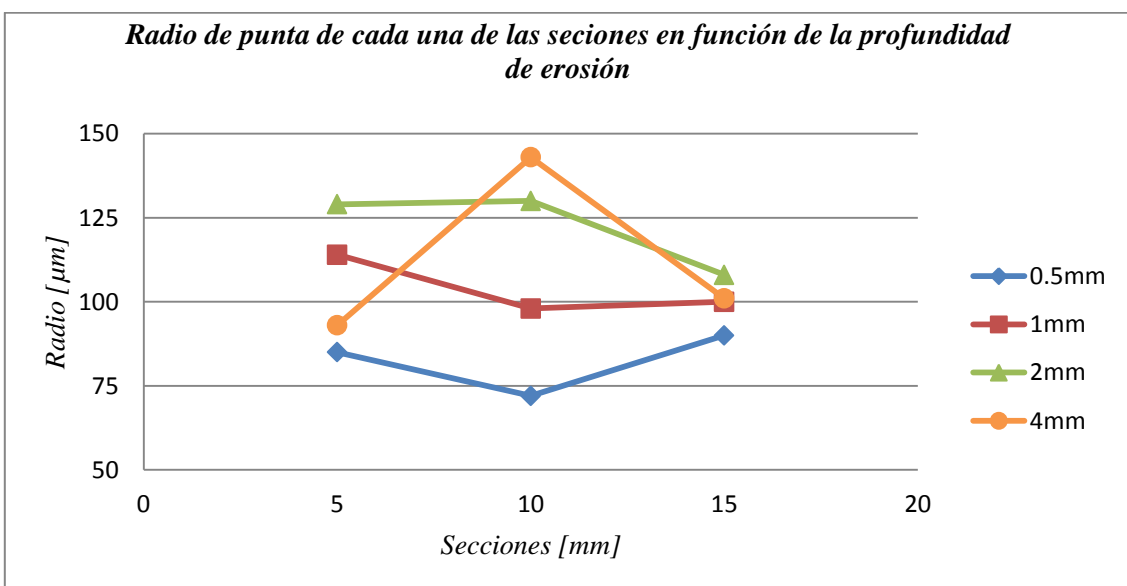
<i>Tiempos de erosión</i>						
<i>Profundidad de erosión [mm]</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Min</i>	<i>Sg</i>	<i>Time [min]</i>	<i>Tiempo por intervalo</i>
0	13:20:25	0:00:00	0	0	0,00	0,00
<b>0-0.25</b>	0,25	13:22:00	0:01:35	1	35	1,58
<b>0.25-0.5</b>	0,5	13:26:23	0:05:58	5	58	5,97
<b>0.5-0.75</b>	0,75	13:28:15	0:07:50	7	50	7,83
<b>0.75-1</b>	1	13:29:35	0:09:10	9	10	9,17
<b>1-1.25</b>	1,25	13:30:52	0:10:27	10	27	10,45
<b>1.25-1.5</b>	1,5	13:32:28	0:12:03	12	3	12,05
<b>1.5-1.75</b>	1,75	13:34:05	0:13:40	13	40	13,67
<b>1.75-2</b>	2	13:35:52	0:15:27	15	27	15,45
<b>2-2.25</b>	2,25	13:37:27	0:17:02	17	2	17,03
<b>2.25-2.5</b>	2,5	13:39:15	0:18:50	18	50	18,83
<b>2.5-2.75</b>	2,75	13:41:01	0:20:36	20	26	20,43
<b>2.75-3</b>	3	13:43:00	0:22:35	22	35	22,58
<b>3-3.25</b>	3,25	13:45:15	0:24:50	24	50	24,83
<b>3.25-3.5</b>	3,5	13:49:43	0:29:18	29	18	29,30
<b>3.5-3.75</b>	3,75	13:52:08	0:31:43	31	43	31,72
<b>3.75-4</b>	4	13:56:03	0:35:38	35	38	35,63



**5.2.1.5 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS PARA ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°**

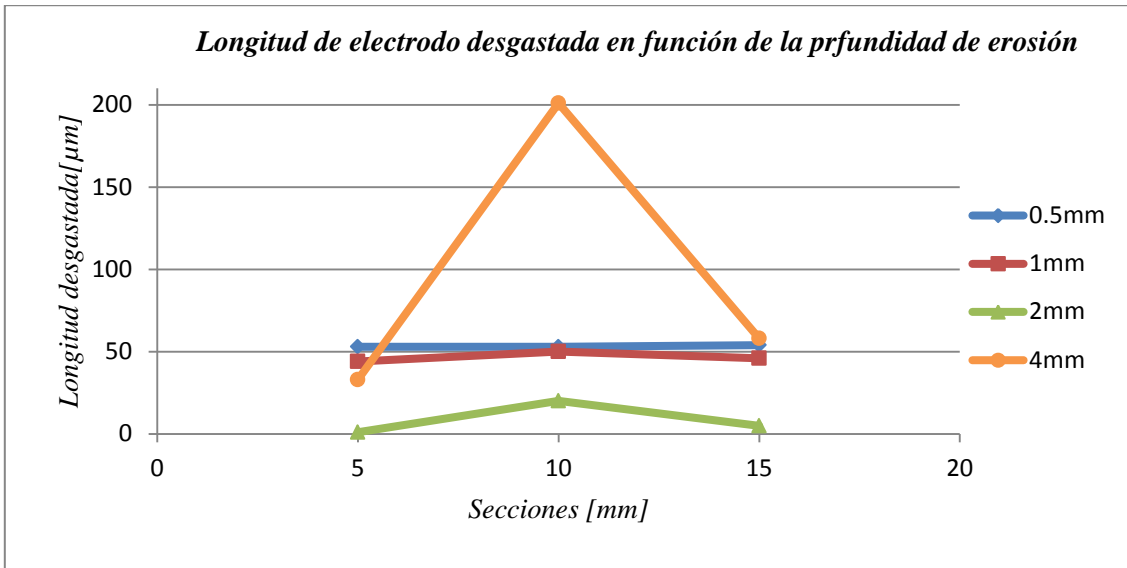
*Radio de punta ( $\mu\text{m}$ ) (media de los resultados en cada a cada profundidad de erosión)*

Secciones [mm]	0.5mm	1mm	2mm	4mm
5	85	114	129	93
10	72	98	130	143
15	90	100	108	101
Media	82.333	104	122.333	112.333



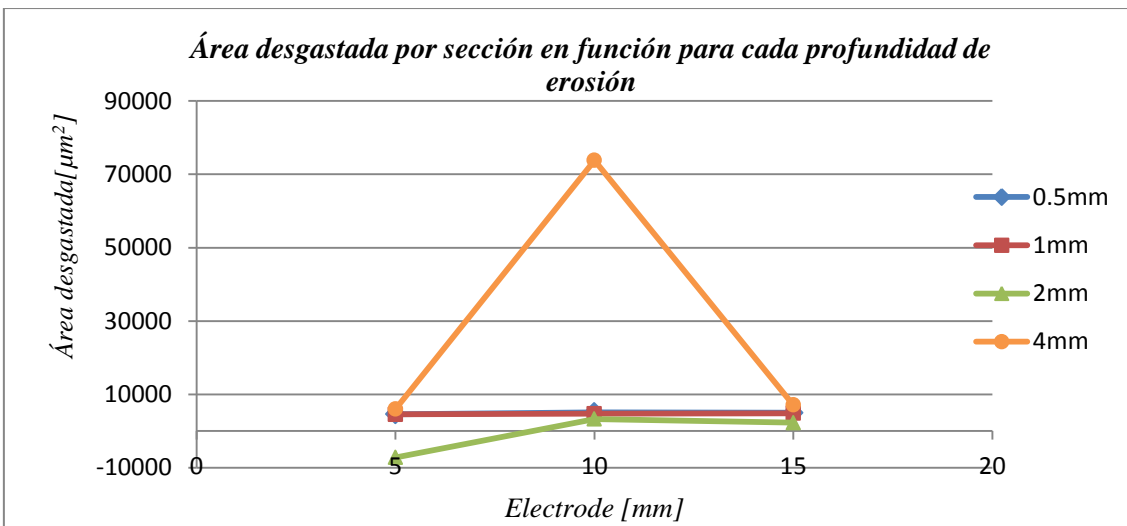
*Longitud de electrodo desgastada (media de los resultados a cada profundidad de erosión)*

Secciones [mm]	0.5mm	1mm	2mm	4mm
5	53	44	1	33
10	53	50	20	201
15	54	46	5	58



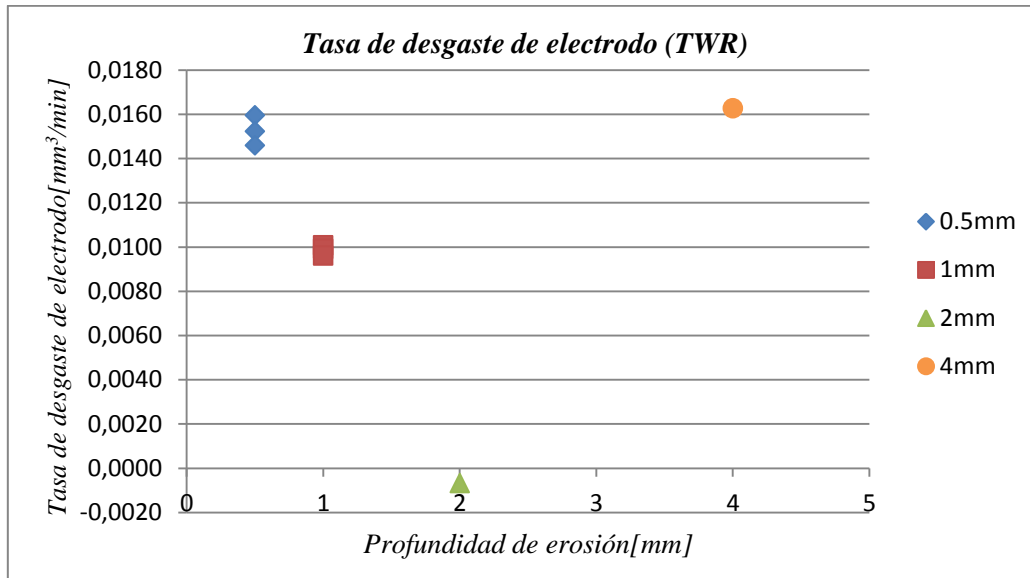
*Área desgastada por sección(  $\mu\text{m}^2$  )(media de las erosiones a cada profundidad de erosión)*

Secciones [mm]	0.5mm	1mm	2mm	4mm
5	4599	4558	-7193	6014
10	5078	4724	3304	73786
15	4975	4860	2286	7144

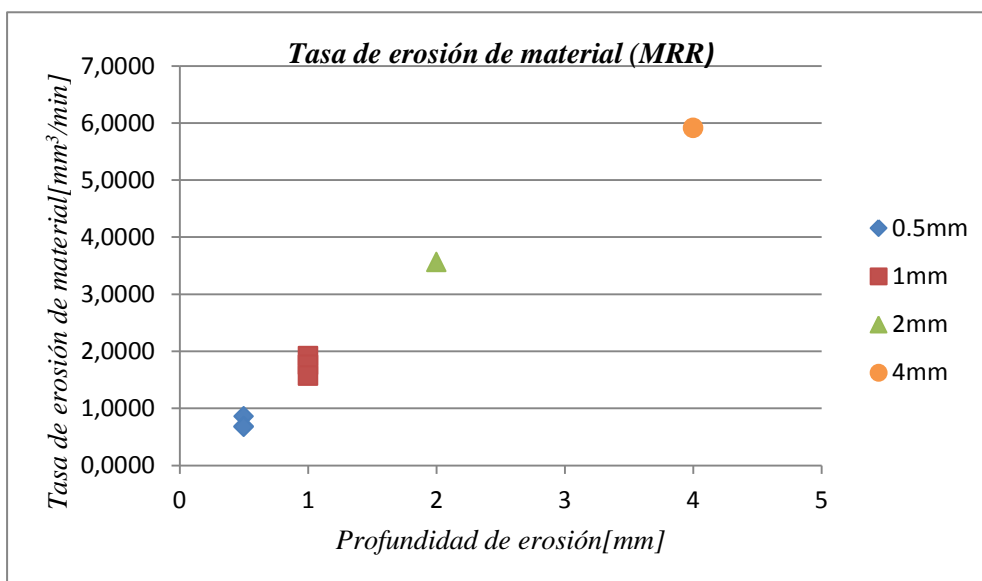




Tasa de desgaste de electrodo(TWR) (mm <sup>3</sup> /min)							
<b>0,5mm</b>	0,0159	<b>1mm</b>	0,0101	<b>2mm</b>	-0,0007	<b>4mm</b>	0,0163
<b>0,5mm</b>	0,0152	<b>1mm</b>	0,0099				
<b>0,5mm</b>	0,0146	<b>1mm</b>	0,0096				

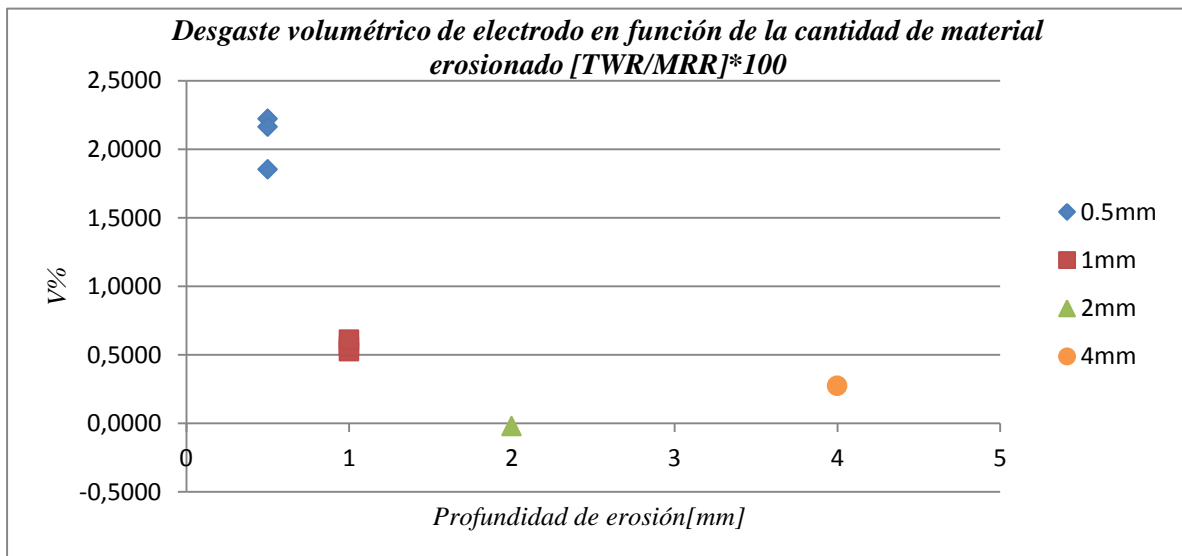


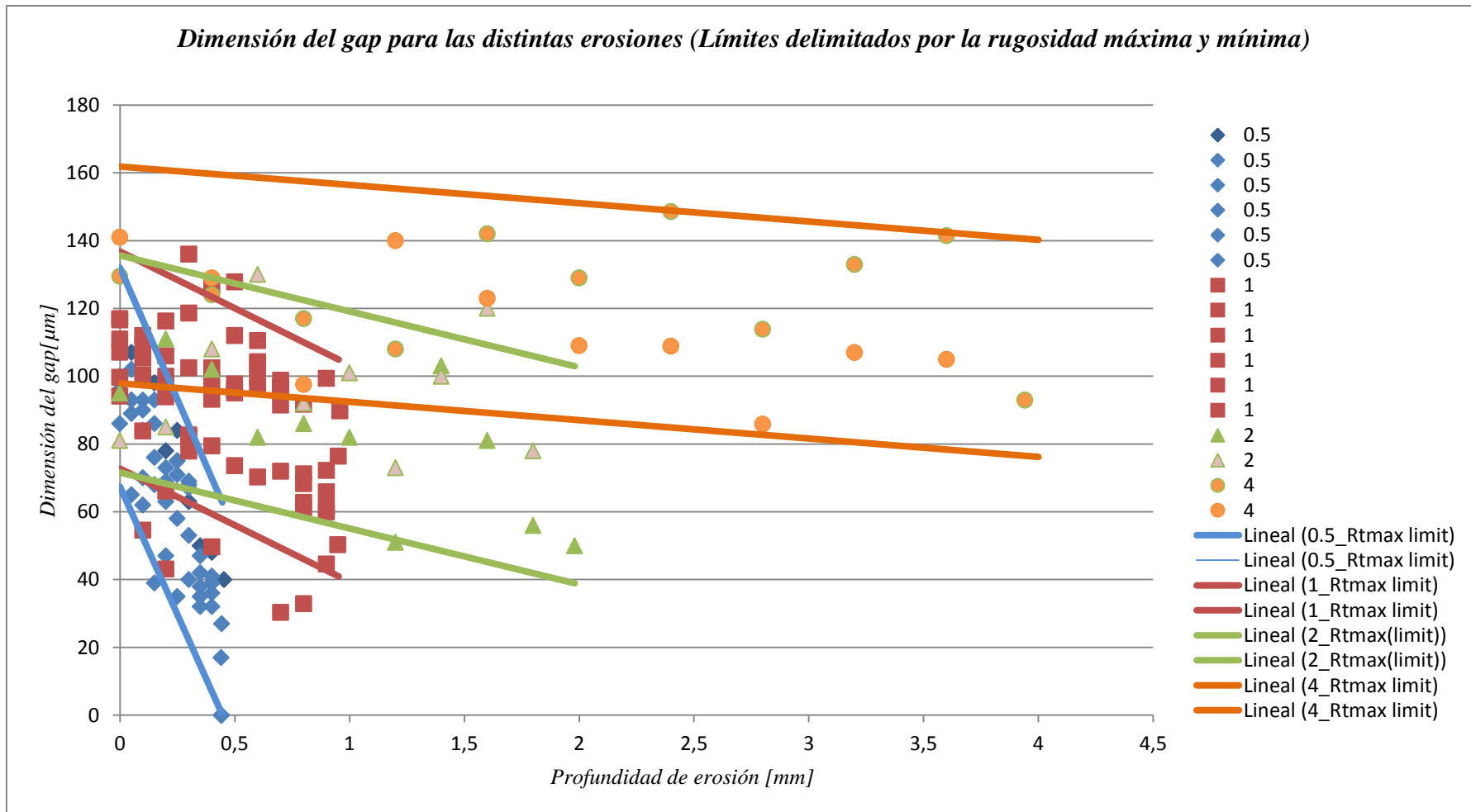
Tasa de erosión de material(mm <sup>3</sup> /min)							
<b>0,5mm</b>	0,8599	<b>1mm</b>	1,9120	<b>2mm</b>	3,5625	<b>4mm</b>	5,9129
<b>0,5mm</b>	0,6851	<b>1mm</b>	1,7591	<b>2mm</b>		<b>4mm</b>	
<b>0,5mm</b>	0,6745	<b>1mm</b>	1,5734	<b>2mm</b>		<b>4mm</b>	



*Desgaste volumétrico de electrodo en función del material erosionado [TWR/MRR]\*100*

Prof. eros.	Prof. eros.	Prof. eros.	Prof. eros.	Prof. eros.	Prof. eros.
0,5mm	1,8549	1mm	0,5269	2mm	-0,0189
0,5mm	2,2235	1mm	0,5634	2mm	4mm
0,5mm	2,1639	1mm	0,6106	2mm	4mm





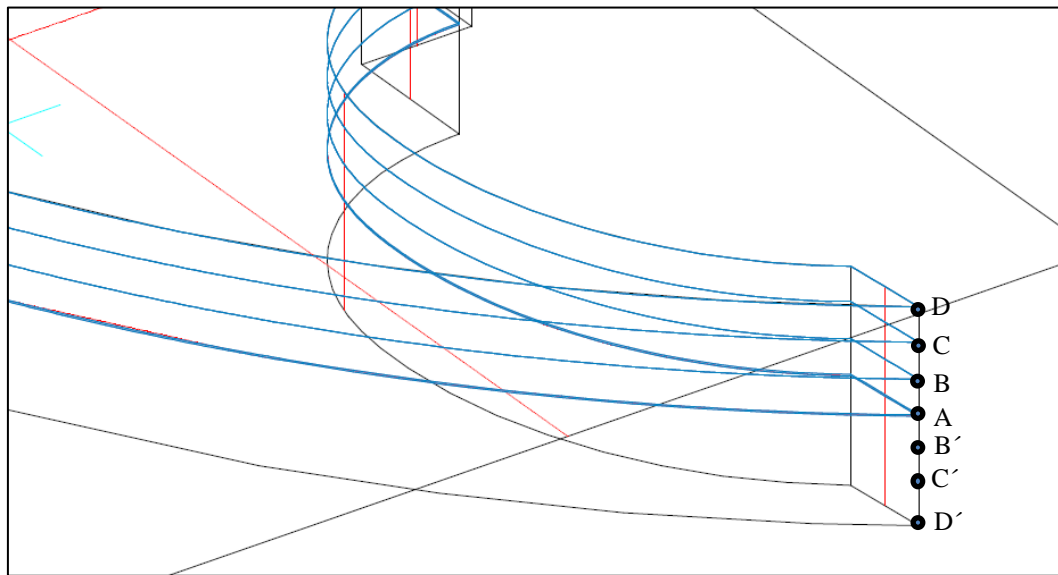
### 5.2.2. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ELECTRODOS PARA BLISK

A continuación se mostrarán los resultados correspondientes a las erosiones realizadas con electrodos para Blisk. Las mediciones estarán subdivididas en función de la tecnología de erosión empleada para cada ensayo y a su vez en función de las estrategias de erosión diseñadas para cada uno de los ensayos tal y como se muestra en la *Tabla 1* :

Las características de cada una de las estrategias de erosión quedan definidas detalladamente en el apartado (3.6.1 *Marco metodológico*).

<i>Distribución de los ensayos</i>	
<i>Tecnología de erosión empleada (VDI)</i>	<i>Estrategias de erosión</i>
VDI39	Step1
	Step2
	Step3
	Step4
VDI36	Step1
	Step2
	Step3
	Step4
VDI32	Step1
	Step2
	Step3
	Step4
VDI28	Step1
	Step2
	Step3
	Step4

*Tabla 1 Distribución de los ensayos*

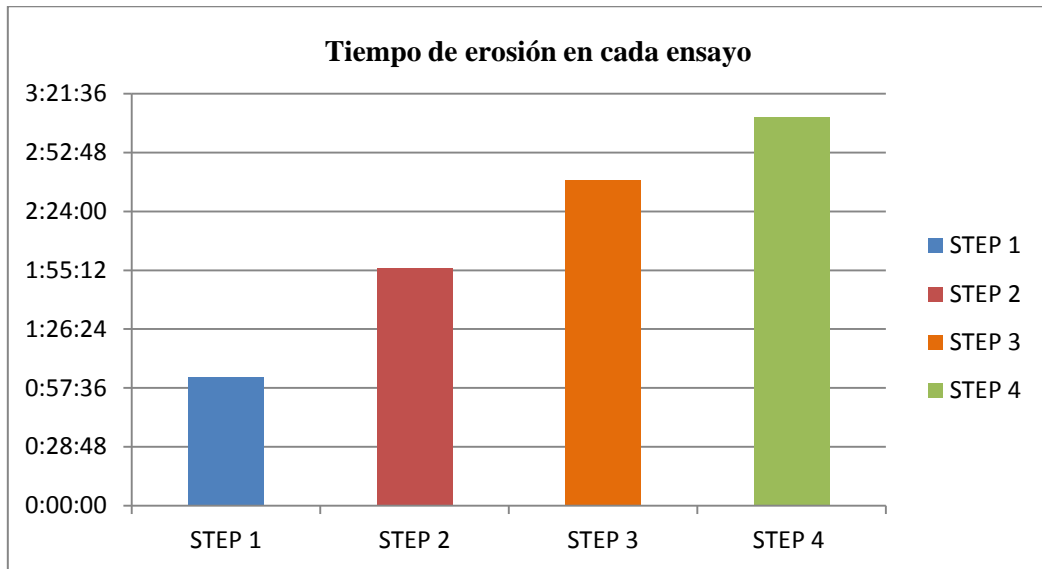


*Fig. 1 Nomenclatura de las secciones*

5.2.2.1 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 39

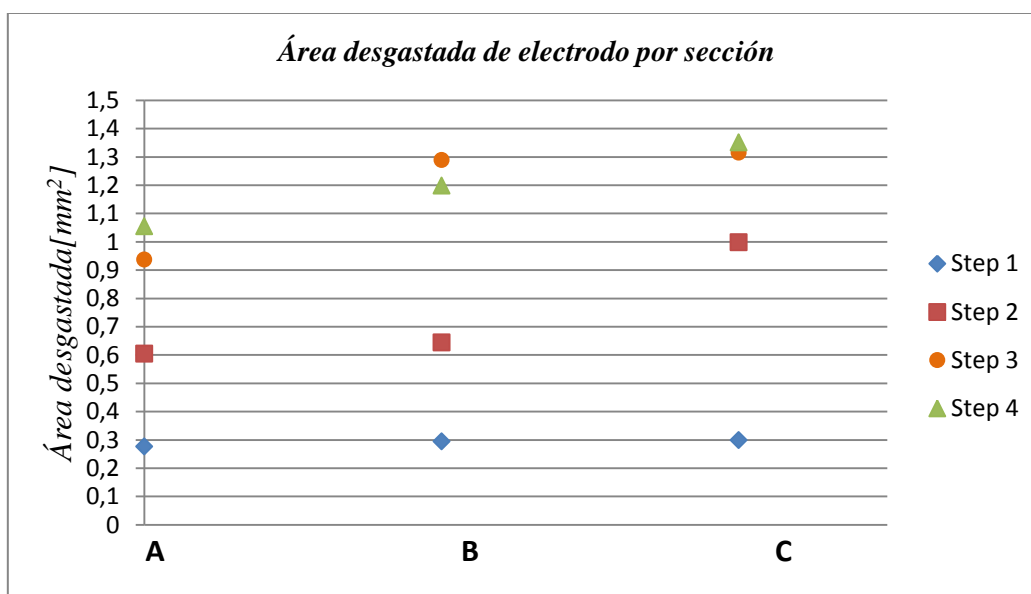
*Tiempo de erosión (horas:minutos:segundos)*

STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
1:02:40	1:56:22	2:39:04	3:10:19

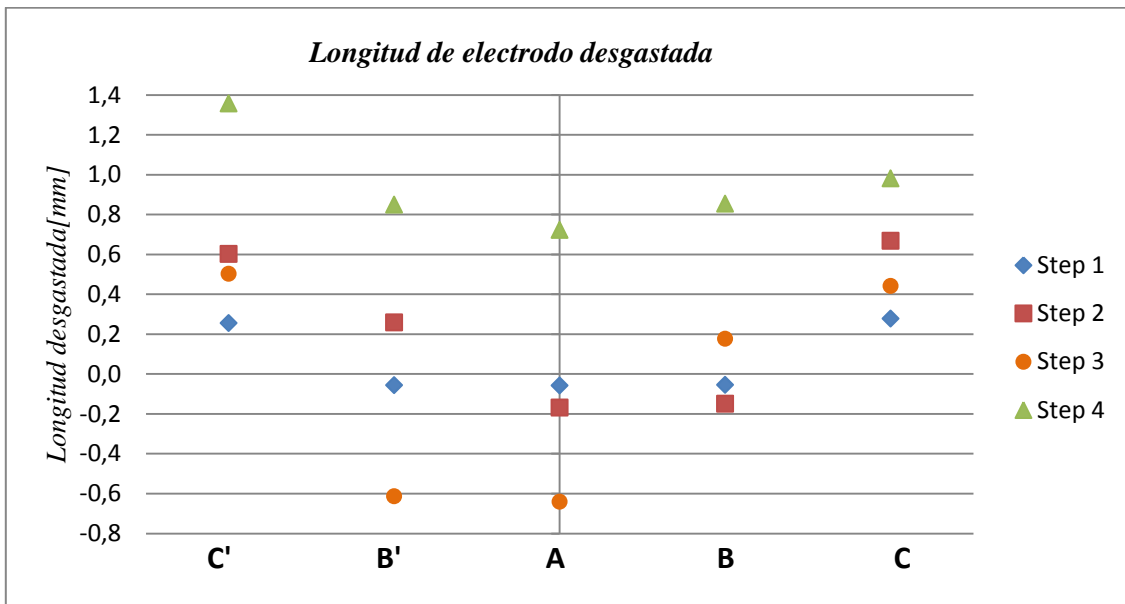


*Área desgastada de electrodo por sección mm<sup>2</sup>*

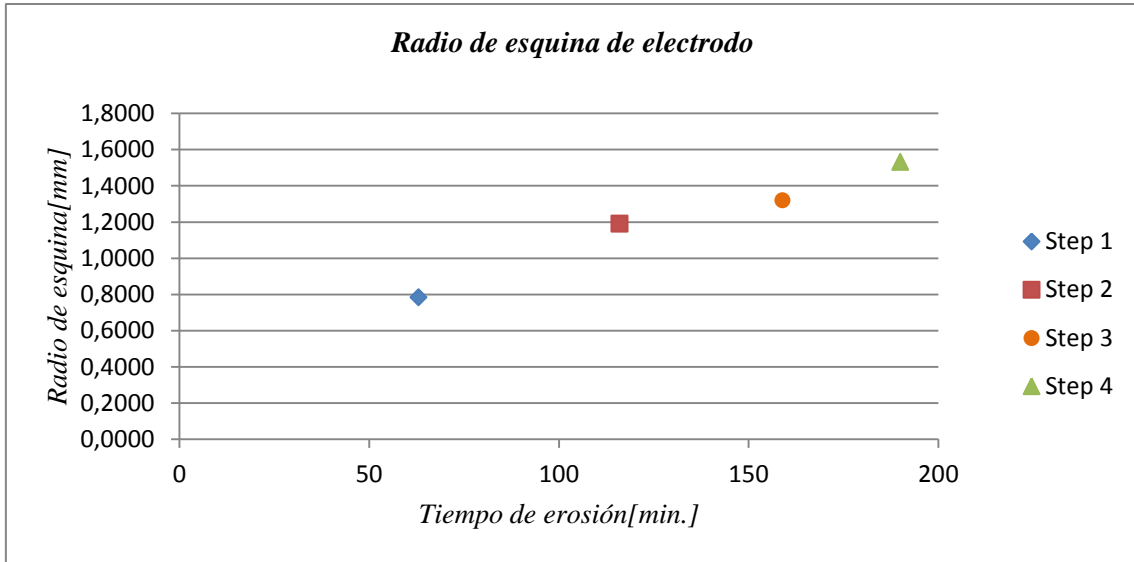
Secciones	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
A	0,2768	0,6046	0,9367	1,0543
B	0,2946	0,64394	1,2885	1,1984
C	0,29845	0,9979	1,3145	1,351
Media	0,290	0,749	1,180	1,201



<i>Longitud de electrodo desgastada [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección C'	0,256	0,602	0,503	1,357
Sección B'	-0,057	0,259	-0,613	0,849
Sección A	-0,058	-0,168	-0,641	0,723
Sección B	-0,054	-0,149	0,177	0,854
Sección C	0,278	0,668	0,442	0,982
Media	0,073	0,2424	-0,0264	0,953



<i>Radio de esquina del electrodo [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección D'	0,7845	1,1905	1,3195	1,5330
Sección D	0,7575	0,9185	1,1880	1,7190
Media	0,7710	1,0545	1,2538	1,6260
Tiempo de erosión (min.)	63	116	159	190



Dimensión del gap en los puntos a analizar

VDI 39 STEP 1					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
19	0,1907	27	0,1503	31	0,1521
21	0,2110	28	0,1724	32	0,1726
23	0,1813	29	0,1726	33	0,1724
25	0,1748	30	0,1521	-	-

Dimensión del gap en los puntos a analizar

VDI 39 STEP 2					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
19	0,1309	28	0,1710	31	0,1601
22	0,1395	29	0,1883	32	0,1883
25	0,1343	30	0,1601	33	0,1710
27	0,1509	28	0,1710	-	-

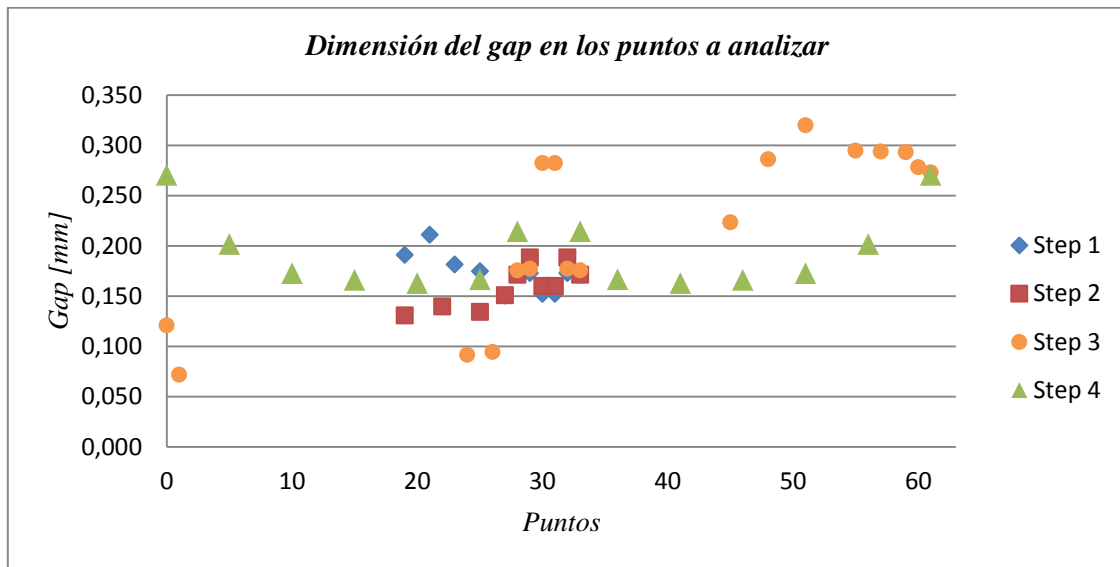
Dimensión del gap en los puntos a analizar

VDI 39 STEP 3					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
0	0,1209	31	0,2822	57	0,2937
1	0,0717	32	0,1773	59	0,2931
24	0,0914	33	0,1755	60	0,2780
26	0,0945	45	0,2234	61	0,2731
28	0,1755	48	0,2860	-	-
29	0,1773	51	0,3200	-	-
30	0,2822	55	0,2948	-	-



Dimensión del gap en los puntos a analizar

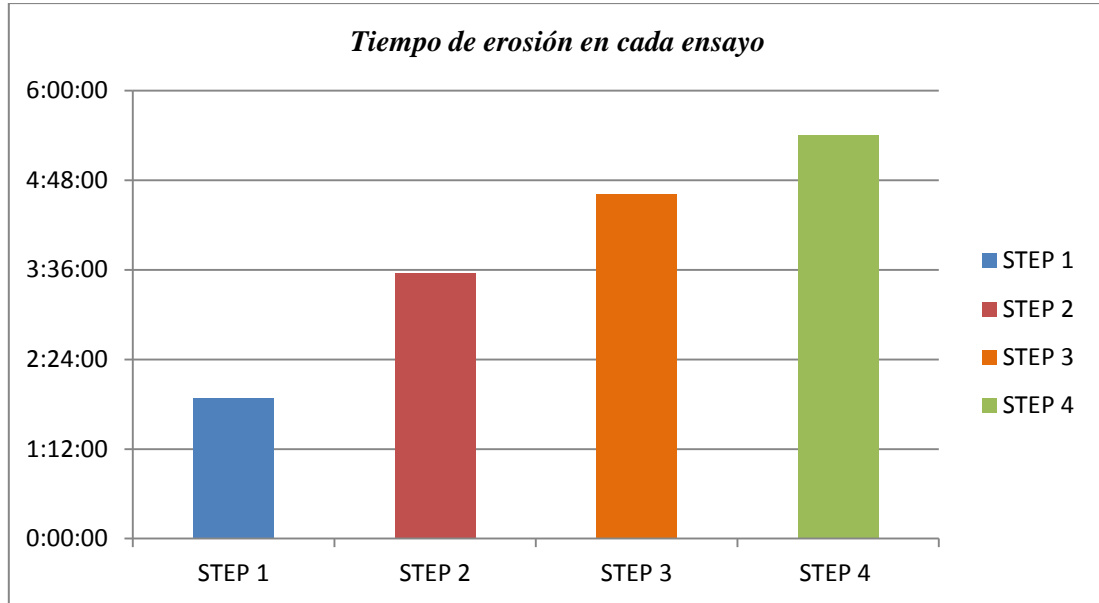
VDI 39 STEP 4					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
0	0,2706	25	0,1668	46	0,1660
5	0,2017	28	0,2145	51	0,1726
10	0,1726	33	0,2145	56	0,2017
15	0,1660	36	0,1668	61	0,2706
20	0,1628	41	0,1628	-	-



5.2.2.2 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 36

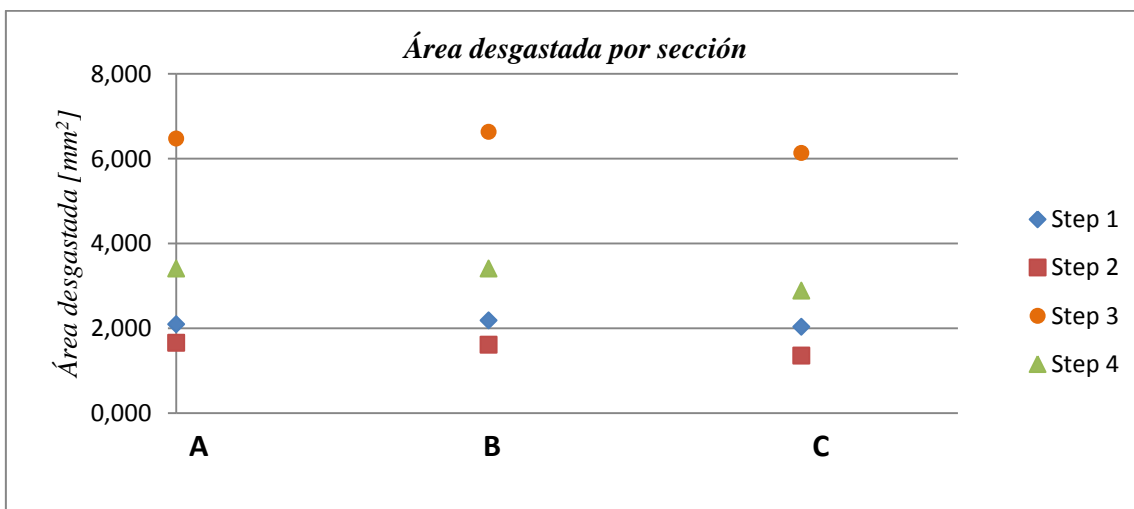
Tiempo de erosión (horas:minutos:segundos)

STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
1:53:00	3:33:29	4:37:09	5:24:04

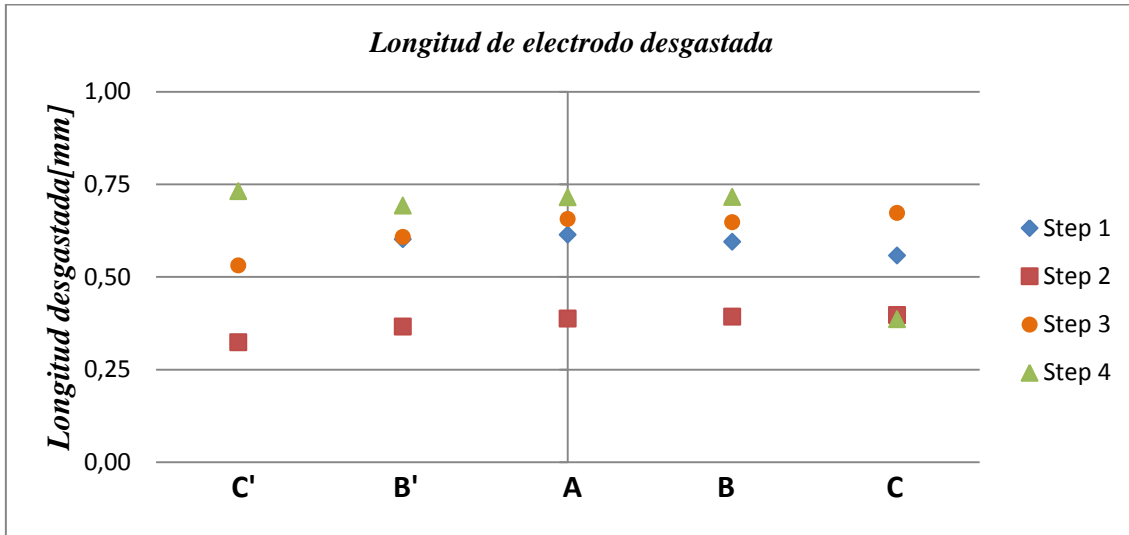


Área desgastada de electrodo por sección mm<sup>2</sup>

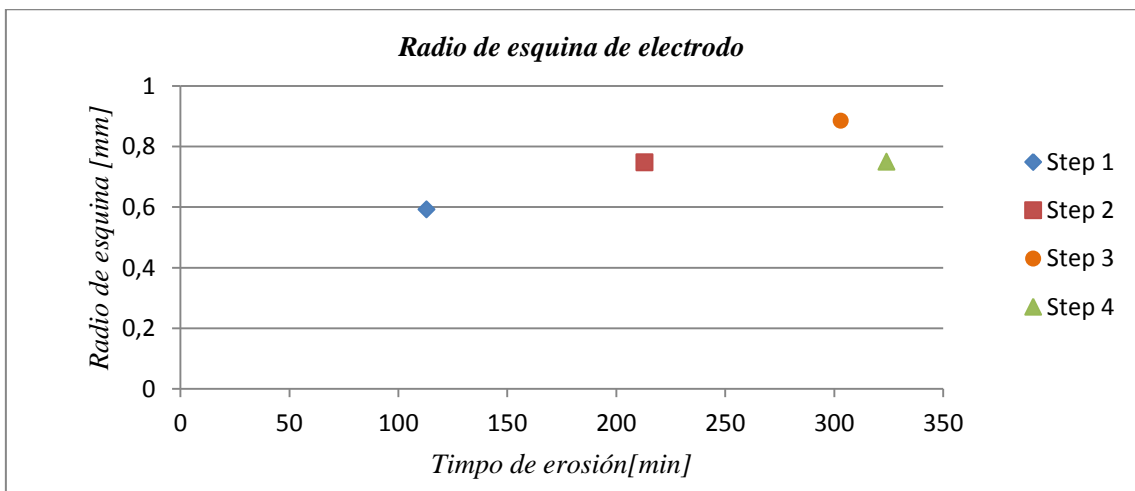
Secciones	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
A	2,091	1,652	6,474	3,406
B	2,183	1,614	6,636	3,406
C	2,037	1,354	6,131	2,887
Media	2,104	1,540	6,414	3,233



<i>Longitud de electrodo desgastada [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección C'	-0,148	0,324	0,531	0,732
Sección B'	0,602	0,366	0,608	0,693
Sección A	0,614	0,388	0,656	0,715
Sección B	0,595	0,393	0,648	0,716
Sección C	0,558	0,397	0,673	0,386
Media	0,444	0,374	0,623	0,648



<i>Radio de esquina del electrodo [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección D'	0,7845	1,1905	1,3195	1,5330
Sección D	0,7575	0,9185	1,1880	1,7190
Media	0,7710	1,0545	1,2538	1,6260
Tiempo de erosión (min.)	63	116	159	190



*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 36 STEP 1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
17	0,0173	25	0,0768	30	0,0995
19	0,0431	27	0,0967	31	0,0995
21	0,0628	28	0,1136	32	0,1118
23	0,0747	29	0,1118	33	0,1136

*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

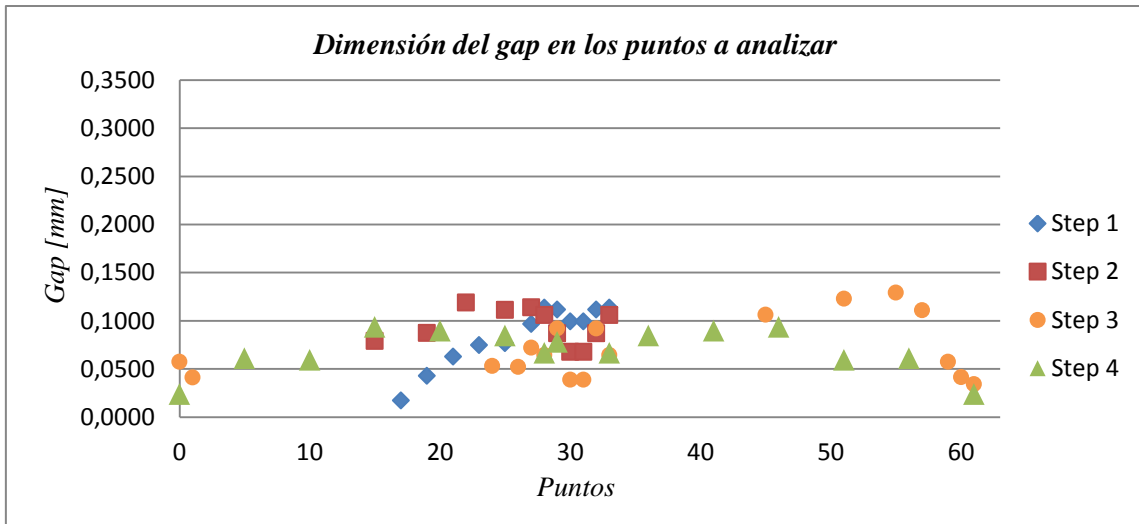
<b>VDI 36 STEP 2</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
15	0,0792	27	0,1142	31	0,0679
19	0,0875	28	0,1060	32	0,0873
22	0,1192	29	0,0873	33	0,1060
25	0,1115	30	0,0679	-	-

*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 36 STEP 3</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
0	0,0577	30	0,0391	57	0,1113
1	0,0412	31	0,0391	59	0,0577
24	0,0532	32	0,0922	60	0,0417
26	0,0522	33	0,0647	61	0,0345
27	0,0721	45	0,1066	-	-
28	0,0647	51	0,1230	-	-
29	0,0922	55	0,1293	-	-

*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

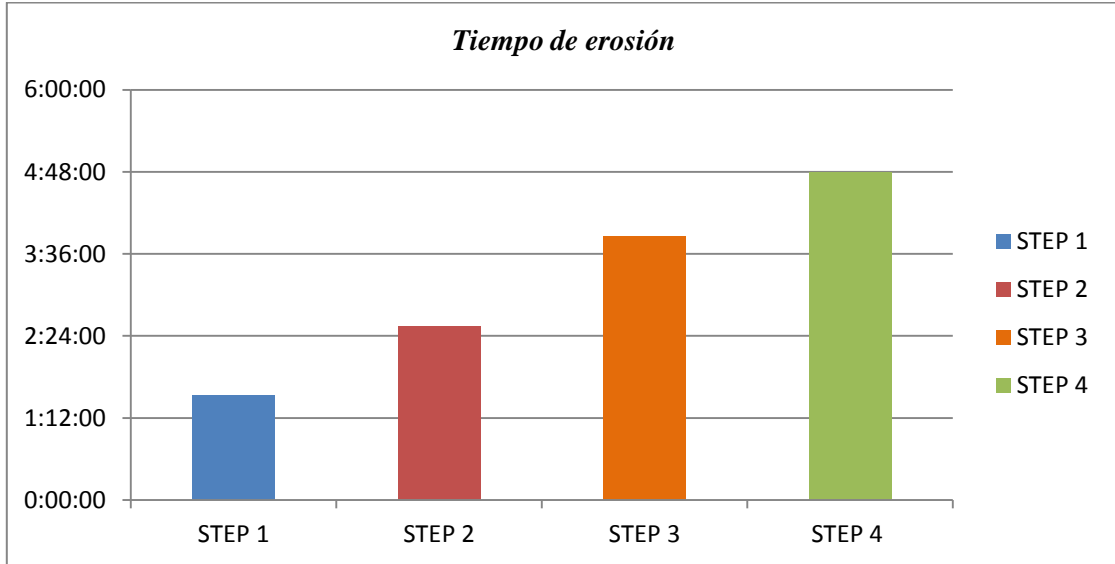
<b>VDI 36 STEP 4</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
0	0,0242	25	0,0847	41	0,0899
5	0,0612	28	0,0670	46	0,0940
10	0,0596	29	0,0781	51	0,0596
15	0,0940	33	0,0670	56	0,0612
20	0,0899	36	0,0847	61	0,0242



5.2.2.3 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 32

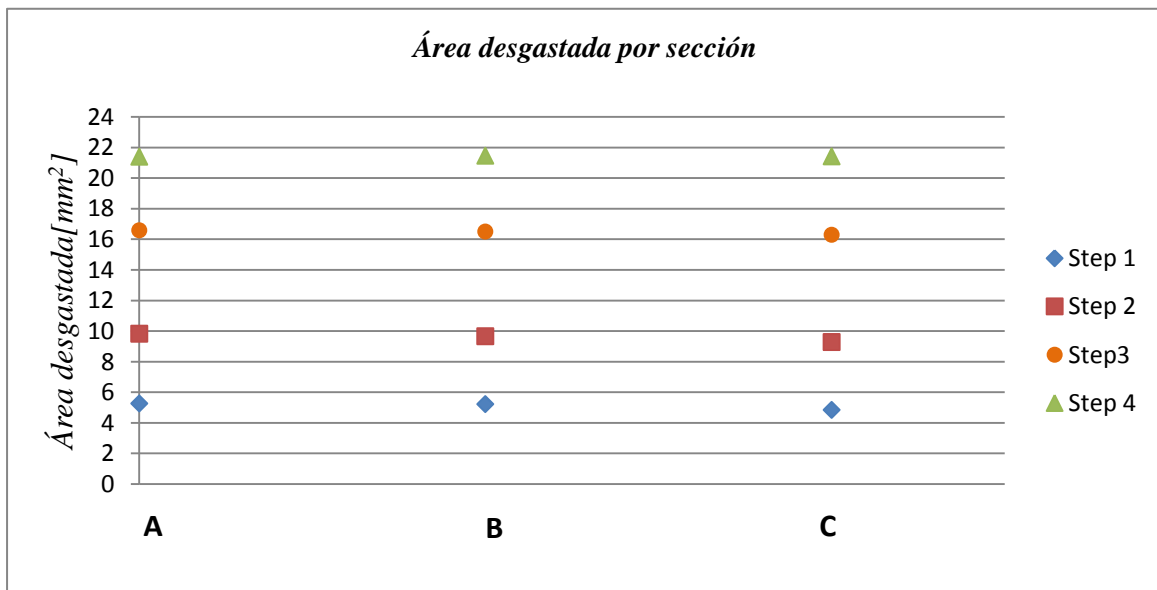
Tiempo de erosión (horas:minutos:segundos)

STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
1:31:28	2:32:04	3:51:02	4:47:49

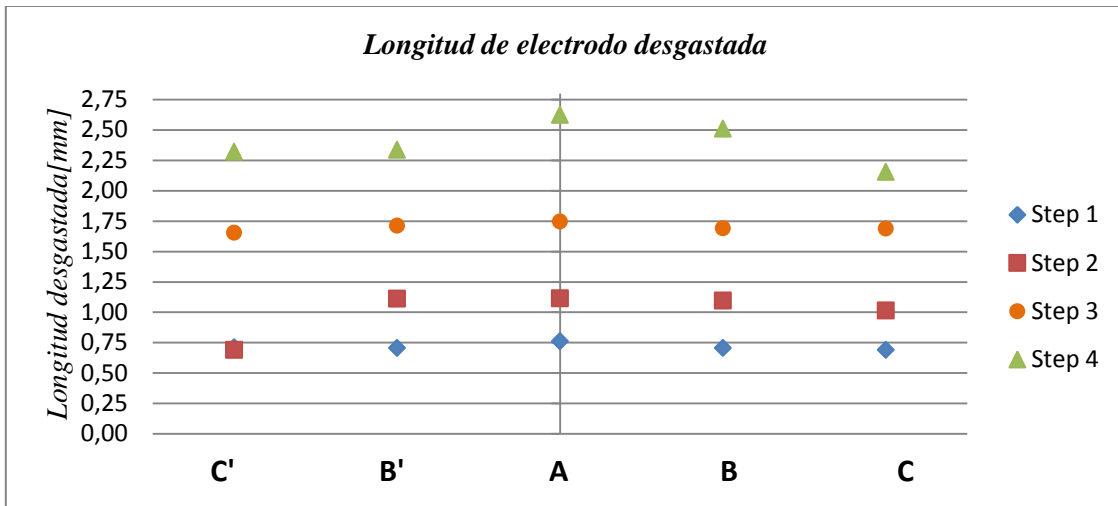


Área desgastada de electrodo por sección mm<sup>2</sup>

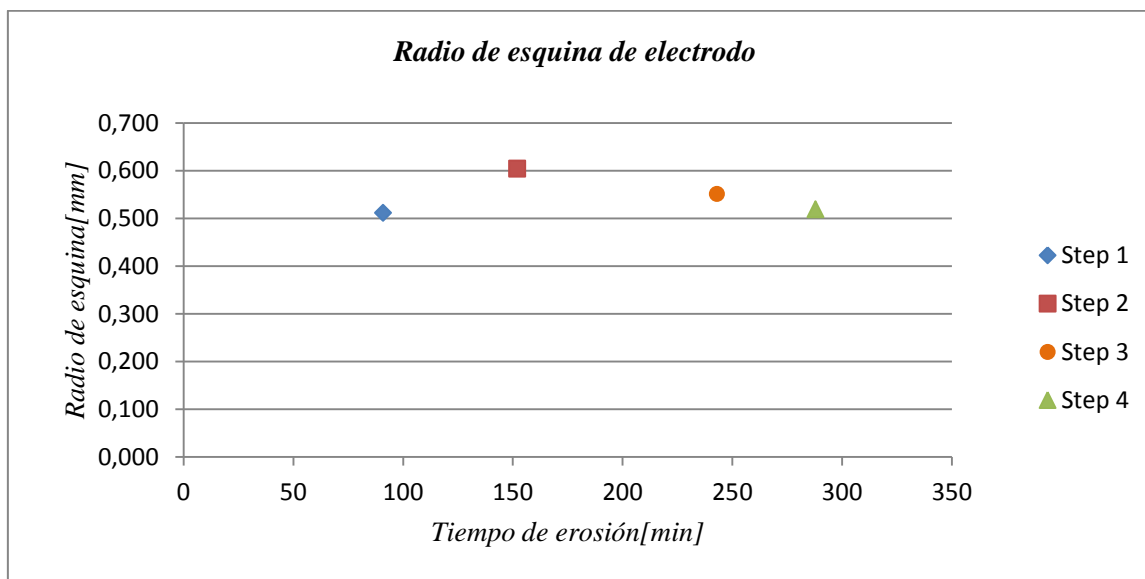
Secciones	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
A	5,261	9,815	16,586	21,3972
B	5,228	9,659	16,505	21,467
C	4,845	9,289	16,289	21,4188
Media	5,111	9,588	16,460	21,428



<i>Longitud de electrodo desgastada [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección C'	0,709	0,688	1,652	2,32
Sección B'	0,705	1,111	1,71	2,336
Sección A	0,76	1,112	1,744	2,622
Sección B	0,706	1,096	1,69	2,509
Sección C	0,688	1,012	1,686	2,154
Media	0,714	1,004	1,696	2,388



<i>Radio de esquina del electrodo [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección D'	0,000	0,000	0,552	0,519
Sección D	0,512	0,604	0,000	0,398
Media	0,512	0,604	0,552	0,458
Tiempo de erosión (min.)	91	152	243	288



*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 32 STEP 1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
17	0,0431	25	0,0856	30	0,0709
19	0,0638	27	0,0753	31	0,0709
21	0,0513	28	0,0646	32	0,0901
23	0,0787	29	0,0901	33	0,0646

*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 32 STEP 2</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
15	0,0079	27	0,1107	33	0,0863
19	0,0231	28	0,0863	-	-
22	0,0367	29	0,0744	-	-
25	0,0630	32	0,0744	-	-

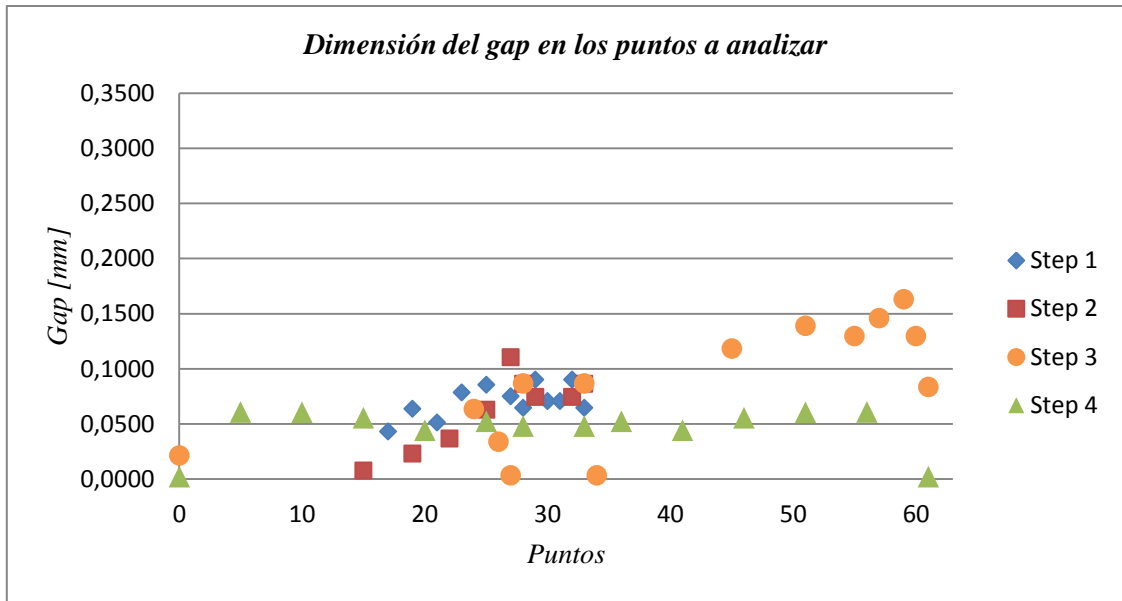
*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 32 STEP 3</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
0	0,0214	45	0,1185	-	-
24	0,0636	51	0,1390	-	-
26	0,0339	55	0,1296	-	-
27	0,0035	57	0,1461	-	-
28	0,0866	59	0,1632	-	-
33	0,0866	60	0,1296	-	-
34	0,0035	61	0,0837	-	-

*Dimensión del gap en los puntos a analizar*

<b>VDI 32 STEP 4</b>					
<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>	<b>Punto</b>	<b>Gap[mm]</b>
0	0,0022	25	0,0525	46	0,0557
5	0,0610	28	0,0481	51	0,0607
10	0,0607	33	0,0481	56	0,0610
15	0,0557	36	0,0525	61	0,0022
20	0,0443	41	0,0443	-	-

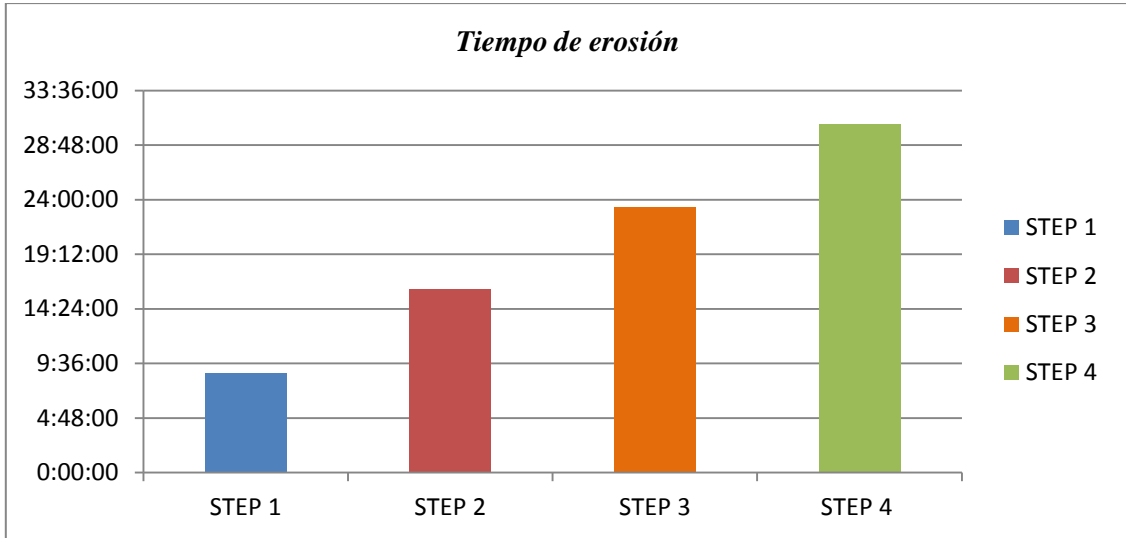




5.2.2.4 RESULTADOS DE LAS EROSIONES EMPLEANDO UN VDI 28

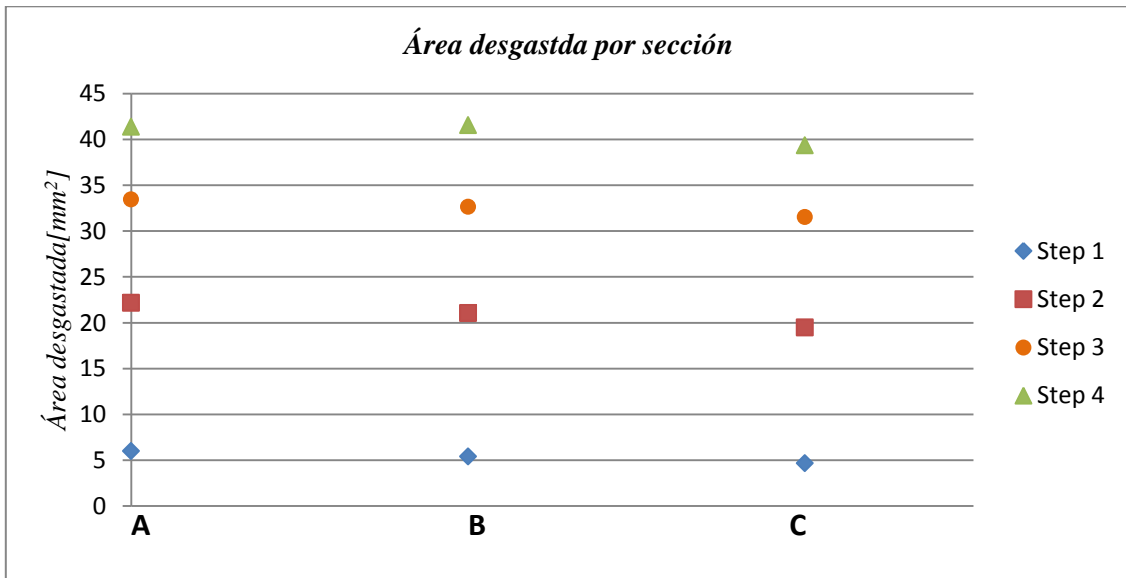
Tiempo de erosión (horas:minutos:segundos)

STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
8:45:43	16:08:27	23:21:25	30:39:27

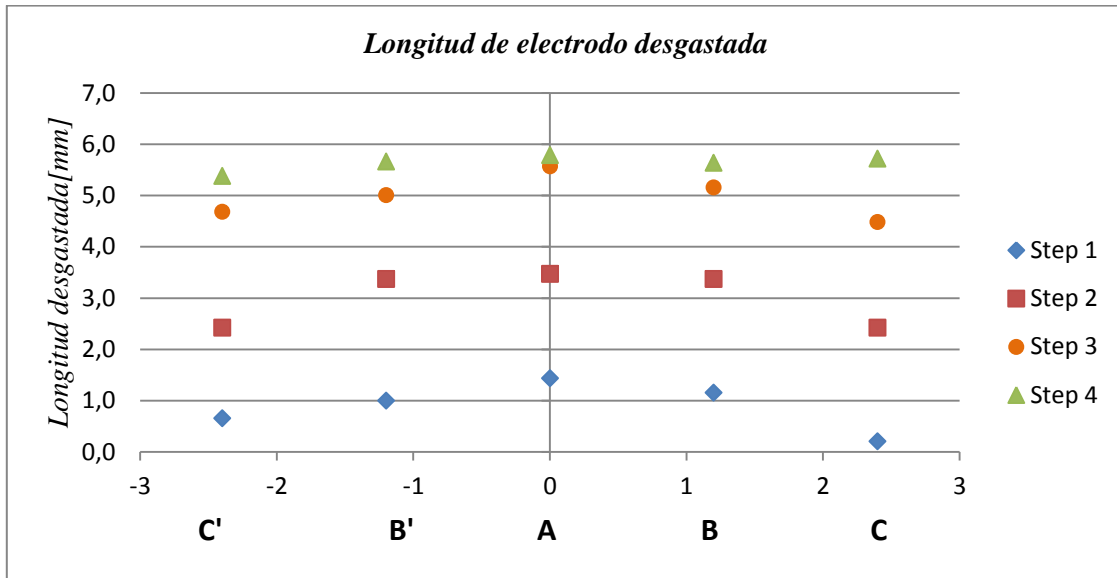


Área desgastada de electrodo por sección mm<sup>2</sup>

Secciones	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
A	5,982	22,176	33,449	41,389
B	5,422	21,064	32,639	41,548
C	4,687	19,492	31,526	39,362
Media	5,364	20,911	32,538	40,766

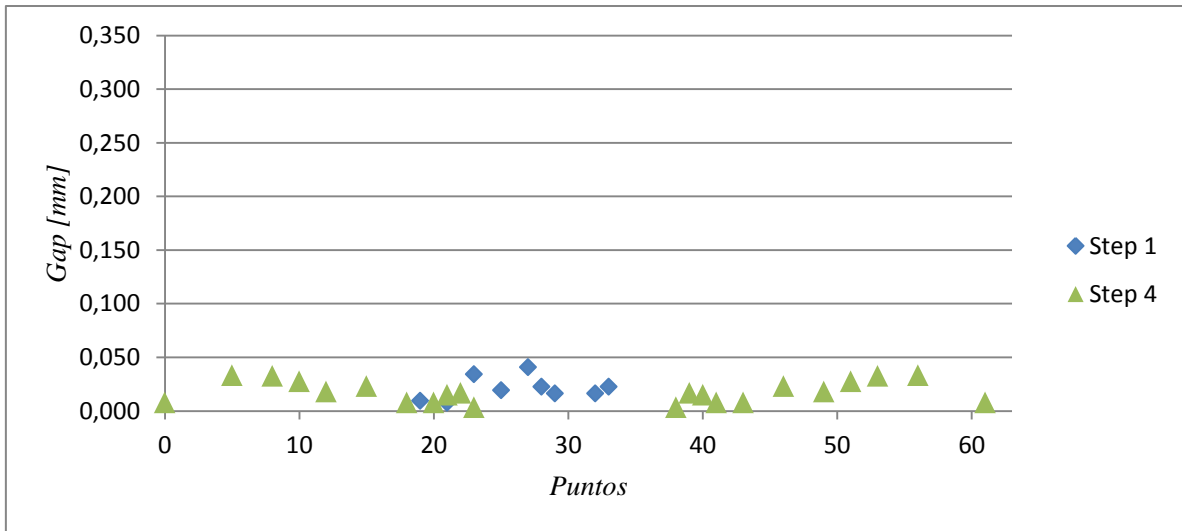


<i>Longitud de electrodo desgastada [mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Sección C'	0,653	2,42	4,679	5,379
Sección B'	0,997	3,367	5,003	5,662
Sección A	1,436	3,472	5,566	5,788
Sección B	1,153	3,368	5,155	5,635
Sección C	0,201	2,422	4,48	5,716
Media	0,888	3,0098	4,9766	5,636



<i>Dimensión del gap en los puntos a analizar</i>					
<b>VDI 28 STEP 1</b>					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
19	0,010	27	0,041	33	0,023
21	0,008	28	0,023	-	-
23	0,034	29	0,016	-	-
25	0,020	32	0,016	-	-

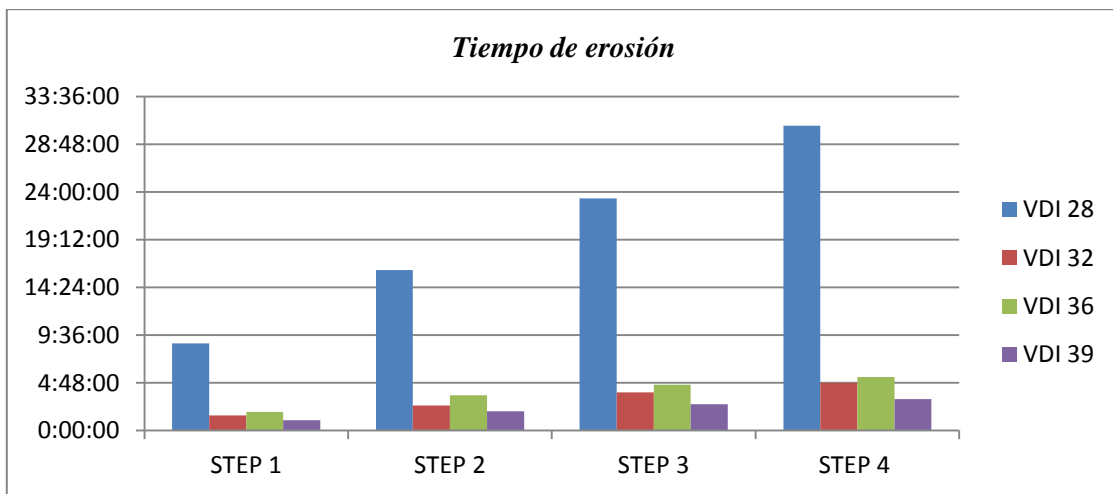
<i>Dimensión del gap en los puntos a analizar</i>					
<b>VDI 28 STEP 4</b>					
Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]	Punto	Gap[mm]
0	0,00817317	21	0,01514099	46	0,02317137
5	0,03345694	22	0,01704031	49	0,0183413
8	0,03294906	23	0,00360722	51	0,02782357
10	0,02782357	38	0,00360722	53	0,03294906
12	0,0183413	39	0,01704031	56	0,03345694
15	0,02317137	40	0,01514099	61	0,00817317
18	0,00821672	41	0,00822339	-	-
20	0,00822339	43	0,00821672	-	-



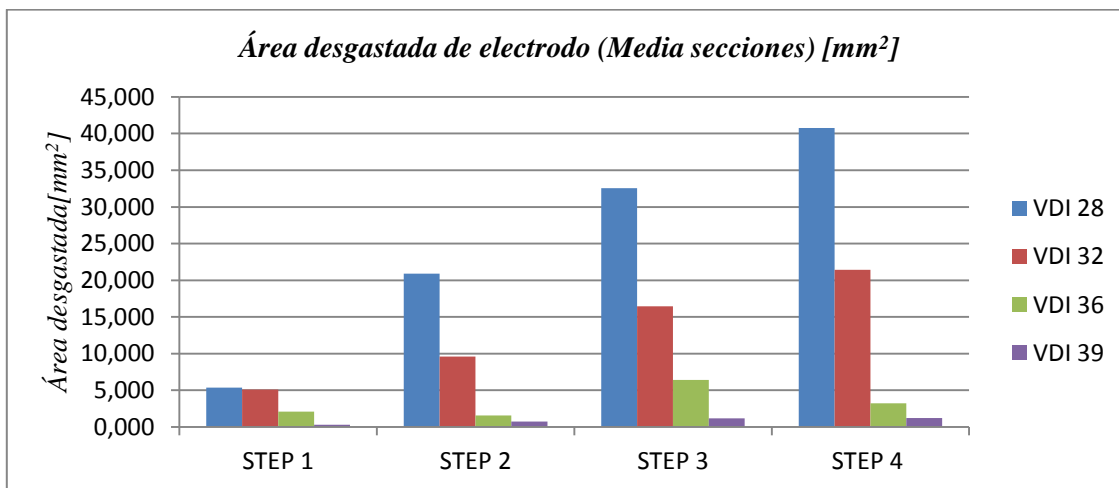
### 5.2.3 COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS PARA LAS DISTINTAS EROSIONES CON ELECTRODOS PARA BLISK

#### 5.2.3.1 DESGASTE DE ELECTRODO

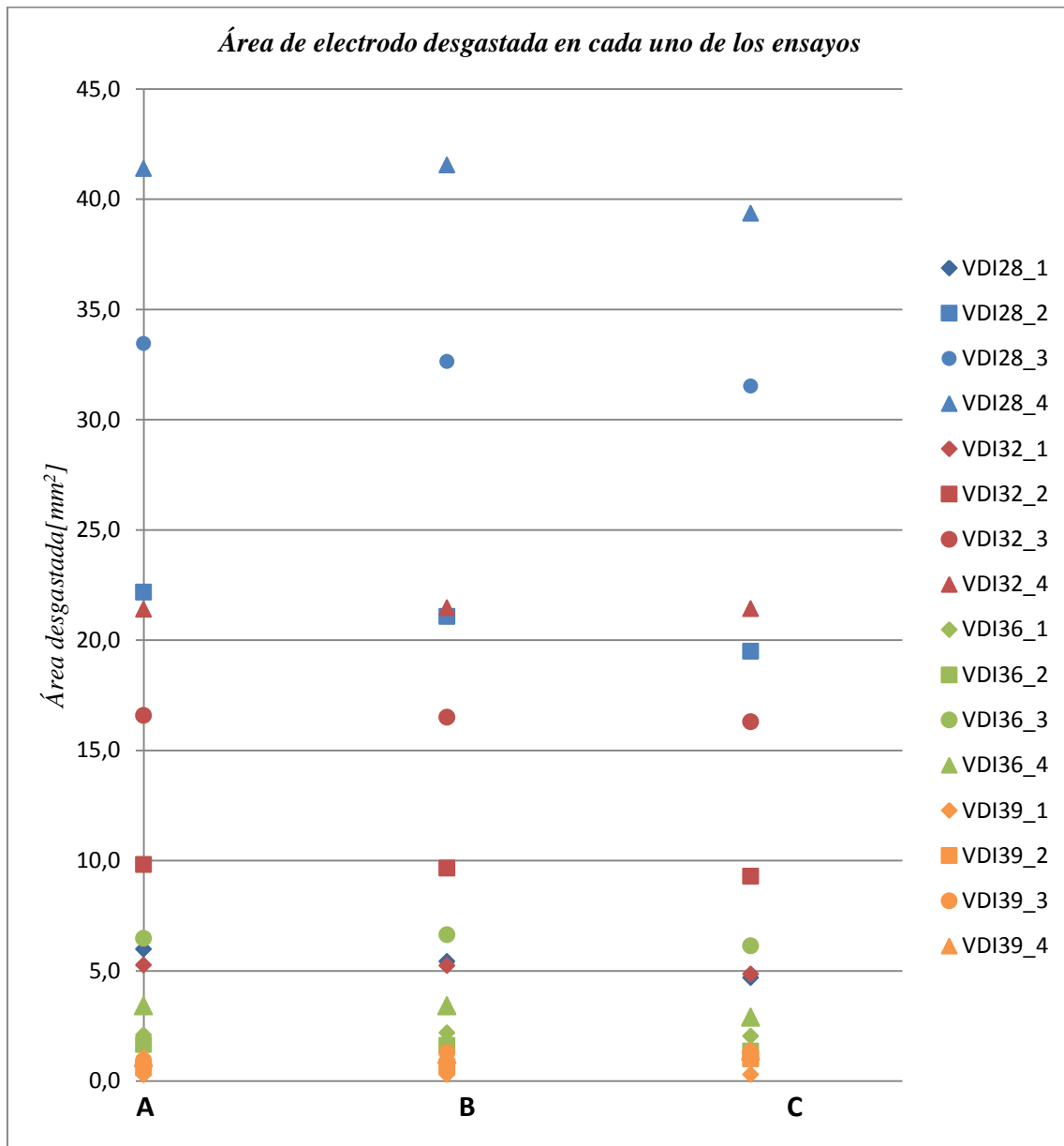
<i>Tiempo de erosión</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>VDI 28</b>	8:45:43	16:08:27	23:21:25	30:39:27
<b>VDI 32</b>	1:31:28	2:32:04	3:51:02	4:47:49
<b>VDI 36</b>	1:53:00	3:33:29	4:37:09	5:24:04
<b>VDI 39</b>	1:02:40	1:56:22	2:39:04	3:10:19



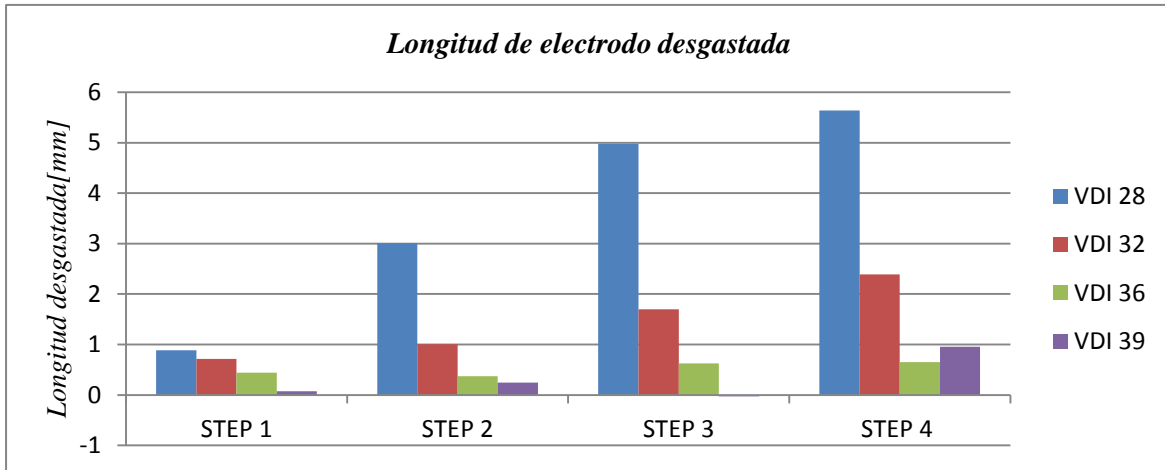
<i>Área desgastada de electrodo (Media secciones) [mm<sup>2</sup>]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>VDI 28</b>	5,364	20,911	32,538	40,766
<b>VDI 32</b>	5,111	9,588	16,460	21,428
<b>VDI 36</b>	2,104	1,540	6,414	3,233
<b>VDI 39</b>	0,290	0,749	1,180	1,201



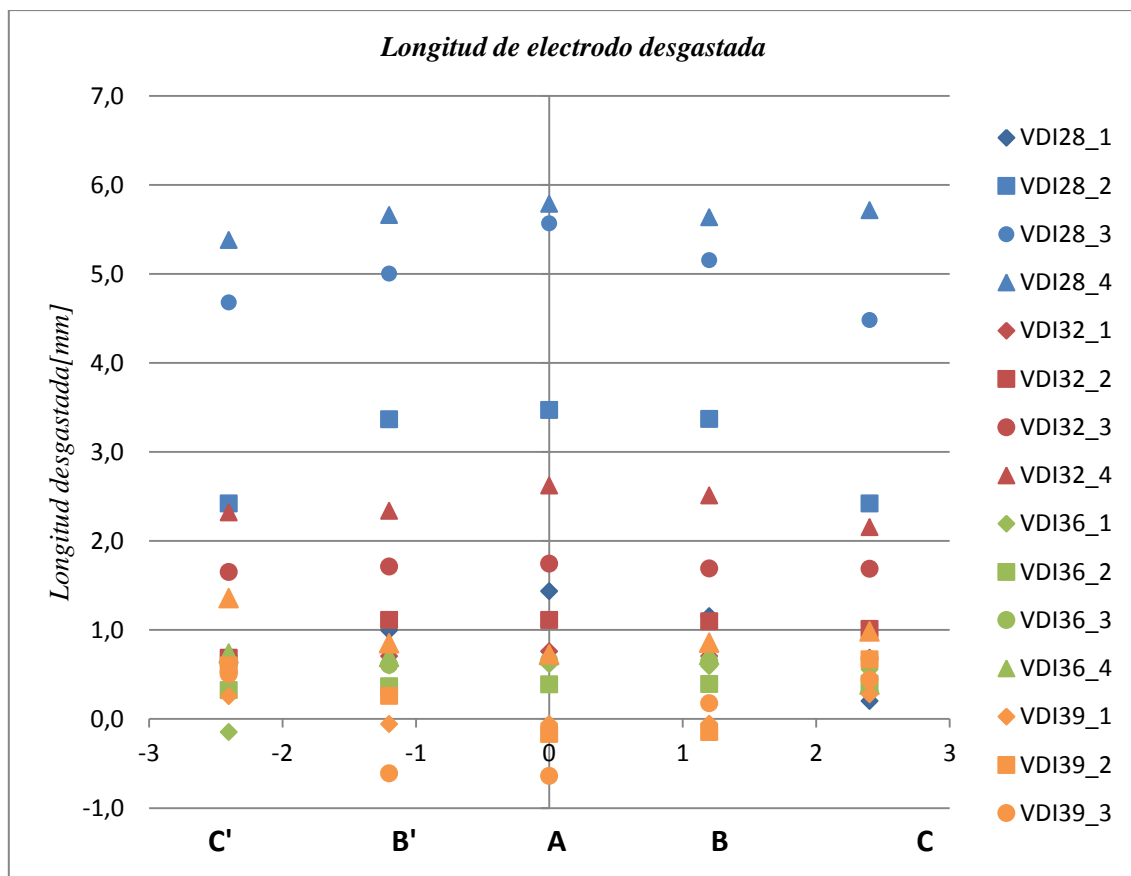
Datos de cada uno de los ensayos detallados en el ANEXO 5.4 MEDICIONES



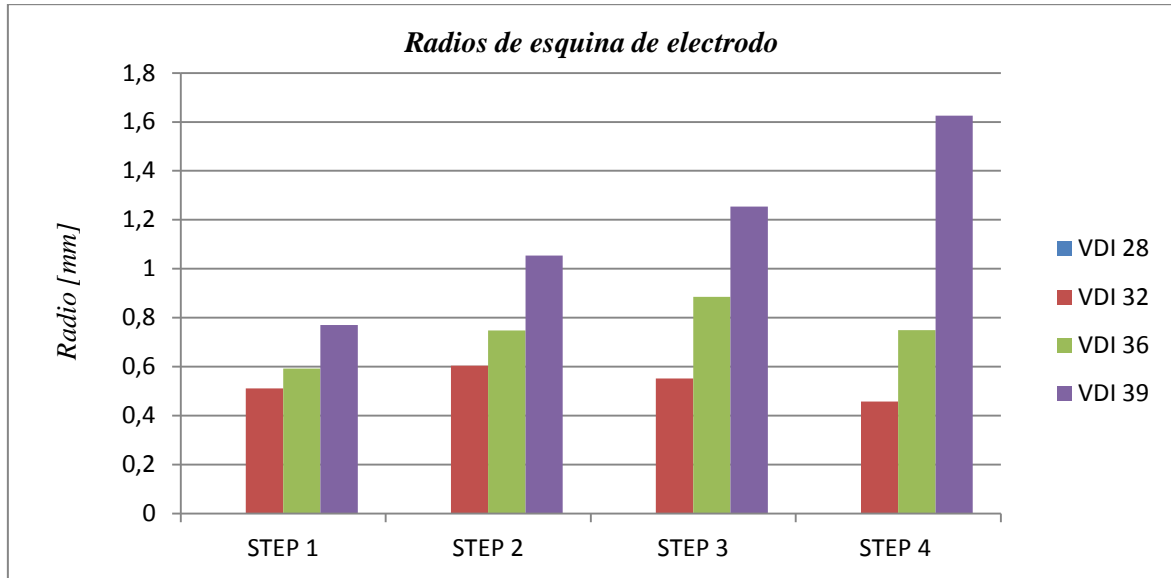
	<i>Longitud de electrodo desgastada [mm]</i>			
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>VDI 28</b>	0,888	3,0098	4,9766	5,636
<b>VDI 32</b>	0,7136	1,0038	1,6964	2,3882
<b>VDI 36</b>	0,4442	0,3736	0,6232	0,6484
<b>VDI 39</b>	0,073	0,2424	-0,0264	0,953



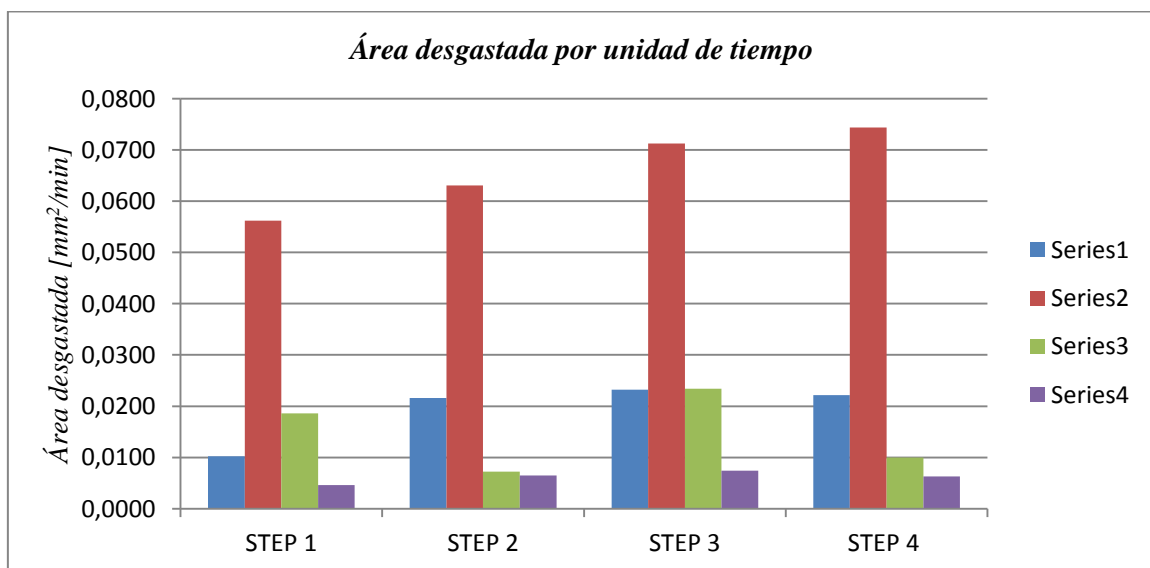
Datos de cada uno de los ensayos detallados en el ANEXO 5.4 MEDICIONES



<i>Radio de esquina de electrodo[mm]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>VDI 28</b>	<i>(Radios no medidos debido a la geometría de electrodo tras la erosión)</i>			
<b>VDI 32</b>	0,512	0,604	0,552	0,458
<b>VDI 36</b>	0,592	0,748	0,885	0,750
<b>VDI 39</b>	0,771	1,055	1,254	1,626



<i>Área desgastada de electrodo por unidad de tiempo[mm<sup>2</sup>/min]</i>				
	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>VDI 28</b>	0,0102	0,0216	0,0232	0,0222
<b>VDI 32</b>	0,0562	0,0631	0,0713	0,0744
<b>VDI 36</b>	0,0186	0,0072	0,0234	0,0100
<b>VDI 39</b>	0,0046	0,0065	0,0074	0,0063





5.2.3.2 DIMENSIÓN DEL GAP

Dimensión del gap obtenida y límites teóricos en función de la rugosidad

	VDI39	VDI36	VDI32	VDI28
Gap a [ $\mu\text{m}$ ]	0,27	0,19	0,115	0,062
Gap mín. [ $\mu\text{m}$ ]	0,091	0,017	0,008	0,004
Gap máx. [ $\mu\text{m}$ ]	0,320	0,129	0,146	0,041
Gap Interval. [ $\mu\text{m}$ ]	0,229	0,112	0,138	0,037
Media [ $\mu\text{m}$ ]	0,186	0,083	0,070	0,020
Desviación [ $\mu\text{m}$ ]	0,049	0,025	0,029	0,010
Rt máx. [ $\mu\text{m}$ ]	0,071	0,050	0,032	0,020
Mín. [ $\mu\text{m}$ ]	0,150	0,058	0,054	0,010
Máx. [ $\mu\text{m}$ ]	0,221	0,108	0,086	0,030

