

5

---

# Resultados

## 5.RESULTADOS.

Los resultados de los materiales cerámicos y del material en base a composite se han expuesto por separado, por ser materiales de naturaleza distinta.

### 5.1.RESULTADOS DE LOS MATERIALES CERÁMICOS.

#### 5.1.1.Carga compresiva a rotura.

Los ensayos realizados para determinar los valores de compresión máxima soportados por las muestras recibidas se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de compresión máxima a rotura.

Material	Carga máxima a rotura [N] ∂ desv. Estándar
A1	538.04 ∂ 46.18
A2	676.52 ∂ 162.09
A3	639.16 ∂ 156.71
A4	544.86 ∂ 87.48
A5	703.71 ∂ 66.62
A6	678.47 ∂ 87.56
A7	744.81 ∂ 127.07
A8	642.83 ∂ 117.36
B1	576.97 ∂ 85.96
B2	423.27 ∂ 125.34
B3	609.38 ∂ 97.39
B4	516.26 ∂ 215.68
B5	647.95 ∂ 274.01
B6	672.32 ∂ 312.58

B7	741.73 $\div$ 99.22
B8	543.26 $\div$ 80.44
C1	814.98 $\div$ 116.82
C2	318.18 $\div$ 57.19
C3	326.30 $\div$ 29.74
C4	734.39 $\div$ 95.96

No se puede apreciar una diferencia clara de resistencia entre los dientes del grupo A y los del grupo B. Los dientes ensayados del grupo C muestran una elevada variabilidad, seguramente debida a las variaciones en el material y forma de fabricación. En concreto, el máximo valor de resistencia a compresión se ha medido con el grupo de dientes C1 y el mínimo con el grupo de dientes C2 (figura 46).

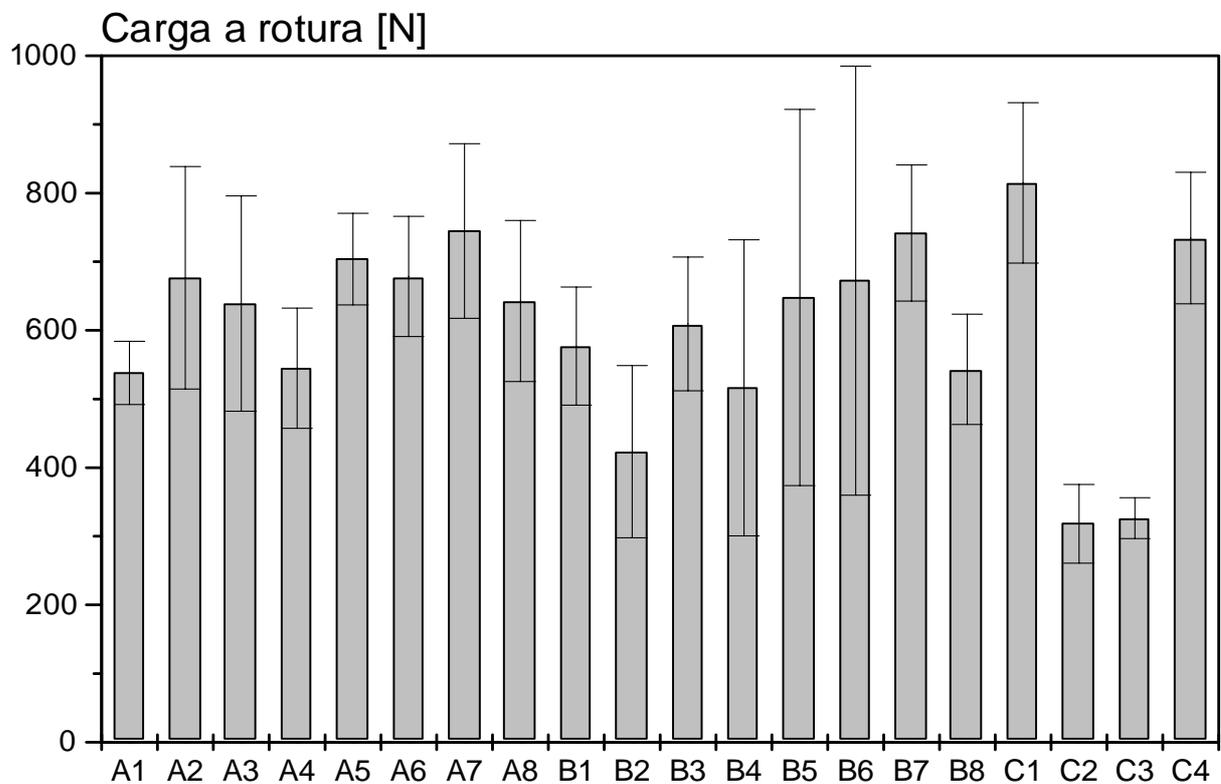


Figura 46. Valores de resistencia a carga compresiva.

### 5.1.2. Elasticidad.

A partir de los valores que se obtienen en el ensayo de carga compresiva a rotura, se obtienen los datos sobre la elasticidad de las distintas muestras (ver gráficas anexo).

Los resultados los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores de elasticidad.

<b>Cápsula</b>	<b>Codificación</b>	<b>Rigidez N/mm</b>
VITA A1	A1	83250124
VITA A2	A2	81010178
VITA A3	A3	83200100
VITA A4	A4	8025098
VITA A5	A5	75500167
VITA A6	A6	62300254
VITA A7	A7	75400341
VITA A8	A8	59980233
Procad B1	B1	60120109
Procad B2	B2	48000189
Procad B3	B3	58830134
Procad B4	B4	47850145
Procad B5	B5	43250178
Procad B6	B6	40020189
Procad B7	B7	42950203
Procad B8	B8	40000278
C1	C1	75000178
C2	C2	72500238
C3	C3	70010267
C4	C4	60100234

### 5.1.3. Dureza.

Los valores de microdureza medidos en las diferentes muestras presentaron valores muy similares, como se puede comprobar en la tabla 4.

Tabla 4. Dureza medida de las muestras.

Muestra	Dureza [HV <sub>0,5</sub> ] ∂ desv. Estándar
A1	639,3 ∂ 85,8
A2	739,8 ∂ 58,2
A3	679,4 ∂ 84,3
A4	651,0 ∂ 48,8
A5	670,8 ∂ 46,7
A6	676,5 ∂ 78,1
A7	617,9 ∂ 9,4
A8	658,2 ∂ 32,9
B1	682,3 ∂ 159,2
B2	643,4 ∂ 132,9
B3	666,9 ∂ 195,5
B4	588,3 ∂ 80,8
B5	674,9 ∂ 218,6
B6	512,5 ∂ 110,9
B7	631,3 ∂ 45,2
B8	676,3 ∂ 141,0
C1	544,2 ∂ 53,6
C2	602,7 ∂ 51,4
C3	578,0 ∂ 74,8
C4	620,4 ∂ 45,8

A diferencia de la gran diferencia de valores encontrados para las medidas de resistencia a compresión de las muestras, en el caso de las medidas de dureza la dispersión de valores es muy pequeña, por lo que no es posible decir que haya diferencias de dureza entre los diferentes materiales entregados para el estudio.

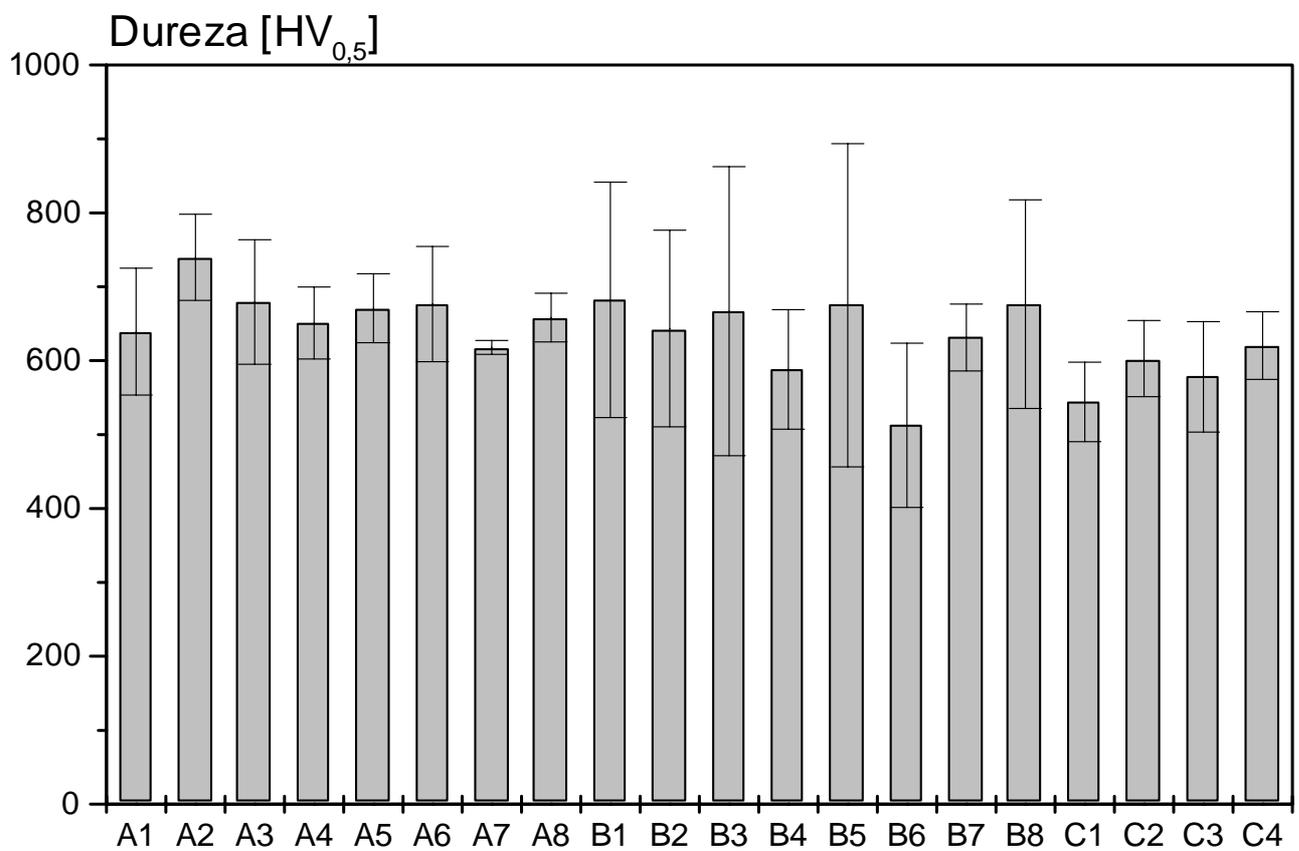


Figura 47. Representación gráfica de los valores de dureza medidos.

#### **5.1.4. Rugosidad.**

Los valores que se han obtenido podemos verlos en la tabla 5:

Tabla 5 . Valores de rugosidad de las muestras.

<b>Cápsula</b>	<b>Codificación</b>	<b>RUGOSIDAD <math>\sigma_m</math></b>
VITA A1	A1	0.8 $\pm$ 0.1
VITA A2	A2	1.5 $\pm$ 0.2
VITA A3	A3	0.4 $\pm$ 0.4
VITA A4	A4	0.7 $\pm$ 0.3
VITA A5	A5	1.6 $\pm$ 0.2
VITA A6	A6	1.9 $\pm$ 0.8
VITA A7	A7	0.9 $\pm$ 0.2
VITA A8	A8	1.9 $\pm$ 0.4
Procad B1	B1	0.9 $\pm$ 0.1
Procad B2	B2	1.8 $\pm$ 0.3
Procad B3	B3	0.6 $\pm$ 0.4
Procad B4	B4	0.8 $\pm$ 0.2
Procad B5	B5	0.9 $\pm$ 0.4
Procad B6	B6	1.2 $\pm$ 0.3
Procad B7	B7	1.0 $\pm$ 0.3
Procad B8	B8	1.9 $\pm$ 0.3
C1	C1	1.5 $\pm$ 0.4
C2	C2	1.5 $\pm$ 0.6
C3	C3	1.2 $\pm$ 0.1
C4	C4	1.4 $\pm$ 0.2

### 5.1.5. Desgaste.

Los resultados de los ensayos de desgaste abrasivo muestran pocas diferencias en el desgaste abrasivo en las condiciones estudiadas en las muestras entregadas, como se puede comprobar en la tabla 6, que muestra la progresión con la duración del ensayo del desgaste en todas las muestras estudiadas.

Tabla 6. Desgaste sufrido por las muestras estudiadas.

Muestra	Distancia [m]					
	0	6	18	36	72	144
VITA A1	0	0,00311	0,00904	0,01487	0,02037	0,02259
VITA A2	0	0,0028	0,00884	0,01537	0,02104	0,02252
VITA A3	0	0,0029	0,00844	0,01434	0,01914	0,02036
VITA A4	0	0,00348	0,00972	0,01587	0,02072	0,02363
VITA A5	0	0,00303	0,00895	0,01525	0,02048	0,02182
VITA A6	0	0,0028	0,00893	0,01517	0,02062	0,02256
VITA A7	0	0,00335	0,00964	0,01573	0,02076	0,02204
VITA A8	0	0,0032	0,00939	0,01673	0,02331	0,02485
Procad B1	0	0,00336	0,01042	0,01846	0,02567	0,02836
Procad B2	0	0,00322	0,00968	0,01762	0,02457	0,02666
Procad B3	0	0,00297	0,00936	0,01679	0,02321	0,02561
Procad B4	0	0,00294	0,00946	0,01719	0,02441	0,02692
Procad B5	0	0,00284	0,00914	0,01712	0,0247	0,02718
Procad B6	0	0,00322	0,01013	0,01866	0,02741	0,03154
Procad B7	0	0,00247	0,00866	0,01586	0,0226	0,02484
Procad B8	0	0,00273	0,00886	0,01585	0,02245	0,02479
C1	0	0,00328	0,00859	0,01458	0,02056	0,02515
C2	0	0,00268	0,00778	0,01203	0,01401	0,0148
C3	0	0,00303	0,00796	0,01128	0,01286	0,01335
C4	0	0	0,00856	0,01599	0,02326	0,02761

La representación gráfica de dicho desgaste (figura 48) confirma con claridad este hecho.

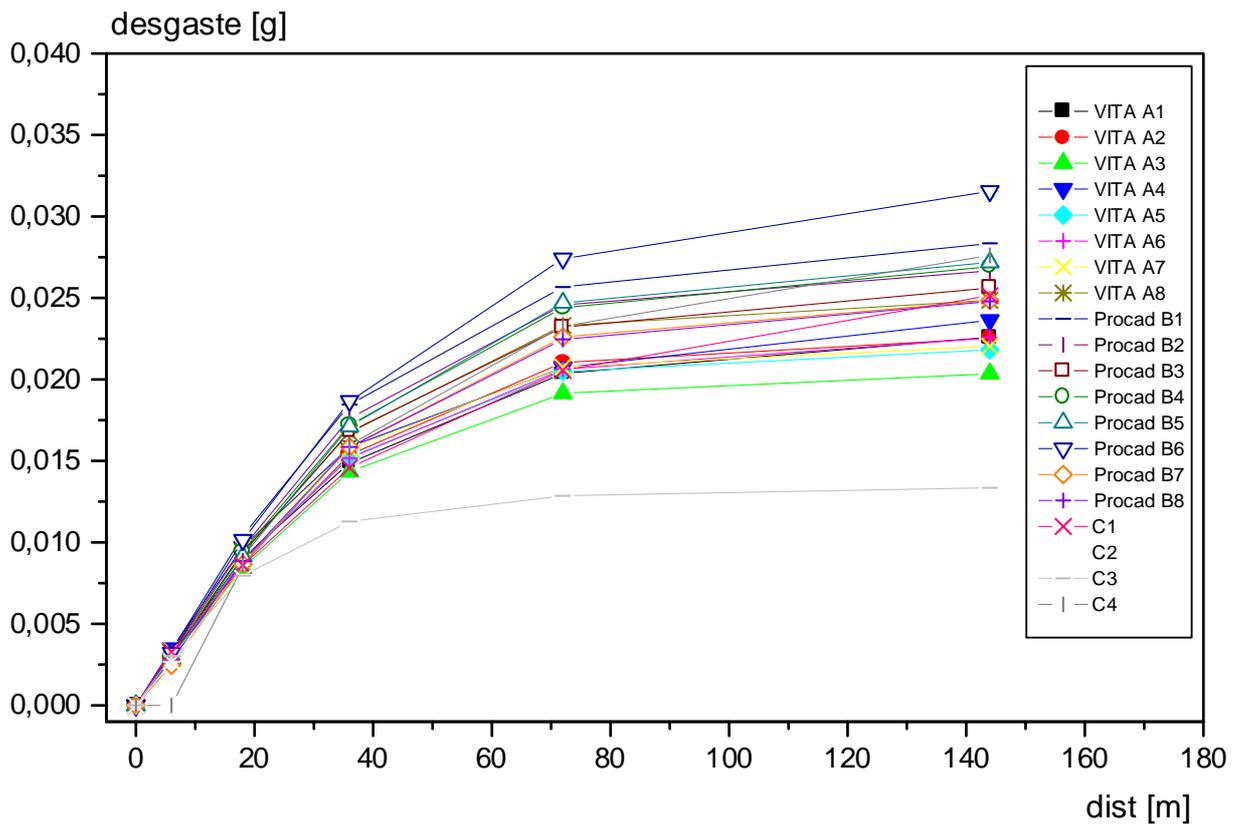


Figura 48. Disminución de masa por desgaste abrasivo de las muestras estudiadas.

### 5.1.6. Observación en microscopía electrónica.

€ A1:

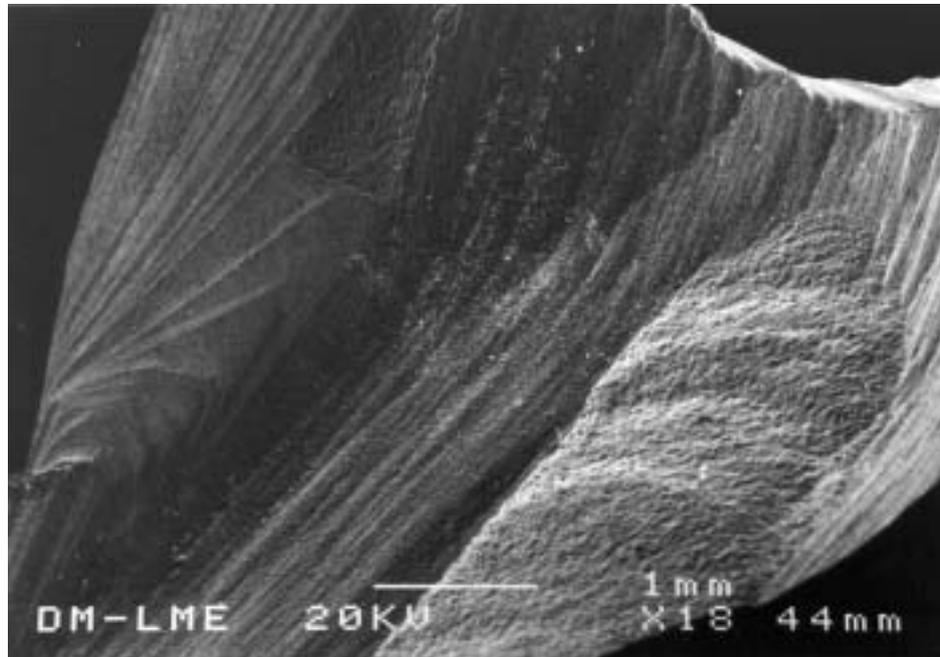


Figura 49. Superficie del diente.

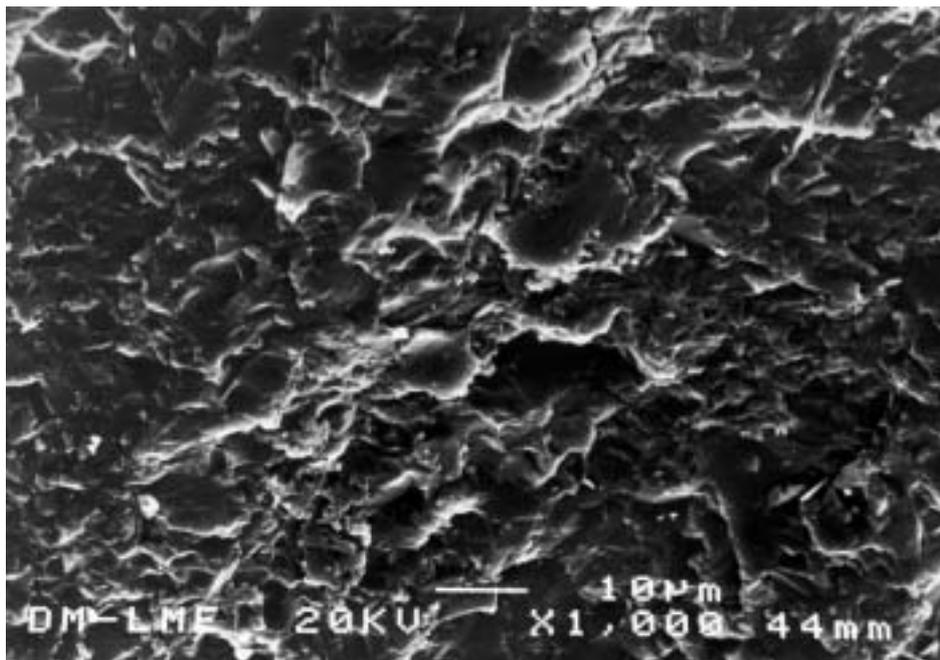


Figura 50. Detalle de la superficie del diente.

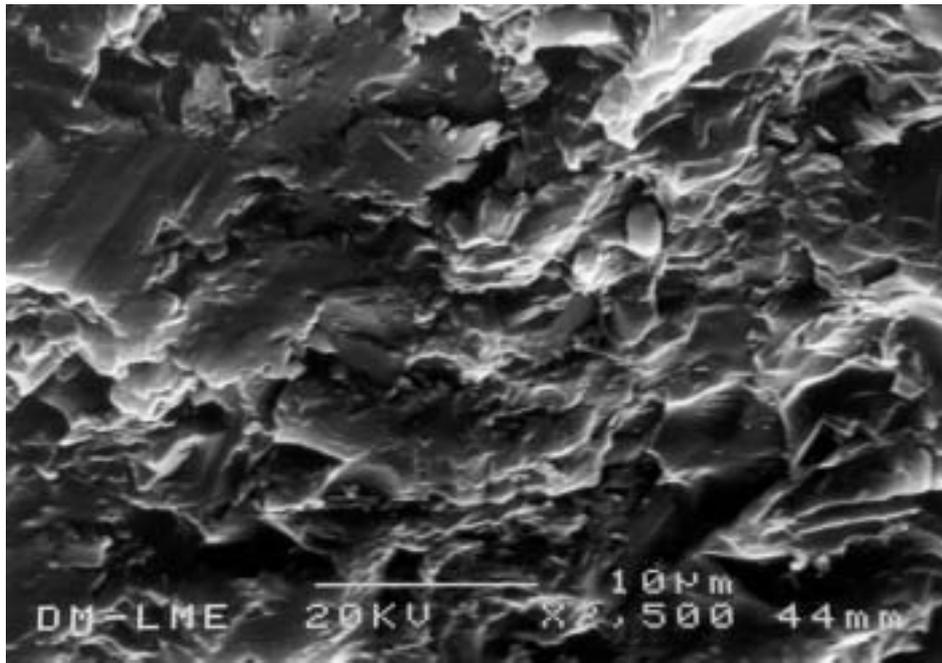


Figura 51. Detalle de la estructura superficial del diente.

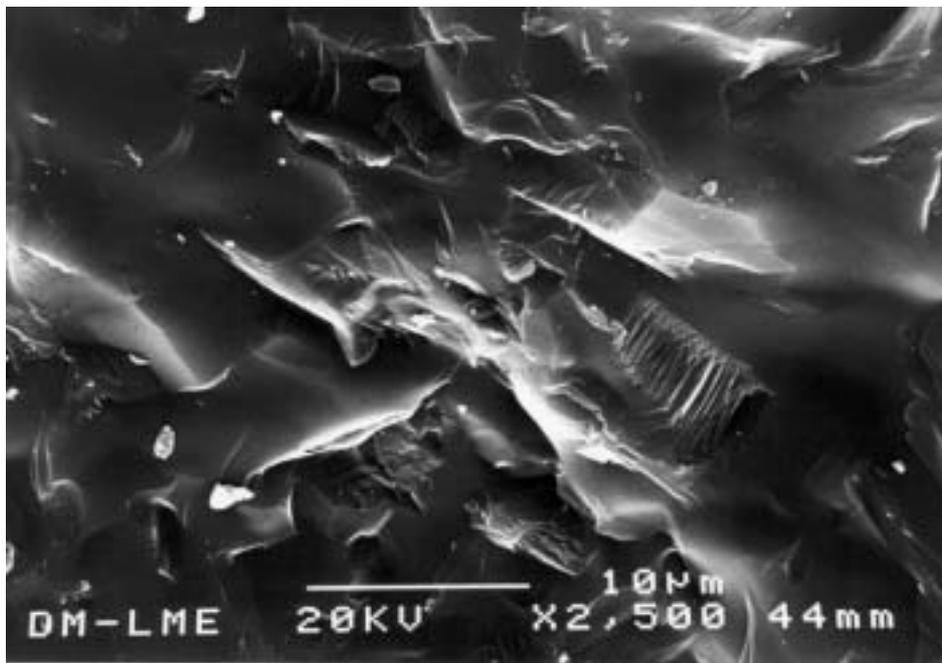


Figura 52. Planos de fractura transgranular en superficie de fractura.

€ A2:

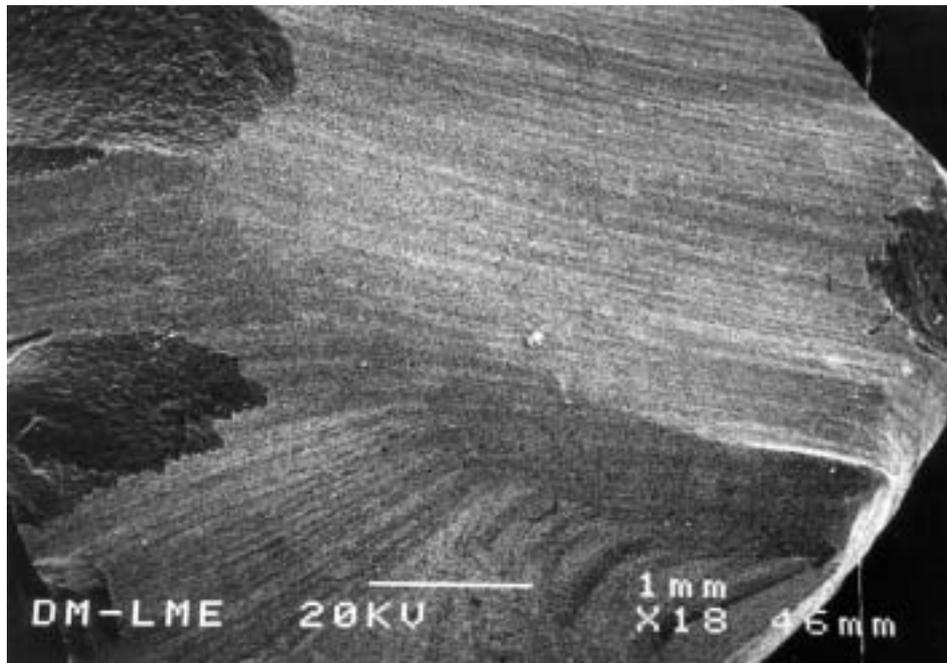


Figura 53. Superficie del diente.

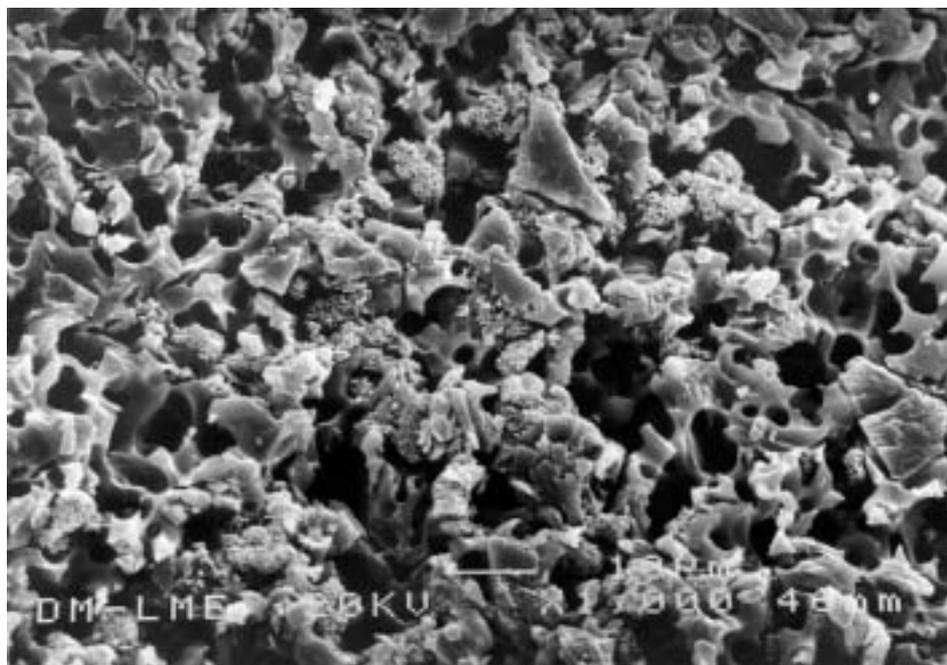


Figura 54. Detalle de la superficie.

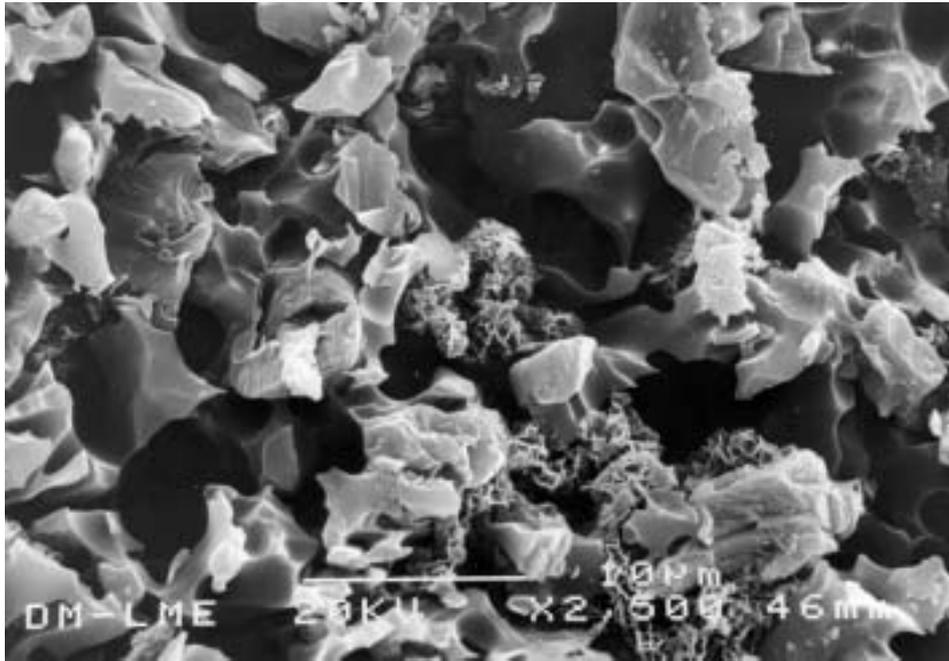


Figura 55. Detalle del ataque químico en la superficie.

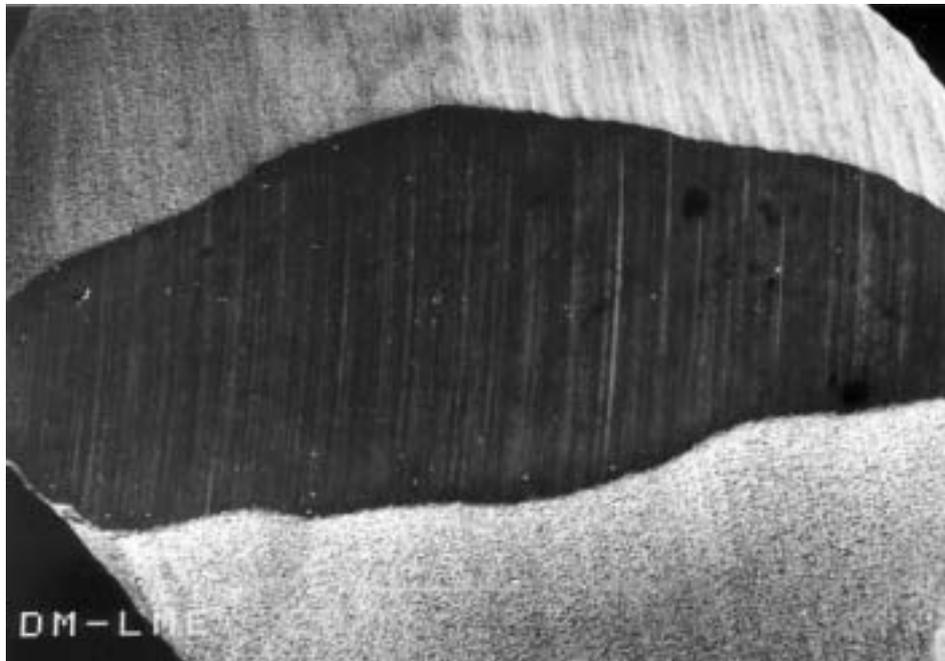


Figura 56. Desgaste abrasivo del diente.

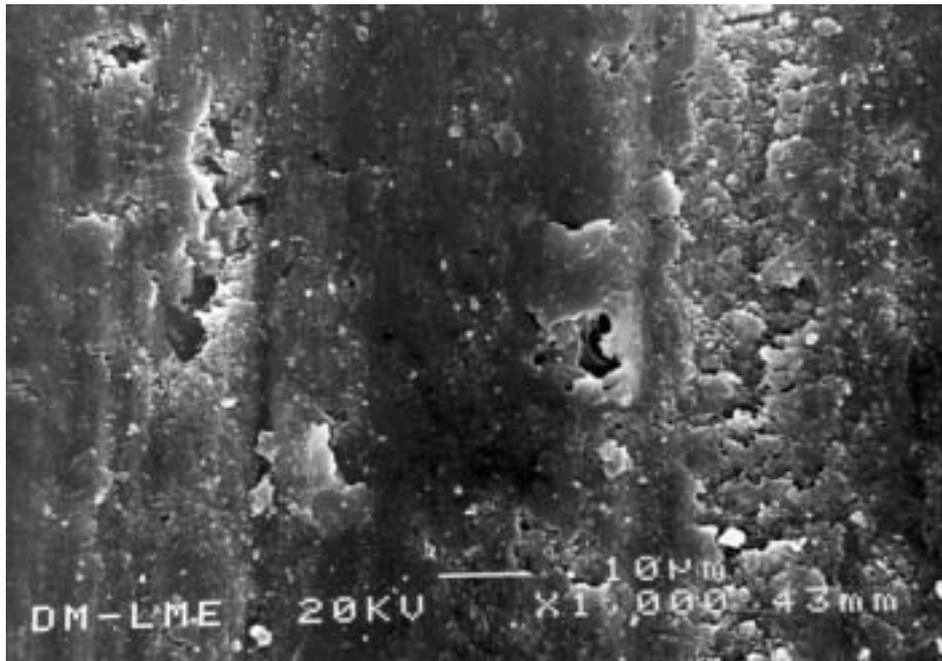


Figura 57. Detalle del desgaste. Se observan desgarramientos.

€ A3:



Figura 58. Superficie del diente y geometría.

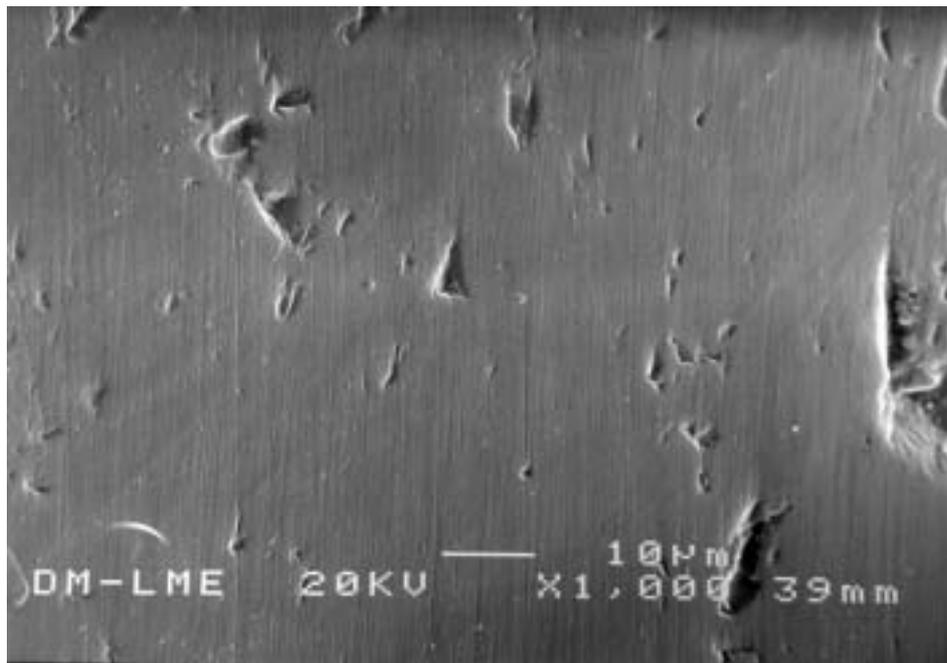


Figura 59. Detalle de la superficie del diente.

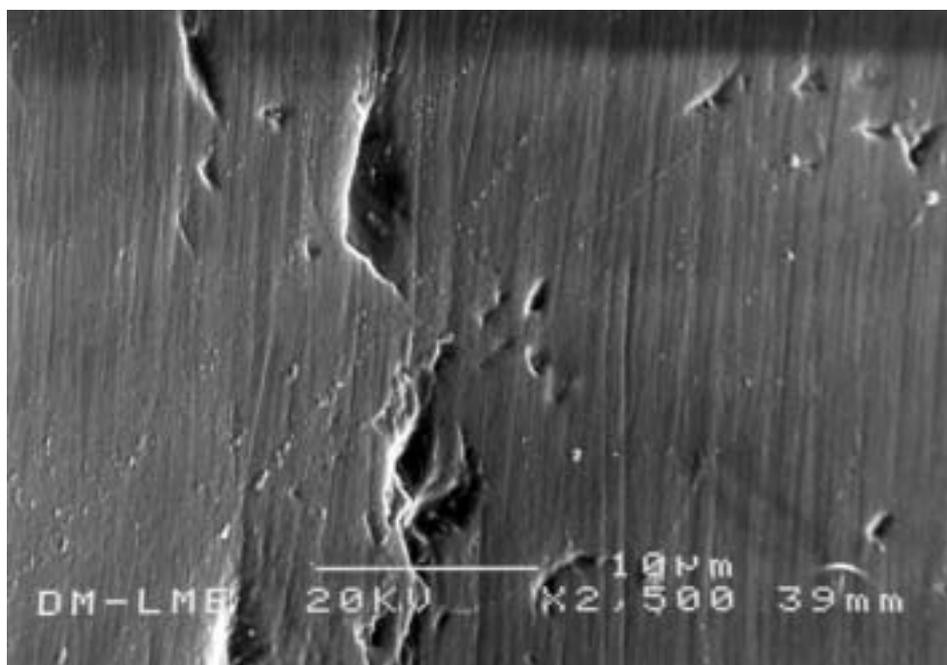


Figura 60. Superficie del diente con mayor detalle.

€ A8:

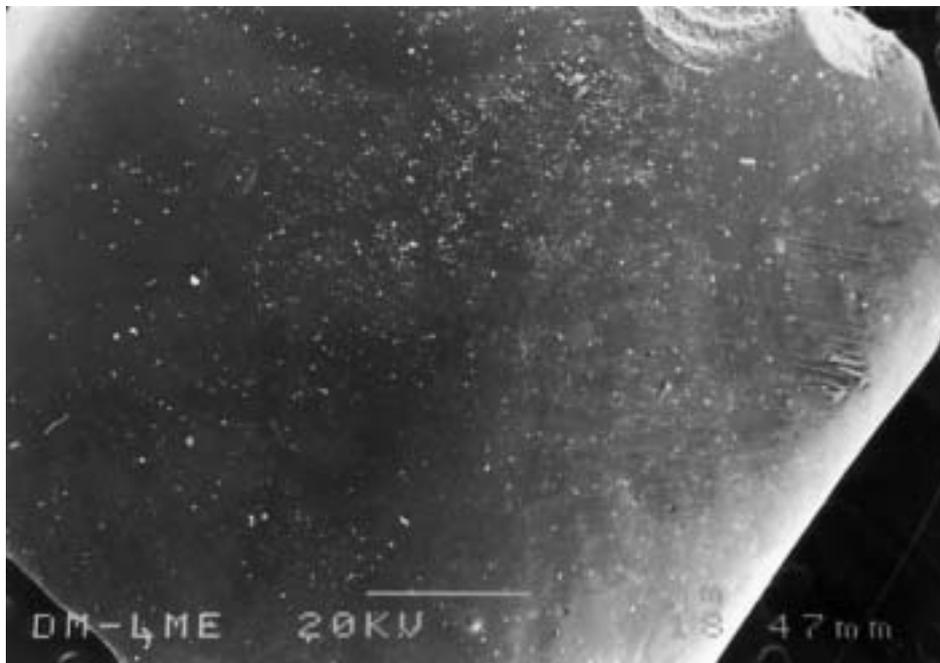


Figura 61. Superficie del diente.

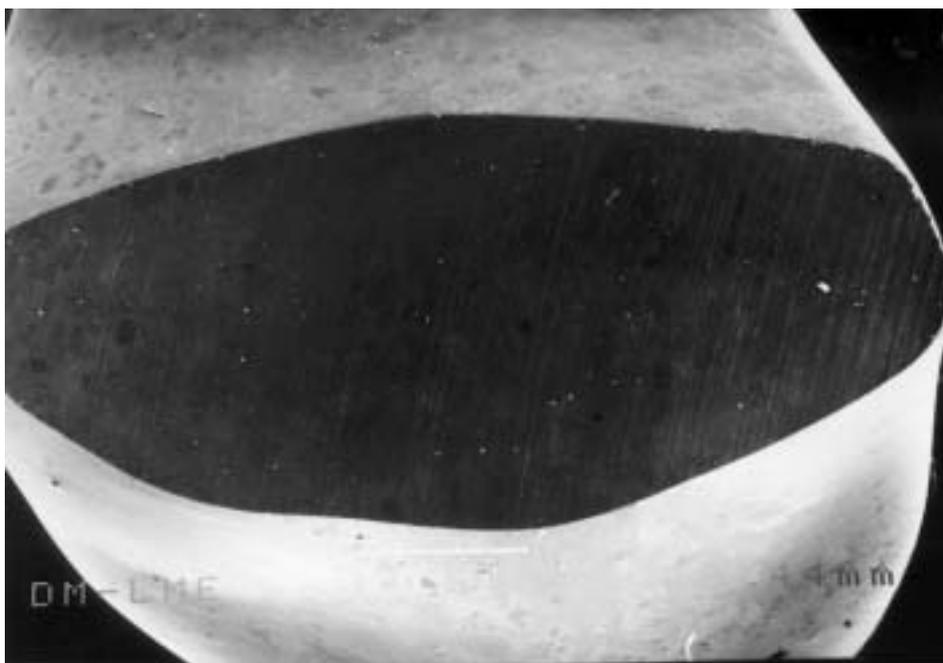


Figura 62. Superficie de desgaste abrasivo.

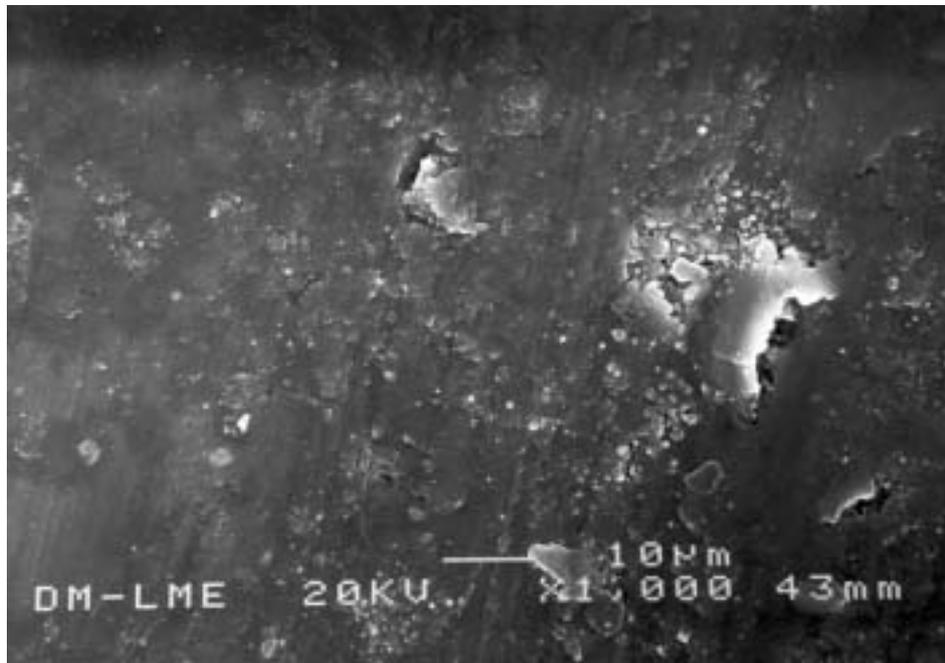


Figura 63. Detalle del desgaste abrasivo.

€ B1:

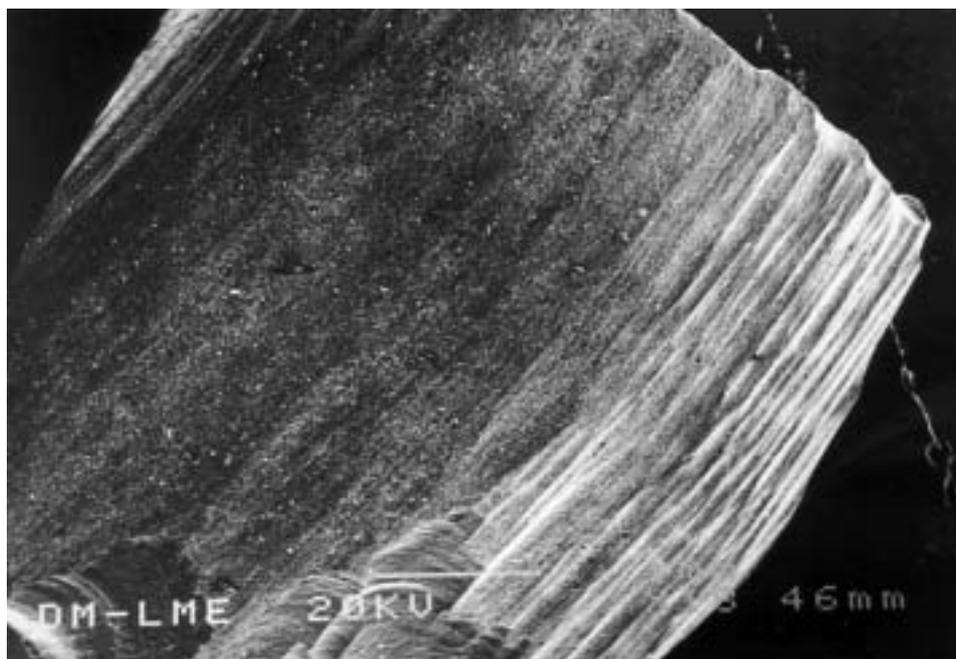


Figura 64. Superficie del diente.

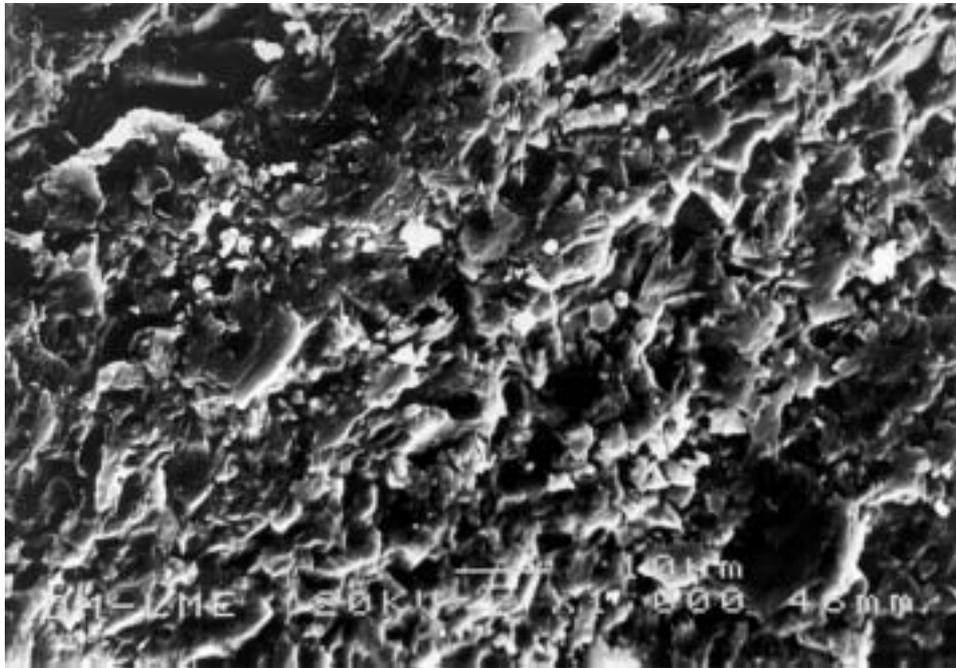


Figura 65. Detalle de la rugosidad superficial.

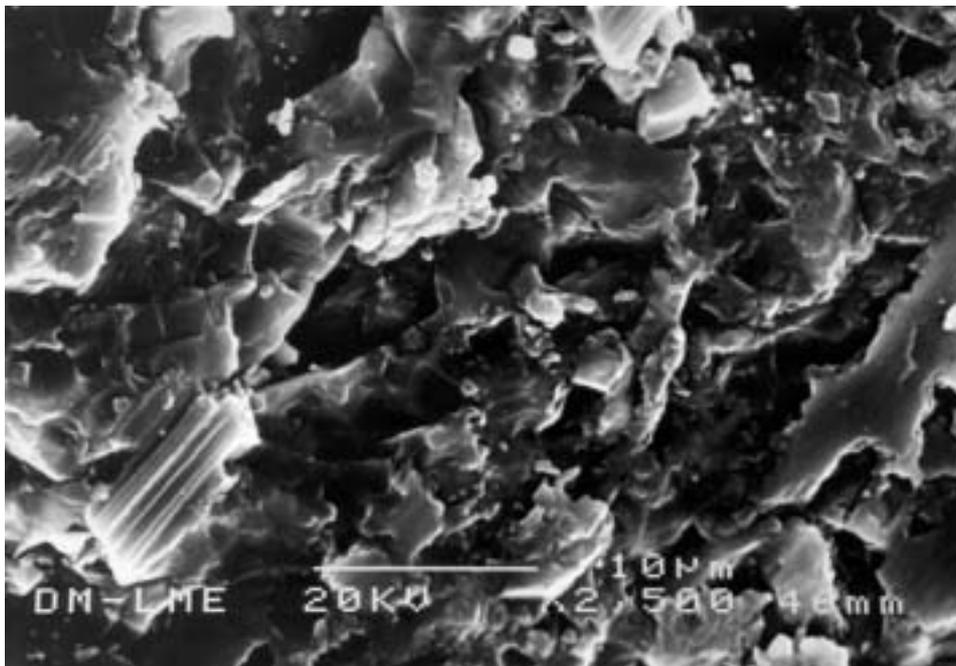


Figura 66. Detalle de la estructura superficial.

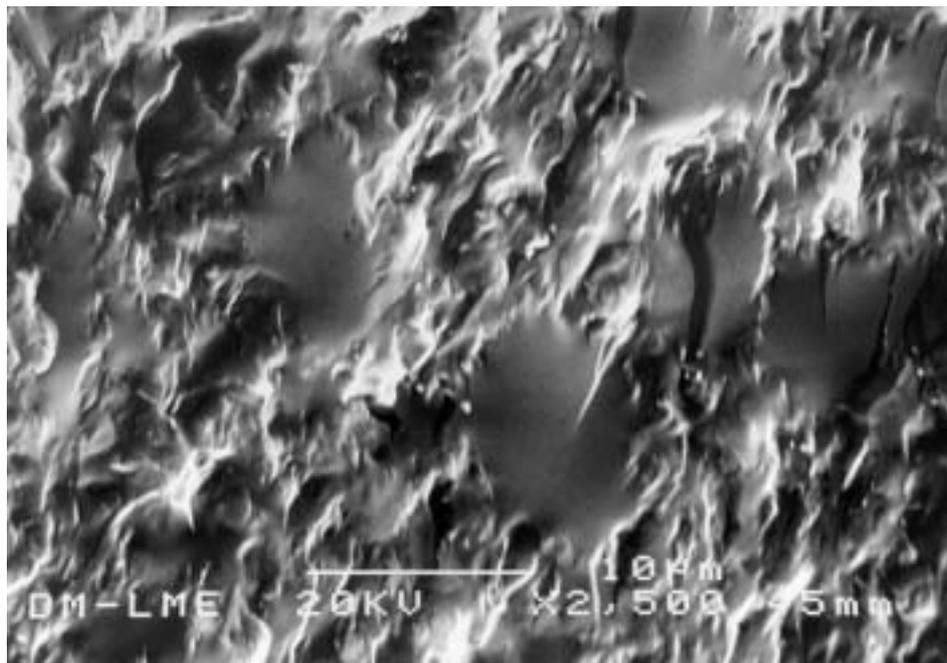


Figura 67. Fractura frágil del diente.

€ B2:

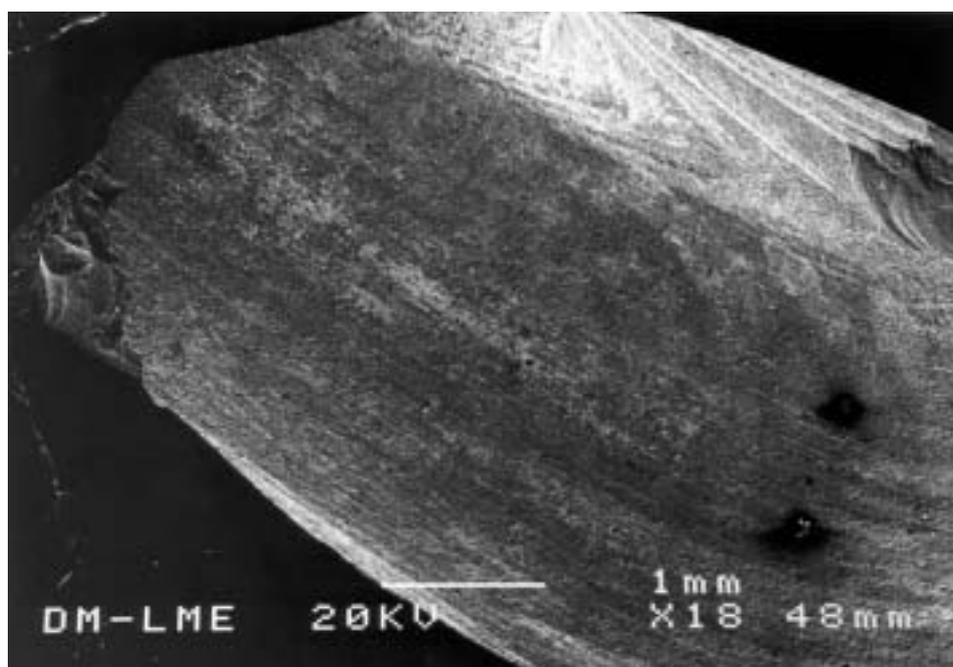


Figura 68. Superficie del diente.

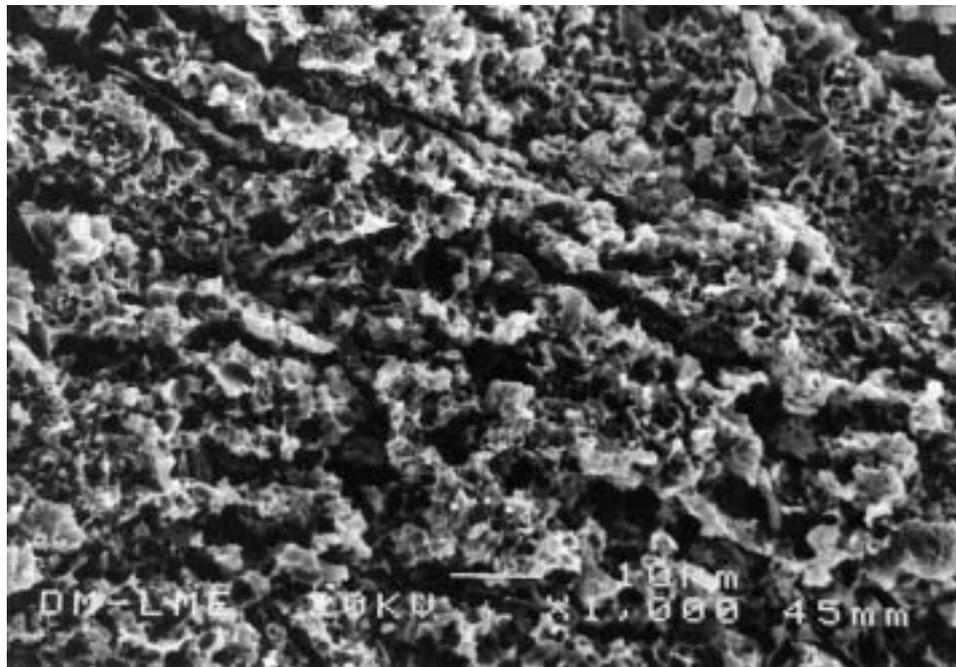


Figura 69. Detalle de la superficie.

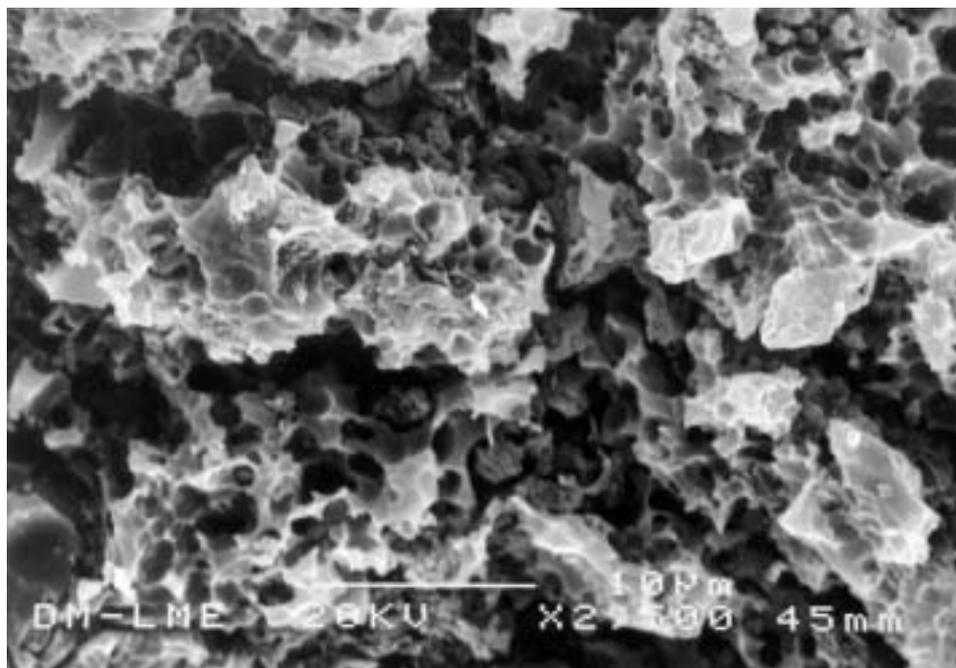


Figura 70. Detalle de la rugosidad superficial.

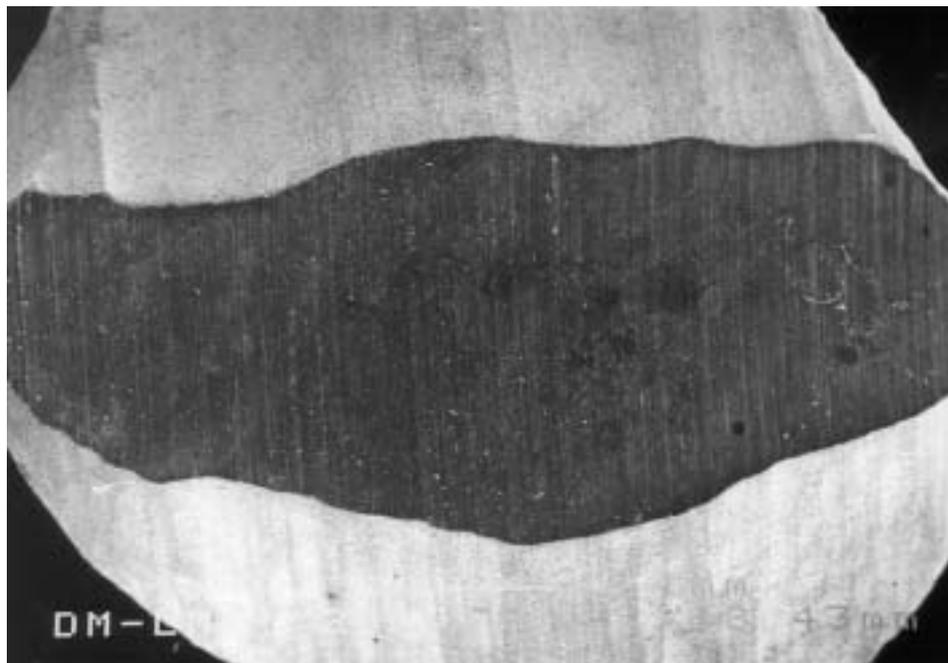


Figura 71. Desgaste abrasivo.



Figura 72. Detalle del desgaste abrasivo.

€ B3

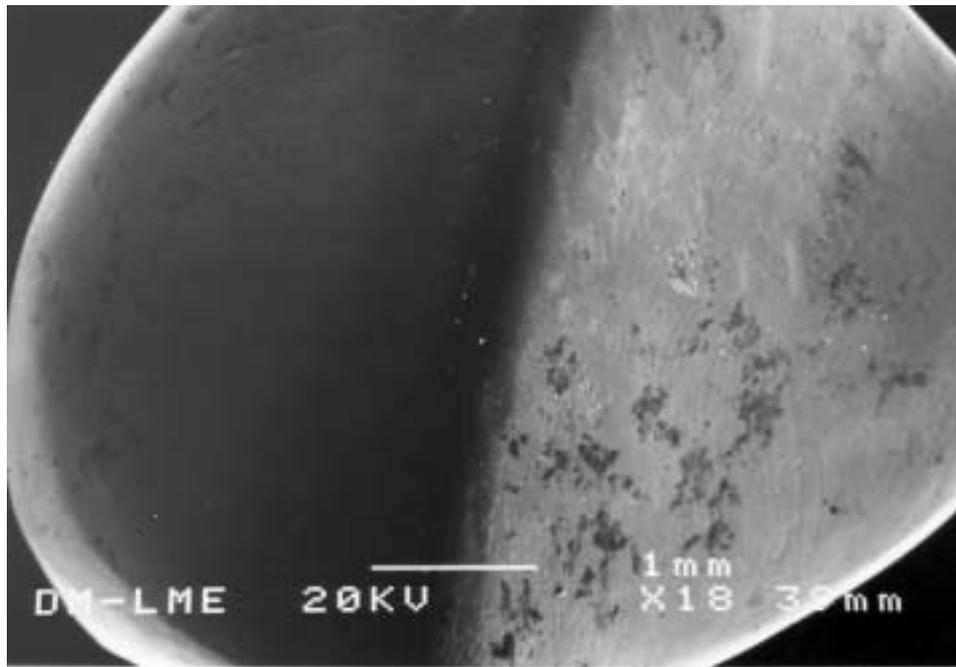


Figura 73. Superficie del diente.

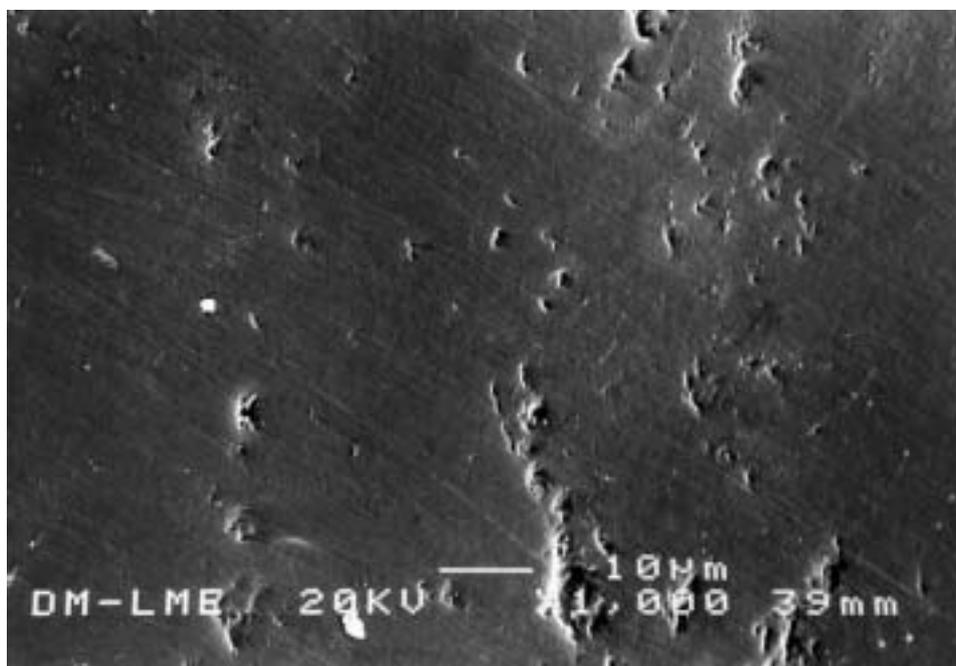


Figura 74. Detalle de la superficie del diente.

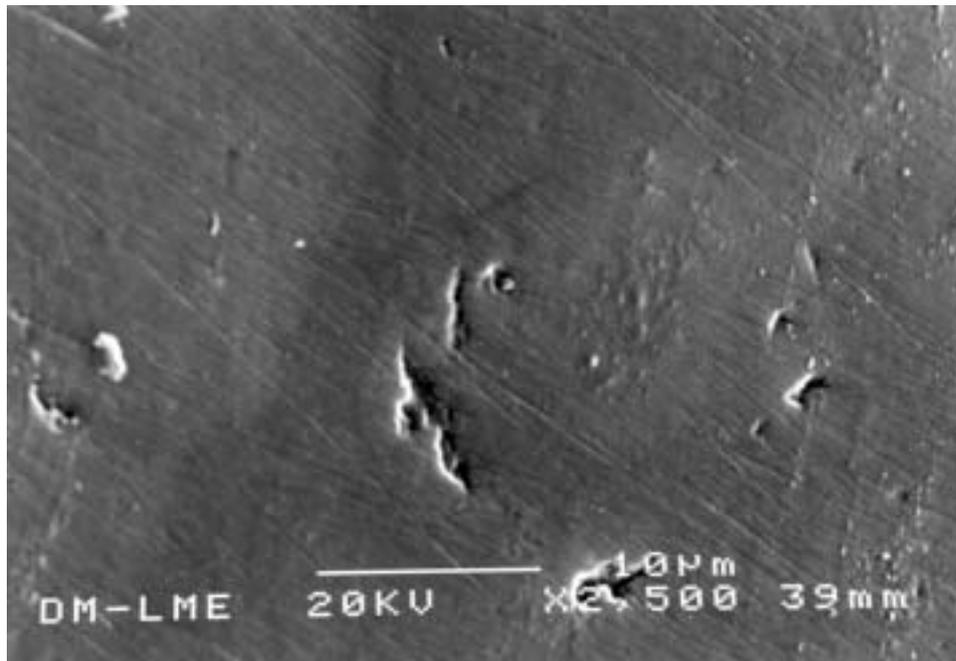


Figura 75. Detalle de la rugosidad superficial.

∅ B8:

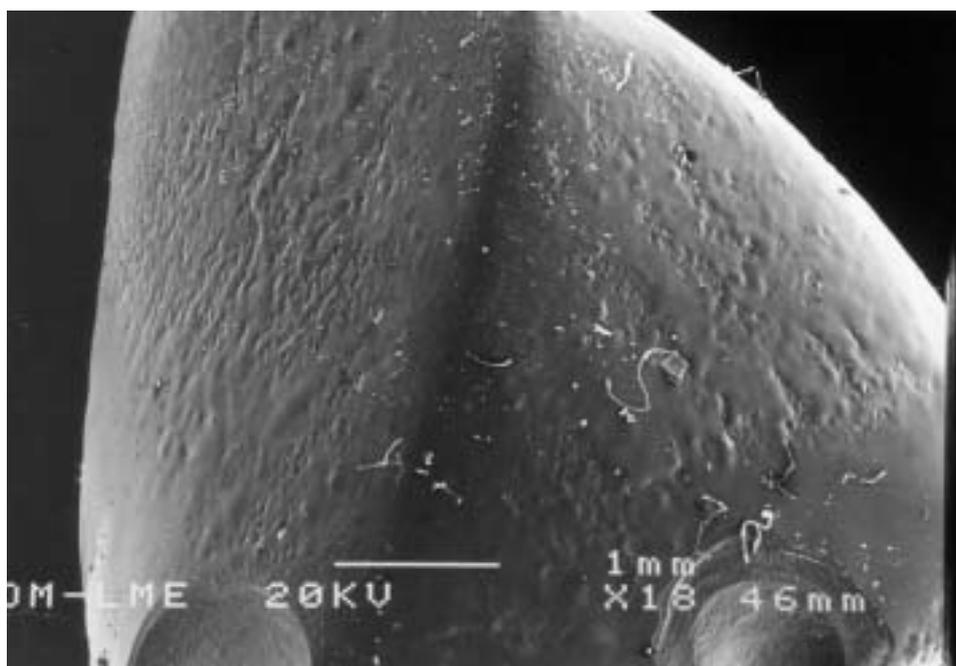


Figura 76. Superficie del diente.

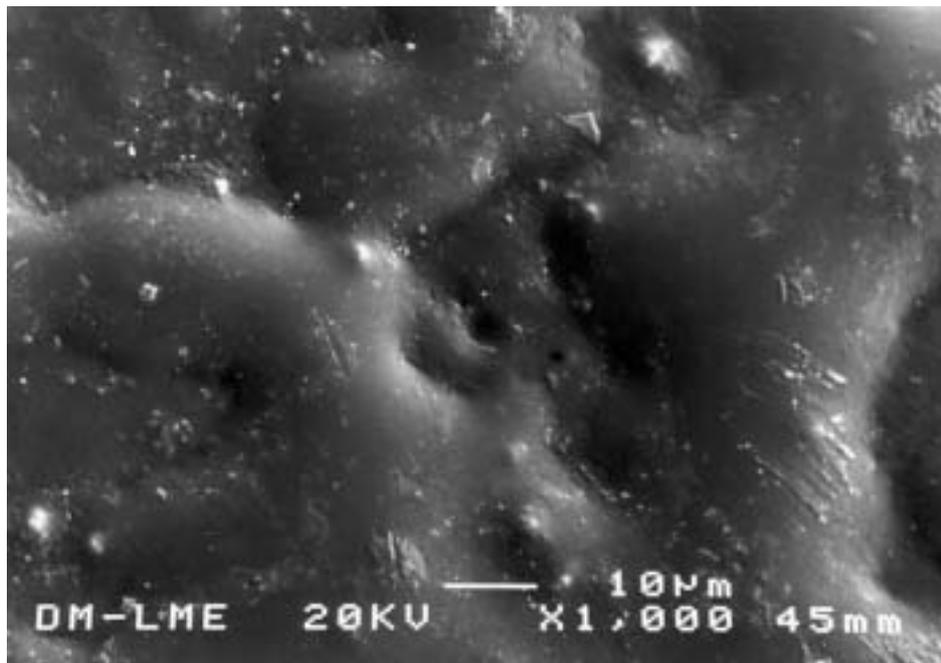


Figura 77. Detalle de la superficie, con cierta heterogeneidad.

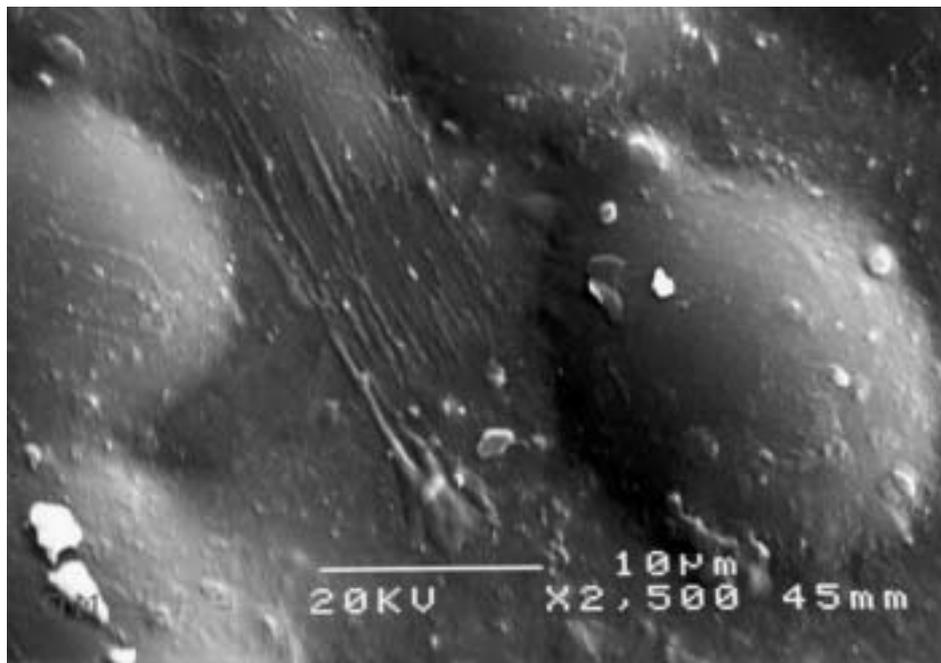


Figura 78. Detalle de la heterogeneidad en la superficie.

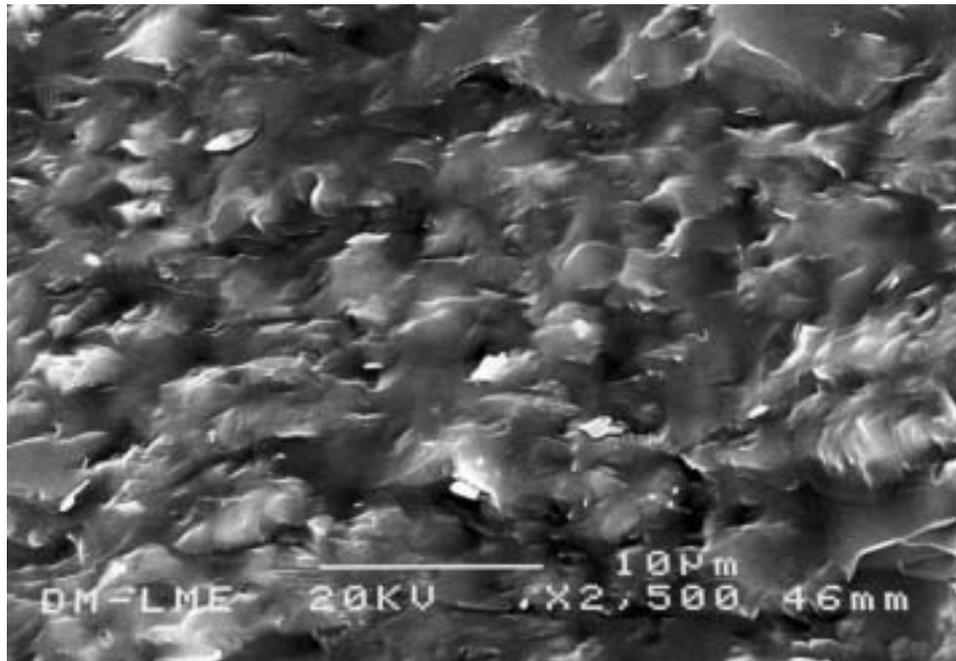


Figura 79. Placas de clivaje en zona de fractura.

€ C3:

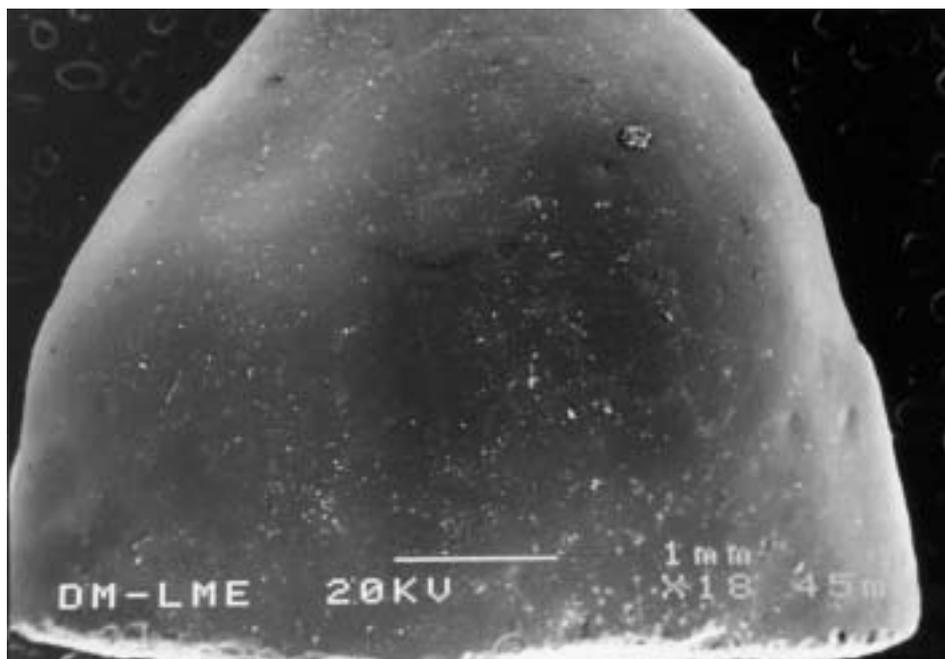


Figura 80. Superficie del diente.

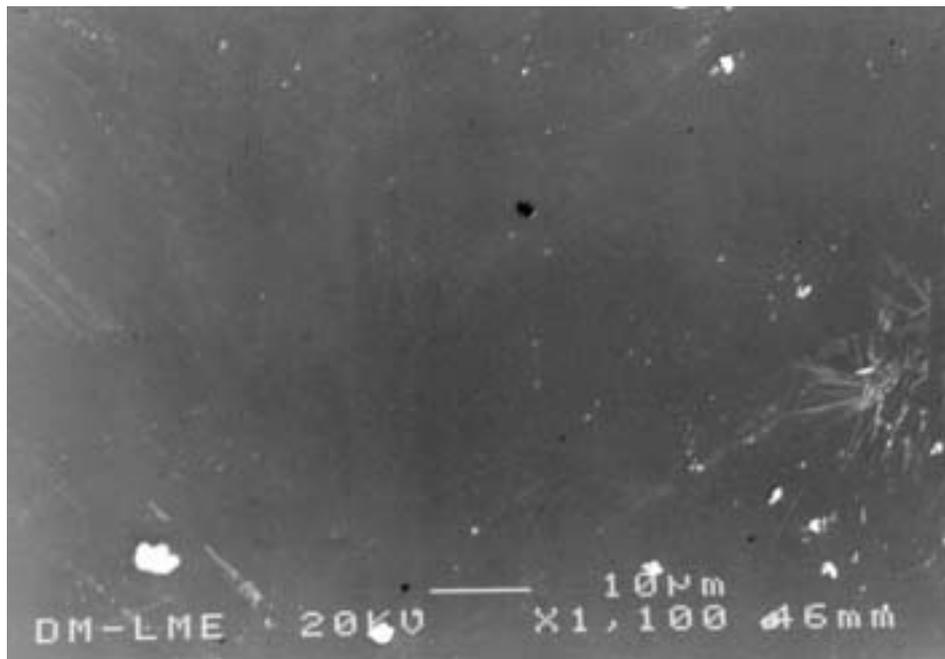


Figura 81. Detalle de la superficie, muy lisa y sin marcas.

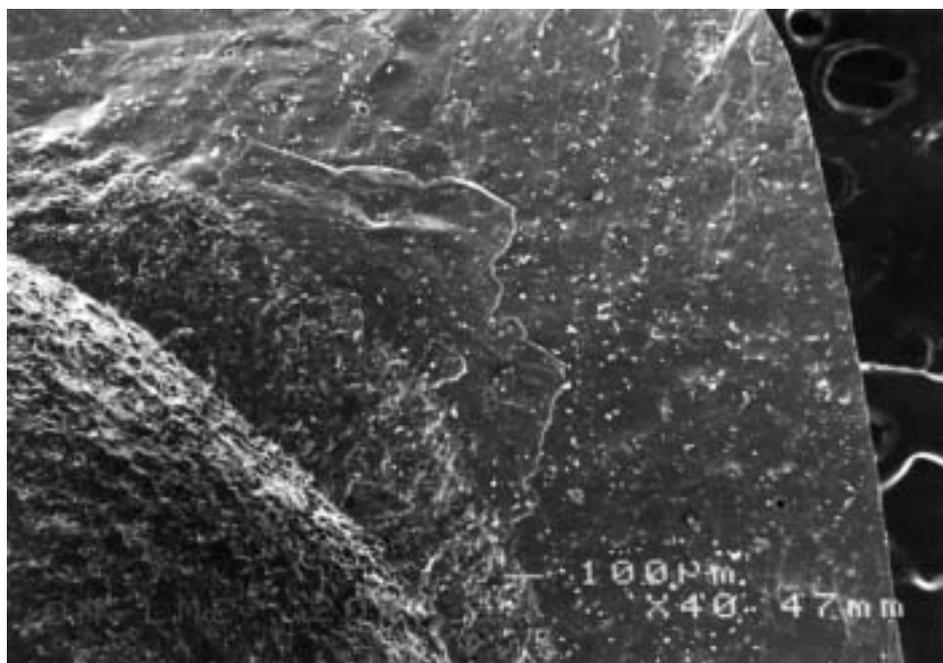


Figura 82. Sección del diente.

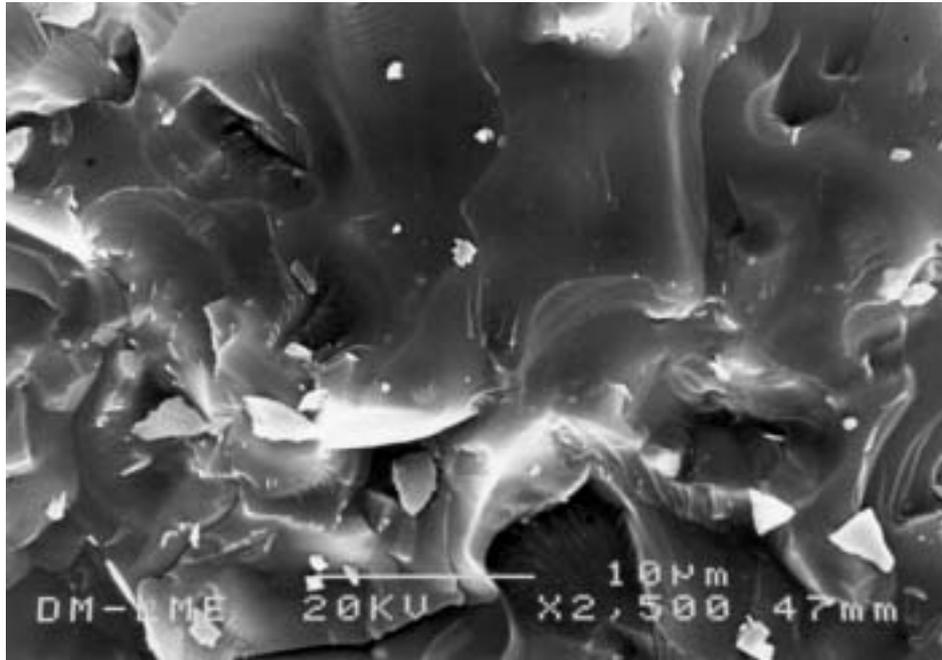


Figura 83. Detalle en sección del núcleo de alúmina.

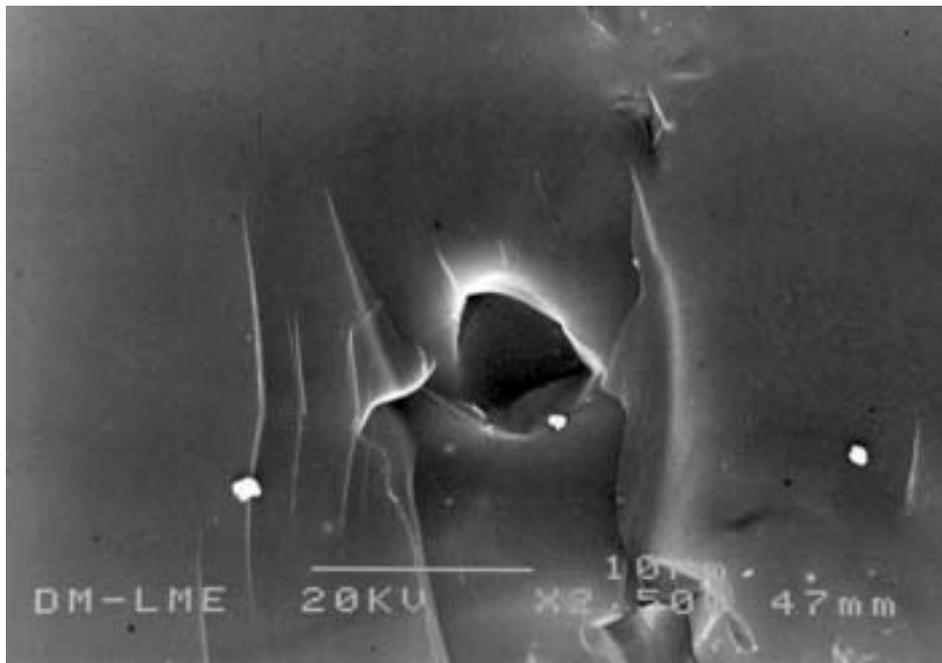


Figura 84. Detalle en sección de la capa externa.

### 5.1.7. Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X.

Los resultados obtenidos podemos verlos en la tabla 7:

SPECTRUM	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	TOTAL
Vita A2C(I)	0.36	55.47	6.11	---	10.17	23.89	4.00	---	100.00
Spinell	-0.29	52.74	---	13.63	33.49	---	---	0.43	100.00
ProCAD(I)	21.37	55.91	2.09	---	---	16.52	4.11	---	100.00
ProCAD(II)	14.84	61.98	2.32	---	4.63	13.59	2.62	---	100.00
Vita A2C(II)	-1.59	55.23	5.15	---	10.14	26.36	4.71	---	100.00
Máximo	21.37	61.98	6.11	13.63	33.49	26.36	4.71	0.43	---
Mínimo	-1.59	52.74	2.09	13.63	4.63	13.59	2.62	0.43	---

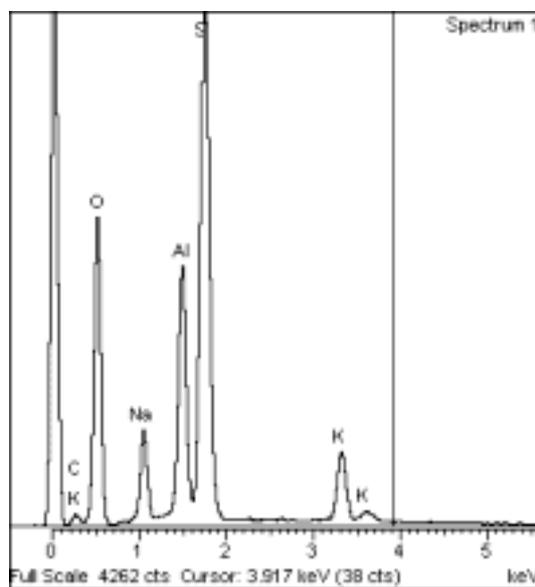


Figura 85. Espectro EDS muestra Vita A2C(I).

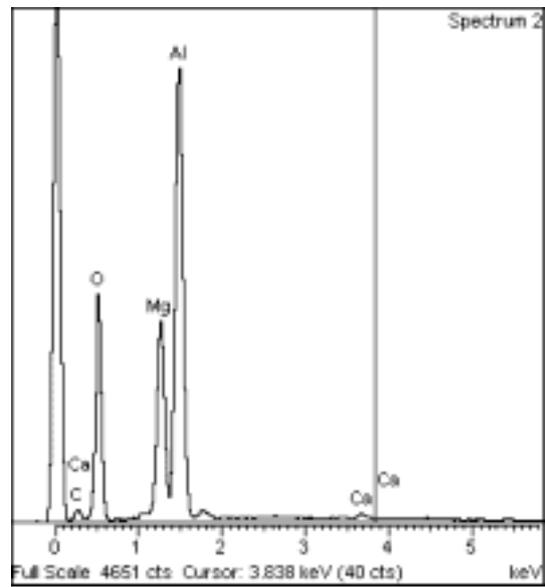


Figura 86. Espectro EDS muestra Spinell.

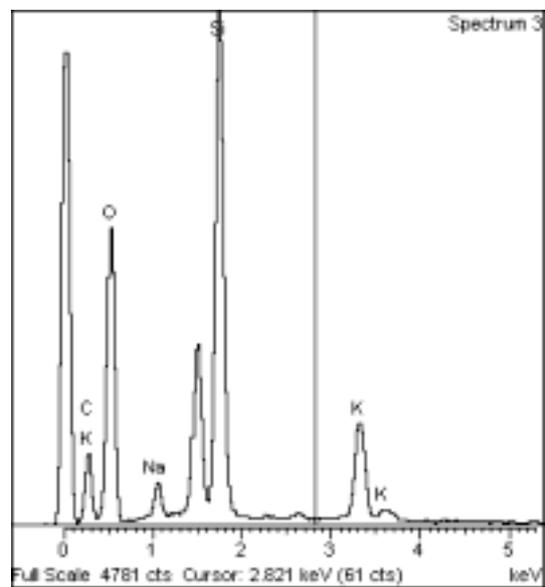


Figura 87. Espectro EDS muestra ProCAD(I).

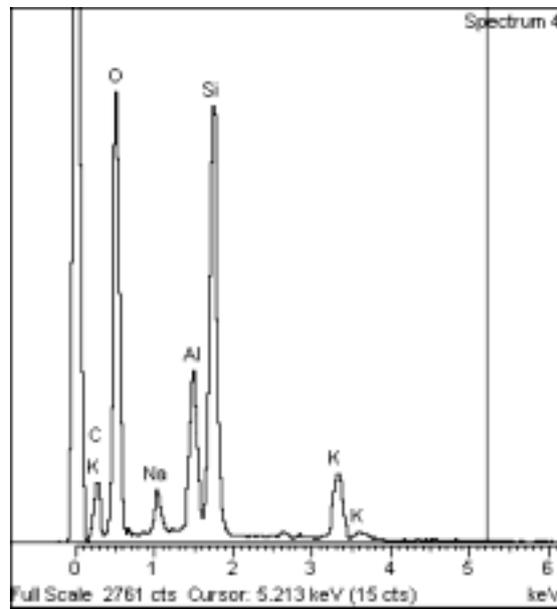


Figura 88. Espectro EDS muestra ProCAD(II).

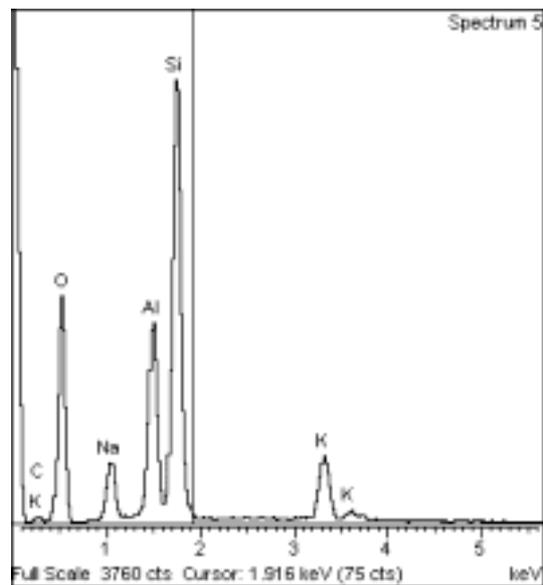


Figura 89. Espectro EDS muestra Vita A2C(II).

## **5.2.RESULTADOS DEL MATERIAL 3M<sup>TM</sup> Block EXM 260 (3M Paradigm<sup>TM</sup>).**

### **5.2.1.Carga compresiva a rotura.**

Los ensayos realizados para determinar los valores de compresión máxima soportados por las muestras recibidas se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de compresión máxima a rotura.

Material	Carga máxima a rotura [N] $\pm$ desv. Estándar
D1	740,6 $\pm$ 29,2
D2	1001,2 $\pm$ 44,5
D3	724,4 $\pm$ 26,5
D4	684,7 $\pm$ 20,1

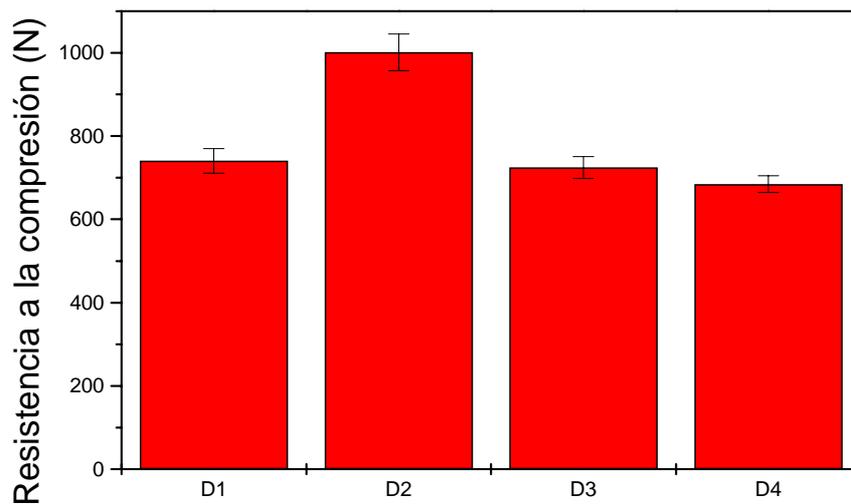


Figura 90. Valores de resistencia a carga compresiva.

### 5.2.2. Elasticidad.

Los valores de elasticidad podemos verlos en la tabla 9:

Tabla 9. Valores de elasticidad.

<i><b>Cápsula</b></i>	<i><b>Codificación</b></i>	<i><b>Rigidez N/mm</b></i>
EXM 1	D1	5150 $\pm$ 196
EXM 2	D2	4230 $\pm$ 50
EXM 3	D3	4810 $\pm$ 30
EXM 4	D4	4005 $\pm$ 20

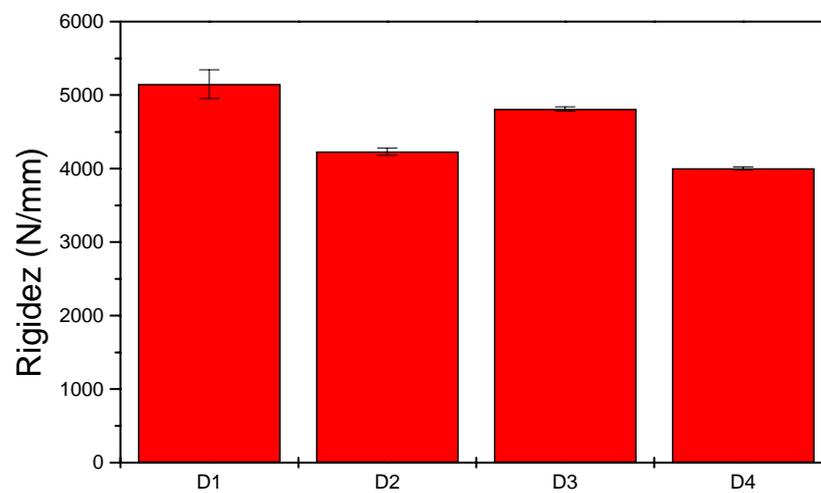


Figura 91. Valores de elasticidad.

### 5.2.3. Dureza.

Los valores de microdureza medidos en las diferentes muestras presentaron valores muy similares, como se puede comprobar en la tabla 10.

Tabla 10. Dureza medida de las muestras.

Muestra	Dureza [HV <sub>0,5</sub> ] ∂ desv. Estándar
D1	193,3 ∂ 11,2
D2	182,0 ∂ 10,4
D3	176,3 ∂ 9,3
D4	173,2 ∂ 10,2

Los valores obtenidos son bastante similares entre sí, si bien son valores de dureza bastante bajos cuando se comparan con las series A, B y C estudiadas anteriormente.

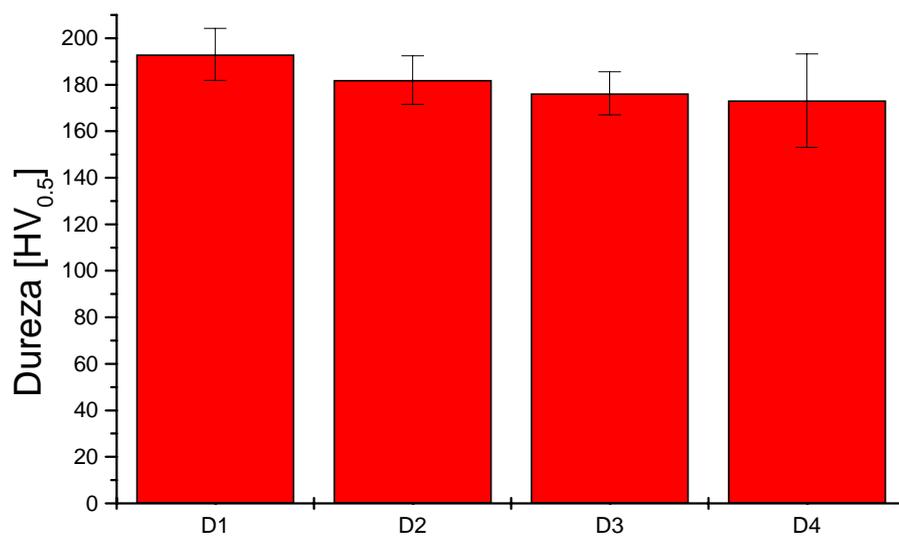


Figura 92. Representación gráfica de los valores de dureza medidos.

### 5.2.4. Rugosidad.

Los valores que se han obtenido podemos verlos en la tabla siguiente:

Tabla 11. Valores de rugosidad de las muestras.

<i>Cápsula</i>	<i>Codificación</i>	<i>RUGOSIDAD <math>\sigma</math></i>
EXM 1	D1	1.3 $\pm$ 0.2
EXM 2	D2	1.4 $\pm$ 0.2
EXM 3	D3	1.3 $\pm$ 0.3
EXM 4	D4	1.7 $\pm$ 0.5

### 5.2.5. Desgaste.

Los resultados de los ensayos de desgaste abrasivo muestran pocas diferencias en el desgaste abrasivo en las condiciones estudiadas en las muestras entregadas, como se puede comprobar en la tabla 12, que muestra la progresión con la duración del ensayo del desgaste en todas las muestras estudiadas.

Tabla 12. Desgaste sufrido por las muestras estudiadas.

Muestra	Distancia [m]					
	0	6	18	36	72	144
D1	0	0,02481	0,05297	0,06977	0,08474	-
D2	0	0,02382	0,05213	0,0717	0,09194	-
D3	0	0,02292	0,04841	0,06416	0,08404	-
D4	0	0,01819	0,04802	0,06543	0,10378	-

La representación gráfica de dicho desgaste (figura 93) confirma con claridad este hecho.

La comparación con las series estudiadas anteriormente (A, B y C) muestra, sin embargo, un incremento sustancial del desgaste de la serie presente con respecto a las ensayadas previamente, probablemente debido a la menor dureza que presentan estas muestras. De hecho, la medida a 144 m de recorrido no se pudo realizar, ya que las muestras se habían desgastado hasta el punto de aparecer en superficie el hueco de la cavidad interior, como se muestra en la figura 104.

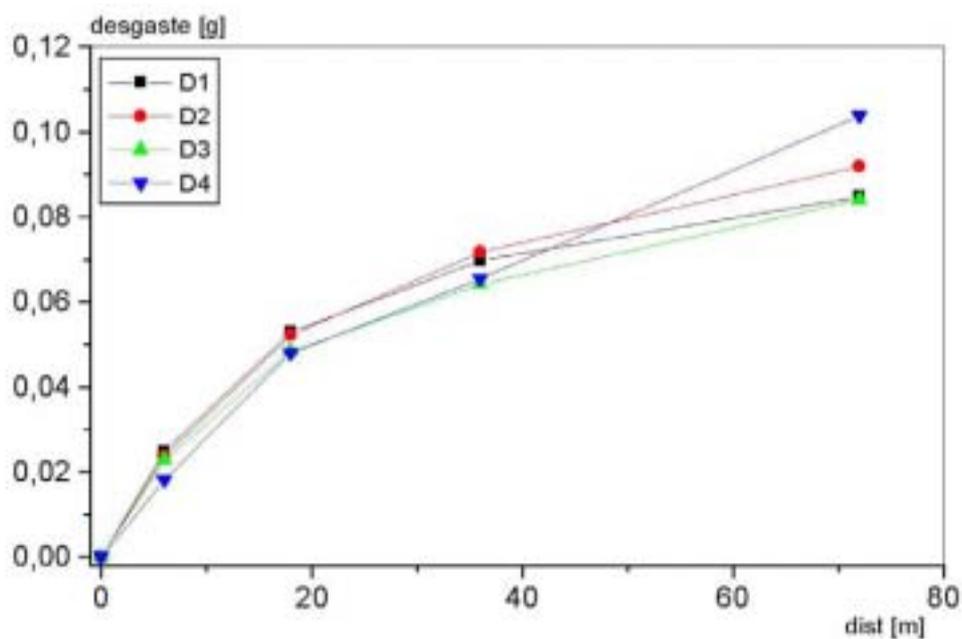


Figura 93. Disminución de masa por desgaste abrasivo de las muestras estudiadas.

### 5.2.6. Observación en microscopía electrónica.

€ D1:

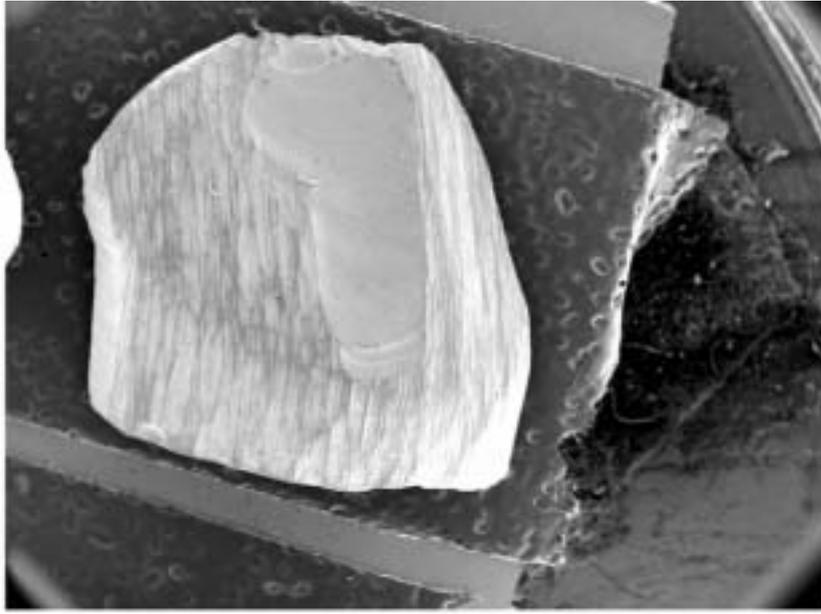


Figura 94. Superficie del diente.



Figura 95. Detalle de la superficie del diente.

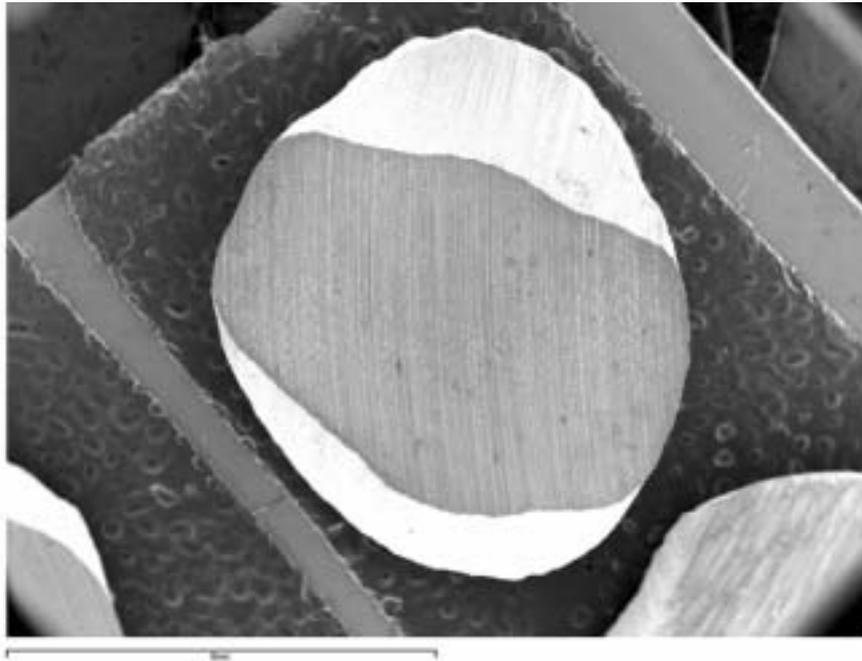


Figura 96. Superficie de desgaste del diente.

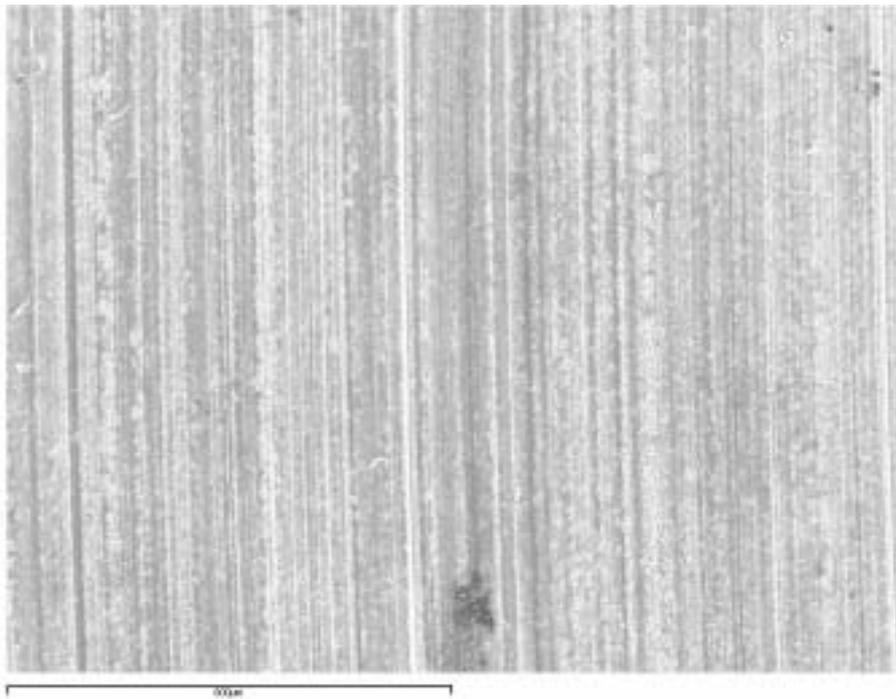


Figura 97. Detalle de la superficie de desgaste del diente.

€ D2:

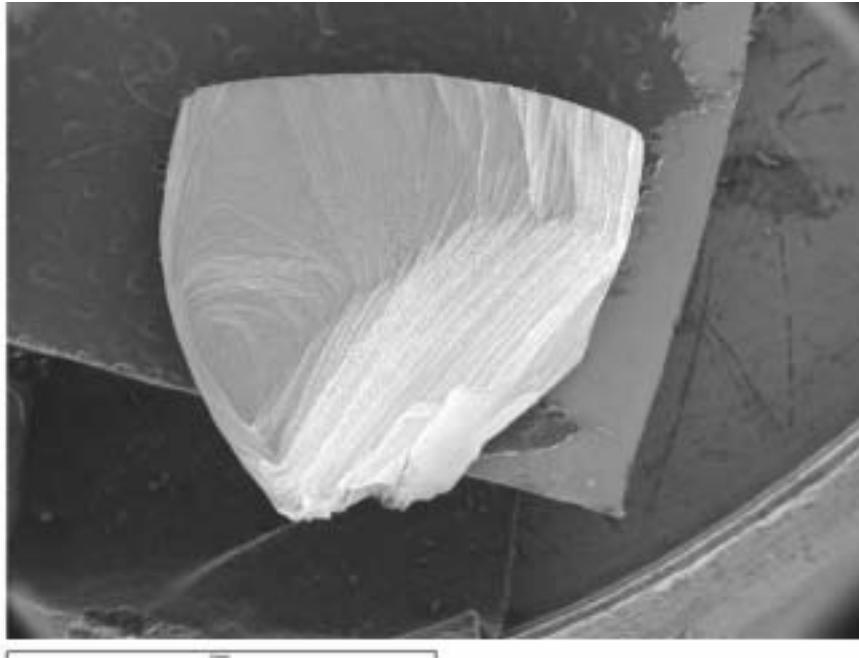


Figura 98. Superficie del diente.

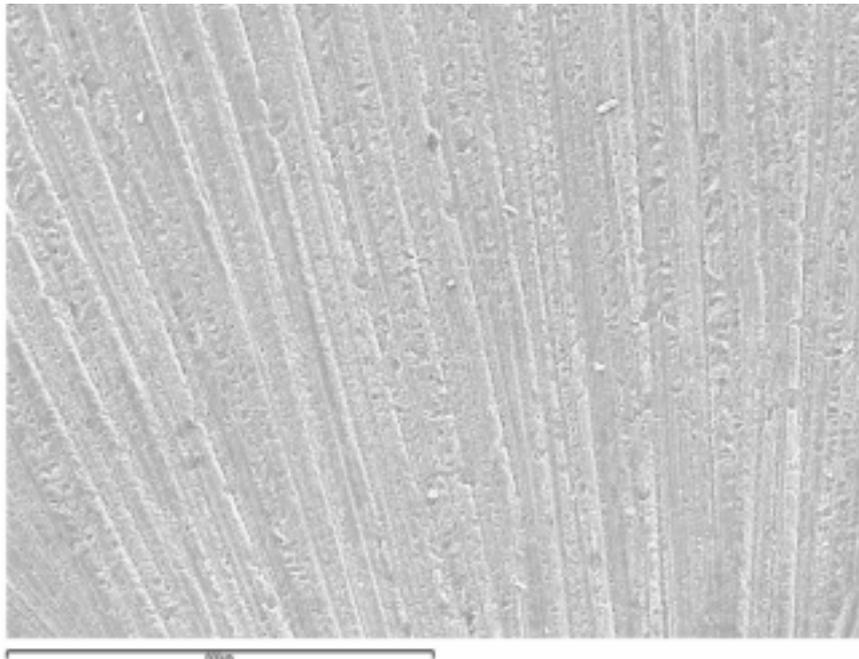


Figura 99. Detalle de la superficie del diente.

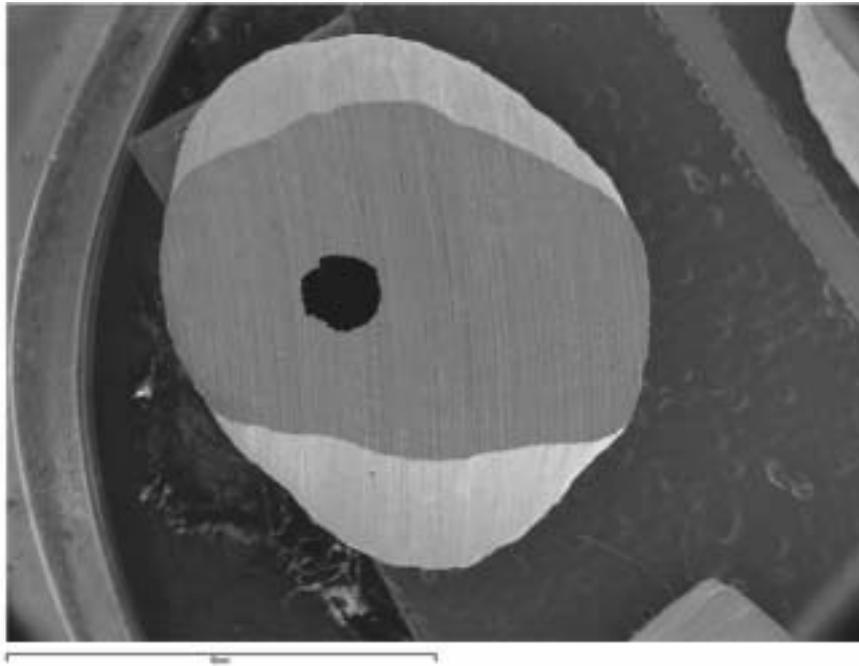


Figura 100. Zona del ensayo de desgaste en el diente.

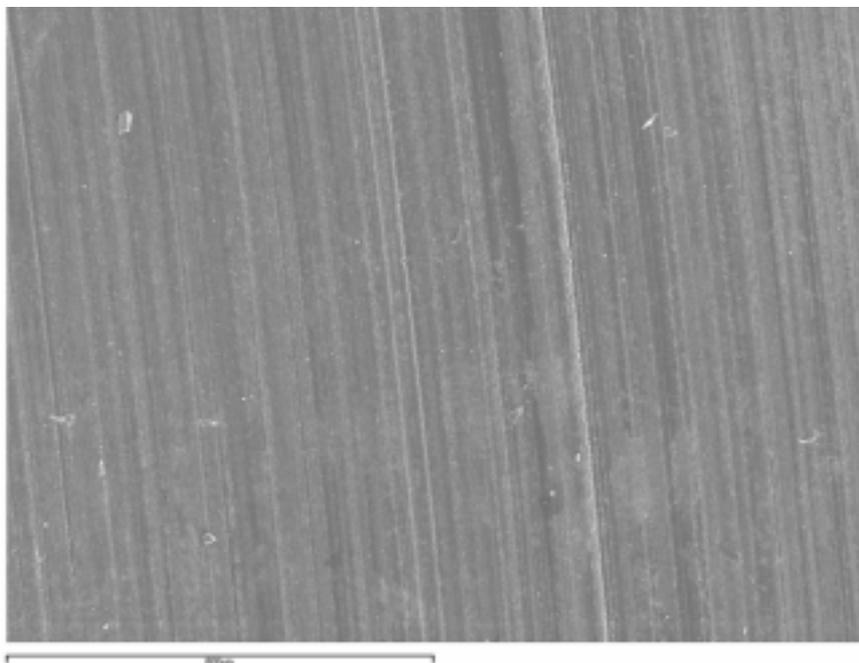


Figura 101. Detalle de la superficie de desgaste del diente.

€ D3:

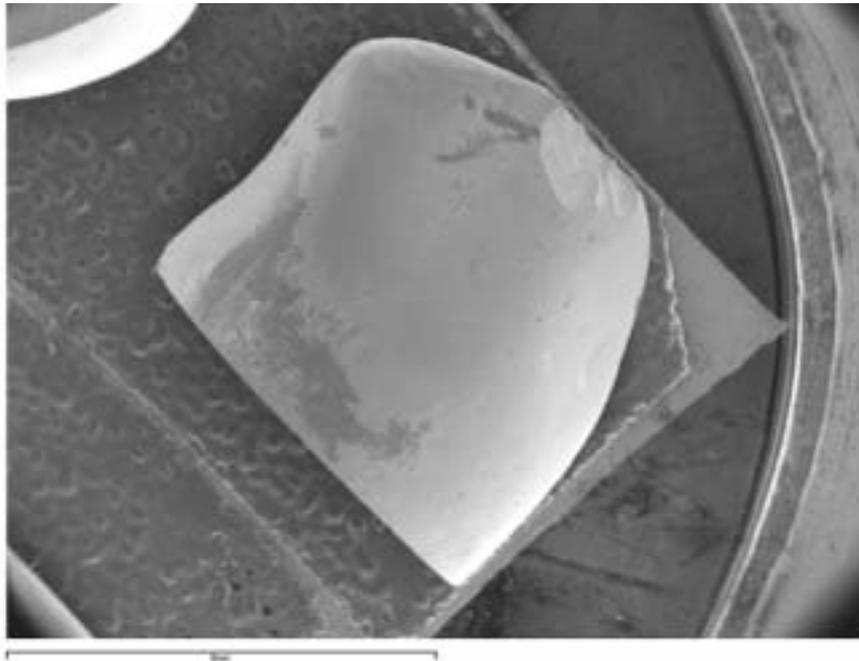


Figura 102. Superficie del diente.

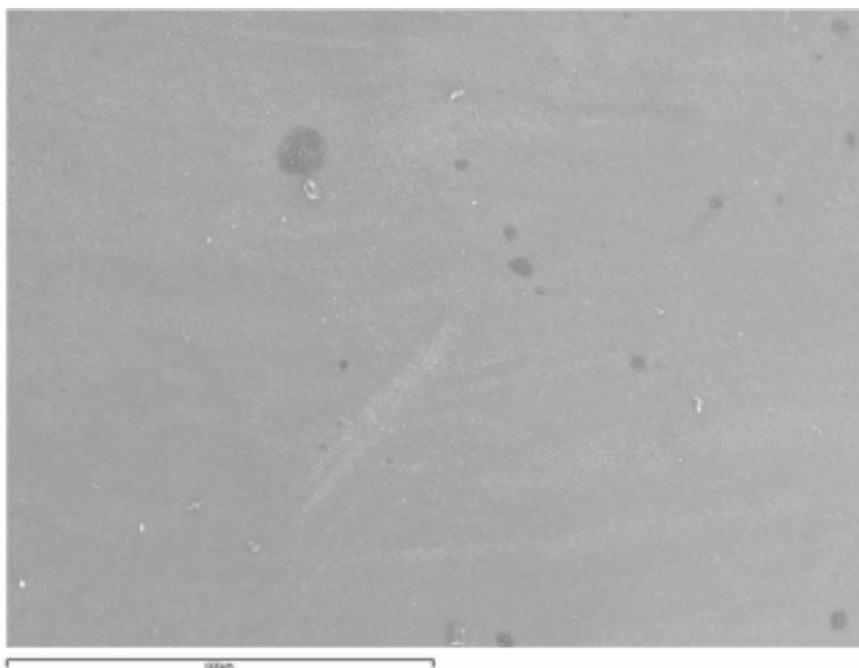


Figura 103. Detalle de la superficie del diente.

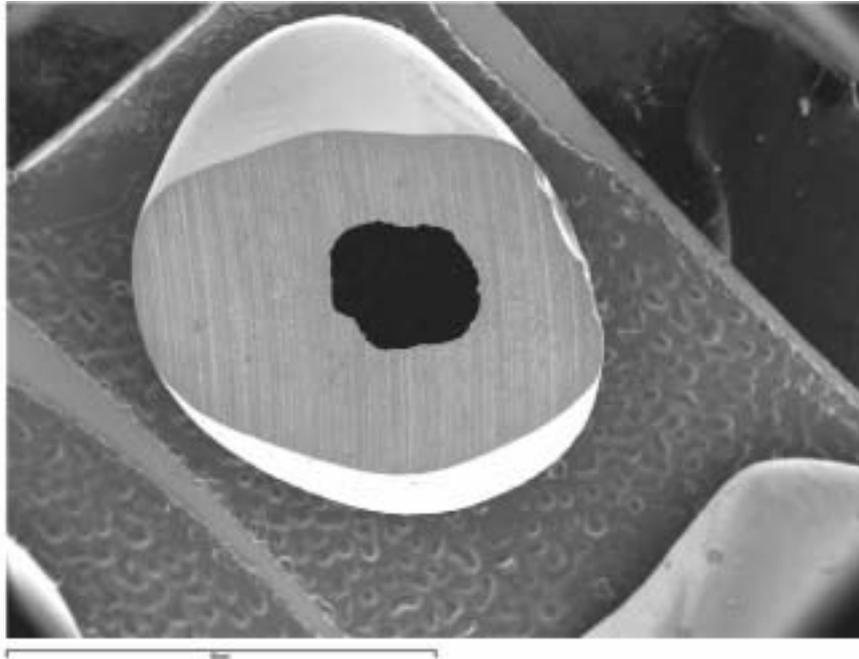


Figura 104. Zona del ensayo de desgaste en el diente.

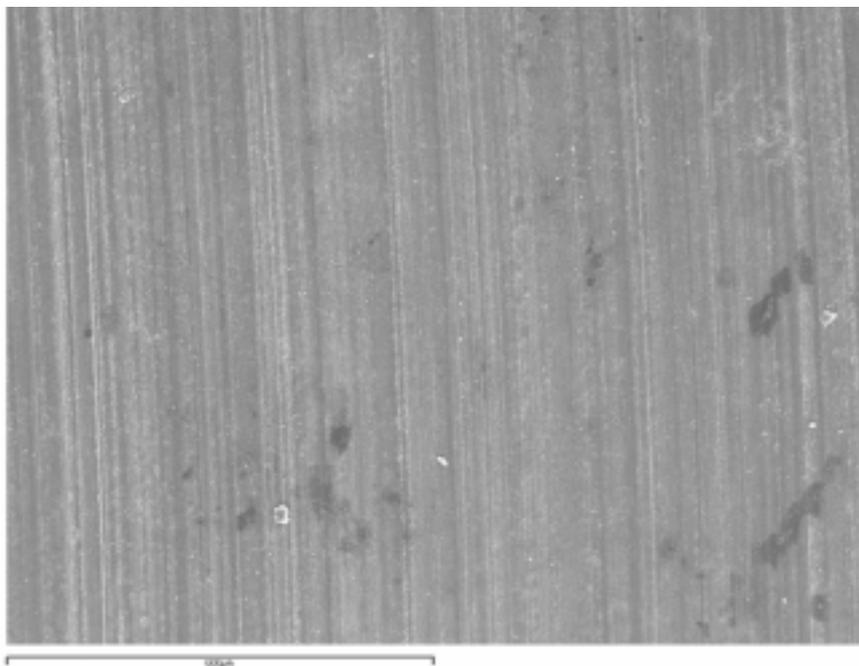


Figura 105. Detalle de la superficie de desgaste del diente.

€ D4:

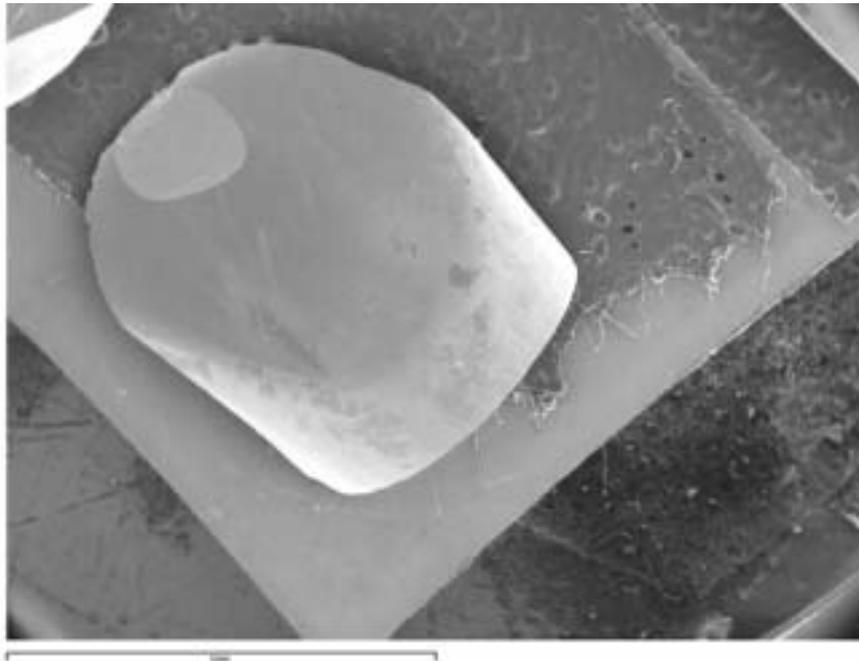


Figura 106. Superficie del diente.

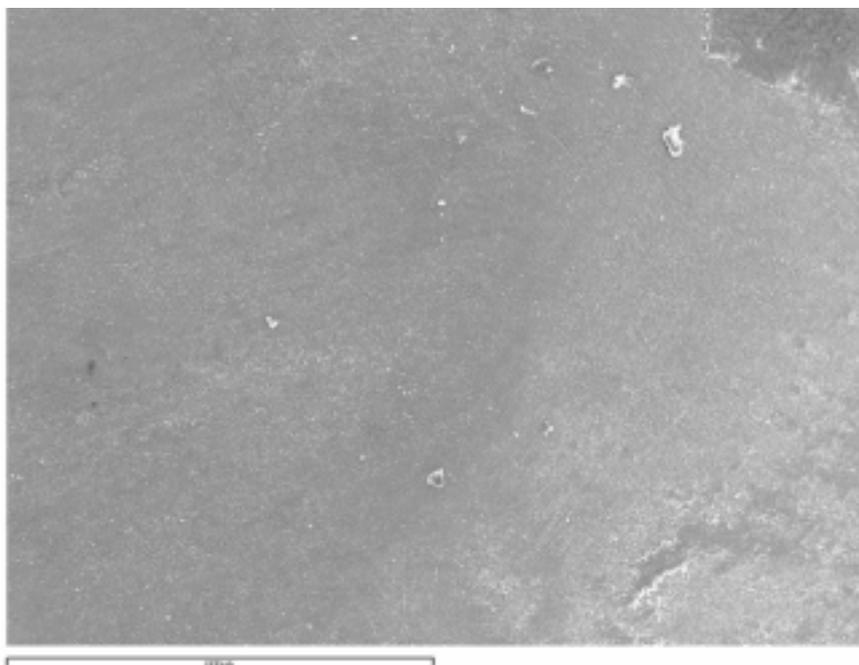


Figura 107. Detalle de la superficie del diente.

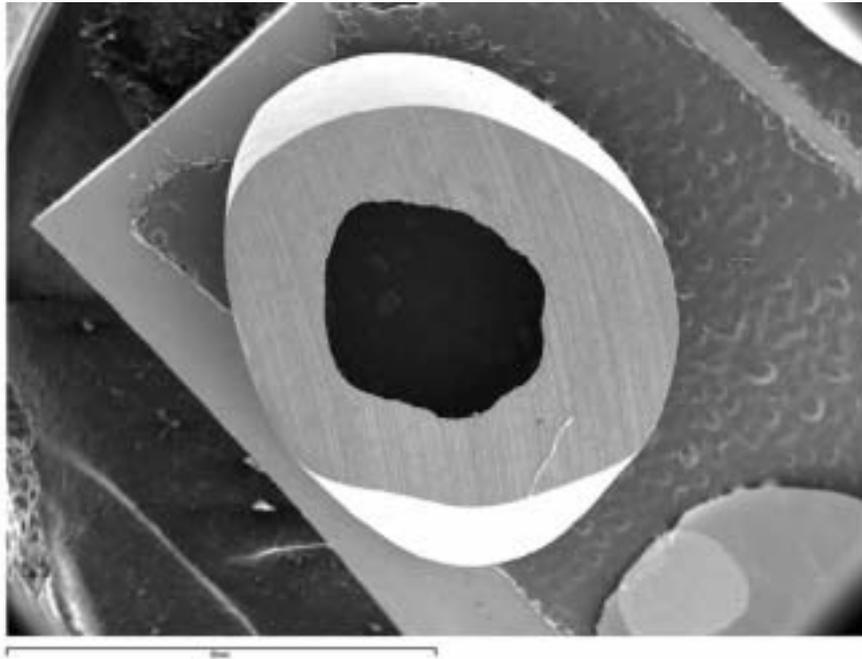


Figura 108. Zona del ensayo de desgaste en el diente.

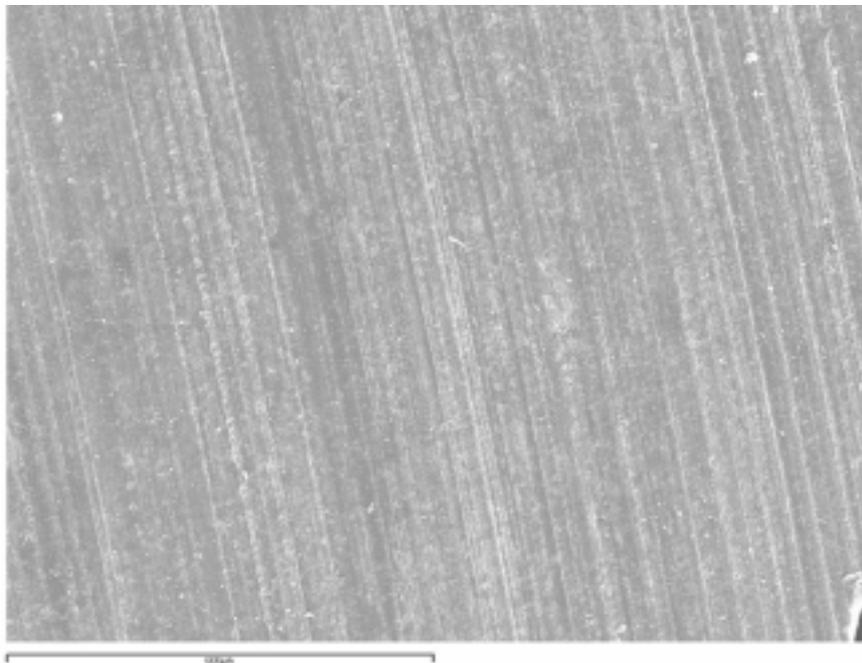


Figura 109. Detalle de la superficie de desgaste del diente.

### 5.2.7. Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X.

Los resultados podemos verlos en la tabla 13:

SPECTRUM	C	O	Na	Al	Si	Zr	TOTAL
Spectrum 1	23.13	59.75	0.20	0.30	11.34	5.29	100.00
Spectrum 2	19.24	47.44	0.34	0.37	21.88	10.73	100.00
Spectrum 3	19.98	50.09	0.38	---	19.85	9.70	100.00
Máximo	23.13	59.75	0.38	0.37	21.88	10.73	---
Mínimo	19.24	47.44	0.20	0.30	11.34	5.29	---

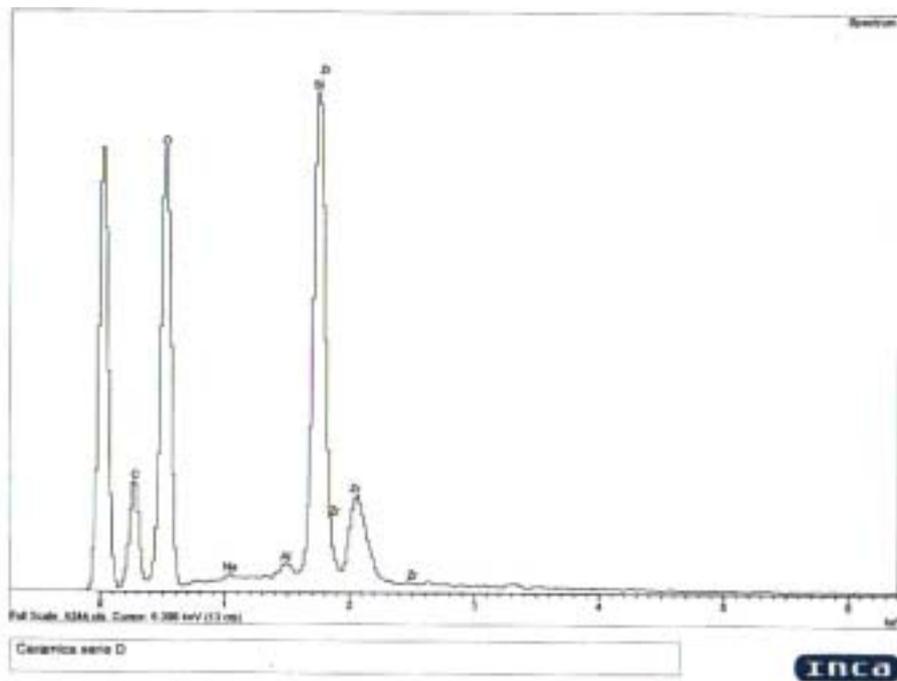


Figura 110.

Espectro EDS de la muestra 1 EXM.

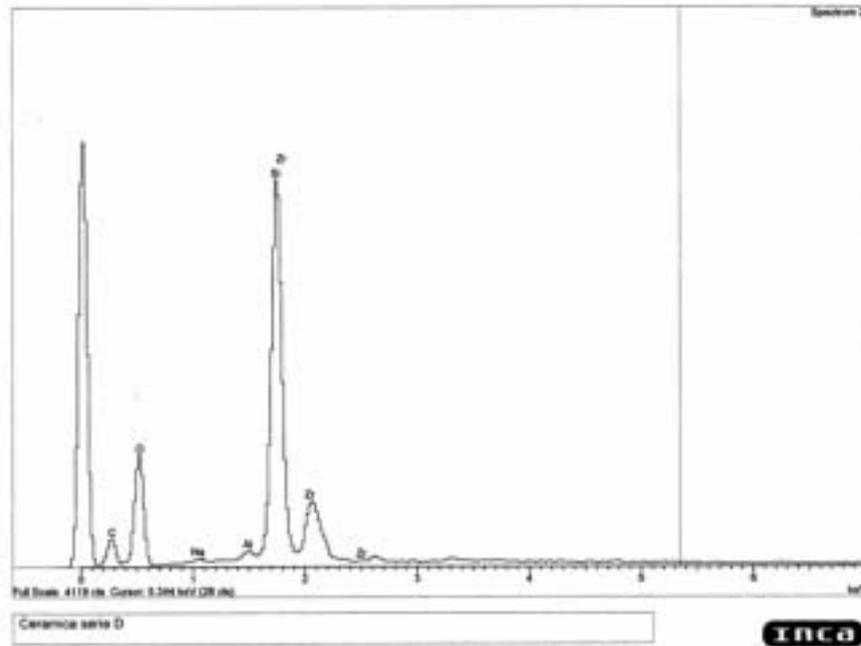


Figura 111.

Espectro EDS de la muestra 2 EXM.

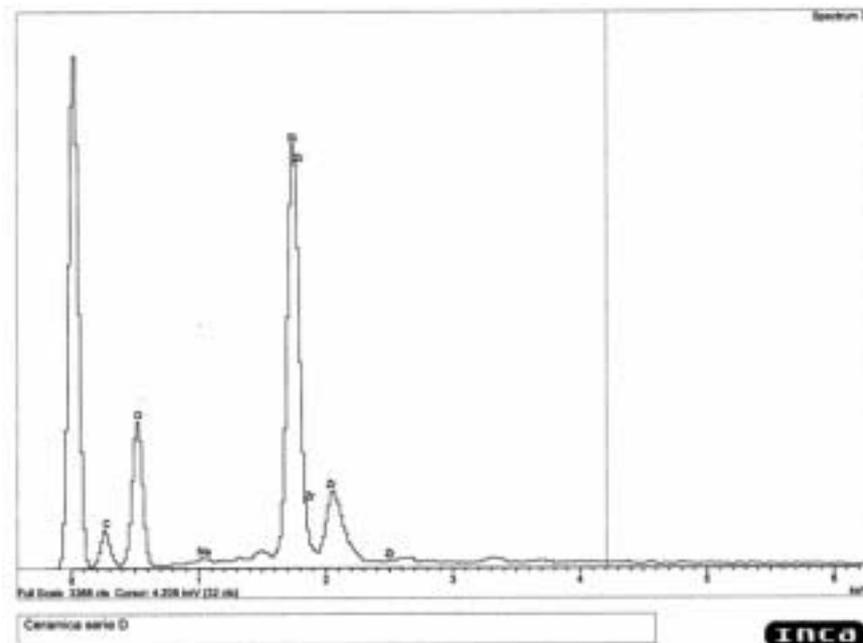


Figura 112.

Espectro EDS de la muestra 3 EXM.