

## V.1. Propiedades básicas de los compactos obtenidos

### V.1.1. Obtención experimental de la densidad de cada material

#### *Método geométrico*

De los compactos originales de cada tipo de material, ya consolidados, se han obtenido seis medidas geométricas, tanto de diámetro como de altura del cilindro, con el fin de obtener el volumen aproximado que encierra cada pieza con un pie de rey y se pesó cada muestra. El resultado promediado se muestra en la Tabla V - 1 para cada material.

Método geométrico	Diametro(cm)	Altura(cm)	Volumen(cm <sup>3</sup> )	Masa(g)
AL-AM-60min	1,19	1,35	1,49	3,94
AL-NH3-60min	1,17	1,34	1,43	3,89
AL-NH3-30min	1,17	1,35	1,44	3,91

Tabla V - 1 Resultados del método geométrico para medir la densidad experimental

Ahora, dividiendo la masa entre el volumen se obtiene la densidad experimental por el método geométrico. Los resultados se encuentran en la Tabla V - 2.

	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
AL-AM-60min	2,65
AL-NH3-60min	2,72
AL-NH3-30min	2,72

Tabla V - 2 Densidad y porosidad experimental obtenida a partir del método geométrico

*Método de Arquímedes*

Siguiendo lo que se explicó en el capítulo experimental, se han obtenido los siguientes resultados experimentales de la densidad para cada material (Tabla V - 3).

Método ASTM	Peso seco (g)	Peso sumergido (g)	Peso saturado (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
AL-AM-60min	3,94	2,45	3,96	2,60
AL-NH3-60min	3,89	2,46	3,90	2,69
AL-NH3-30min	3,91	2,48	3,92	2,71

Tabla V - 3 Resultados y densidad experimental obtenida a partir del método ASTM

	Porosidad int. (%)	Porosidad total (%)
AL-AM-60min	1,52	3,76
AL-NH3-60min	0,75	0,38
AL-NH3-30min	0,76	-0,39

Tabla V - 4 Porosidad interconectada y total

En el caso del aluminio nitrurado y sinterizado durante 30 minutos aparece una porosidad total negativa, se considerará que no tiene porosidad, con lo cual es un compacto con un 0% de porosidad.

Los resultados que se utilizarán posteriormente serán los obtenidos por el método que marca la norma ASTM, dado que se considera más preciso.

*V.1.2. Ensayos de microdureza convencional*

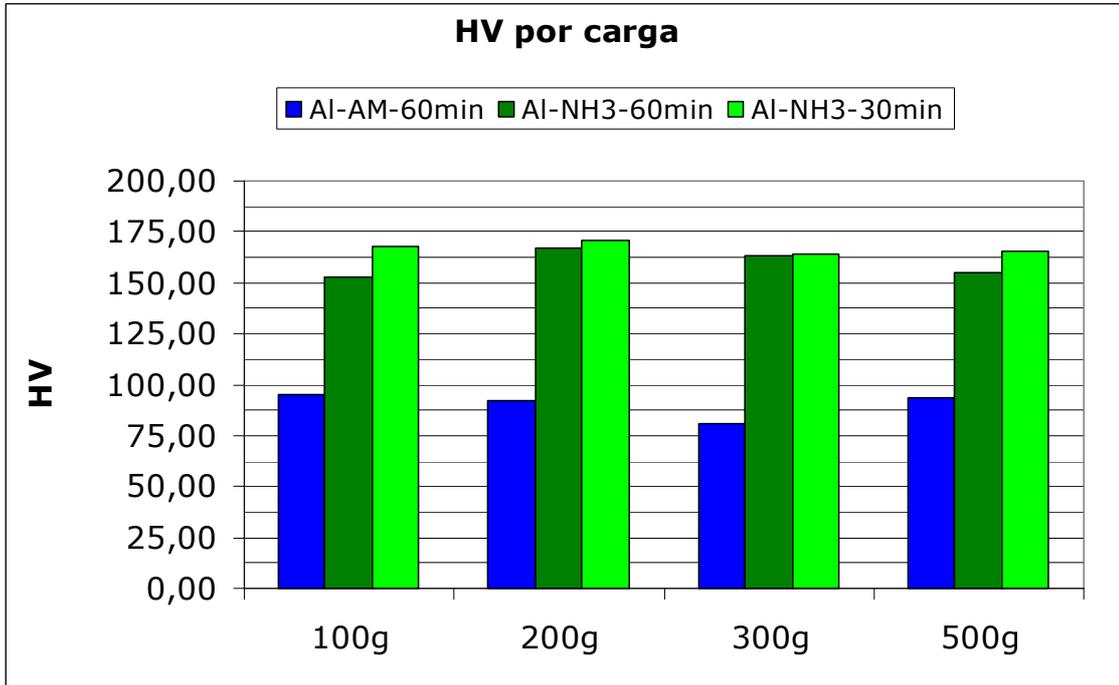
Los resultados adquiridos en los ensayos de microdureza reflejan como materiales más duros los nitrurados, con dureza muy similar, y como era esperable, el más blando es Al-Am-60min, dado el comportamiento dúctil que se observó en los ensayos biaxiales (Tabla V - 4 y Tabla V - 5).

Carga (g)	d (mm)		
	Al-AM-60min	Al-NH3-60min	Al-NH3-30min
100	0,04409	0,03485	0,033200
200	0,06234	0,04706	0,046565
300	0,08300	0,05838	0,058215
500	0,09960	0,07729	0,074815

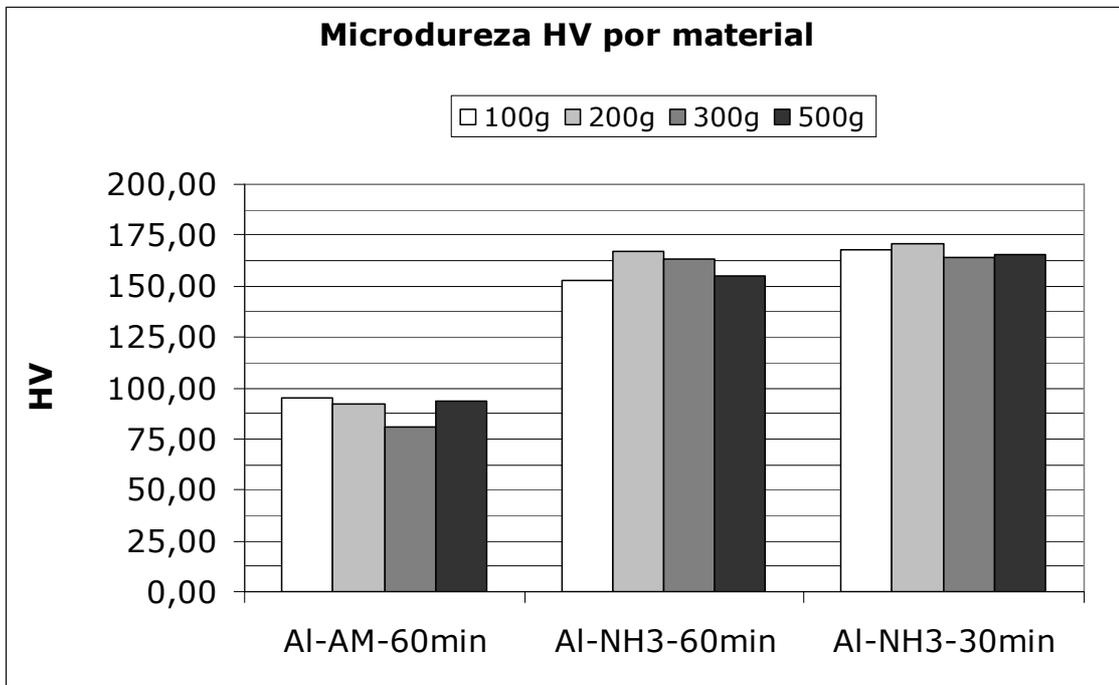
Tabla V - 5 Diagonal resultante medida por medios ópticos con zoom 60x para cada material y carga

Carga (g)	HV			
	100g	200g	300g	500g
Al-AM-60min	95	92	81	93
Al-NH3-60min	153	167	163	155
Al-NH3-30min	168	171	164	165

Tabla V - 6 Dureza Vickers (HV) resultante en los ensayos de microdureza convencional para cada material y carga



Gráfica V - 1 Comparativa de la dureza HV (Vickers) por cada nivel de carga



Gráfica V - 2 Comparativa de la dureza HV (Vickers) para cada material

## V.2. Comportamiento mecánico

### V.2.1. Ensayos por ultrasonidos para la obtención del Módulo de Young dinámico

Se han realizado los ensayos por el procedimiento explicado en el apartado experimental con los resultados expuestos en la Tabla V - 7.

	C-Long. (m/s)	C-Trans. (m/s)	Parámetro (Pa)	Módulo de Young (Gpa)
<b>Al-AM-60min</b>	6370	3265	28124666,72	<b>74,35</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	6776	3360	31005391,79	<b>82,91</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	6759	3351	30607508,9	<b>81,85</b>

Tabla V - 7 Módulo de Young dinámico a partir de las velocidades longitudinales y transversales

### V.2.2. Ensayos biaxiales

Los datos adquiridos a partir de los ensayos biaxiales se trataron de manera que en las gráficas de los siguientes apartados aparece la tensión teórica en el punto central de las probetas por los dos métodos explicados en el apartado teórico (Shetty y Borger) (Tabla V - 8).

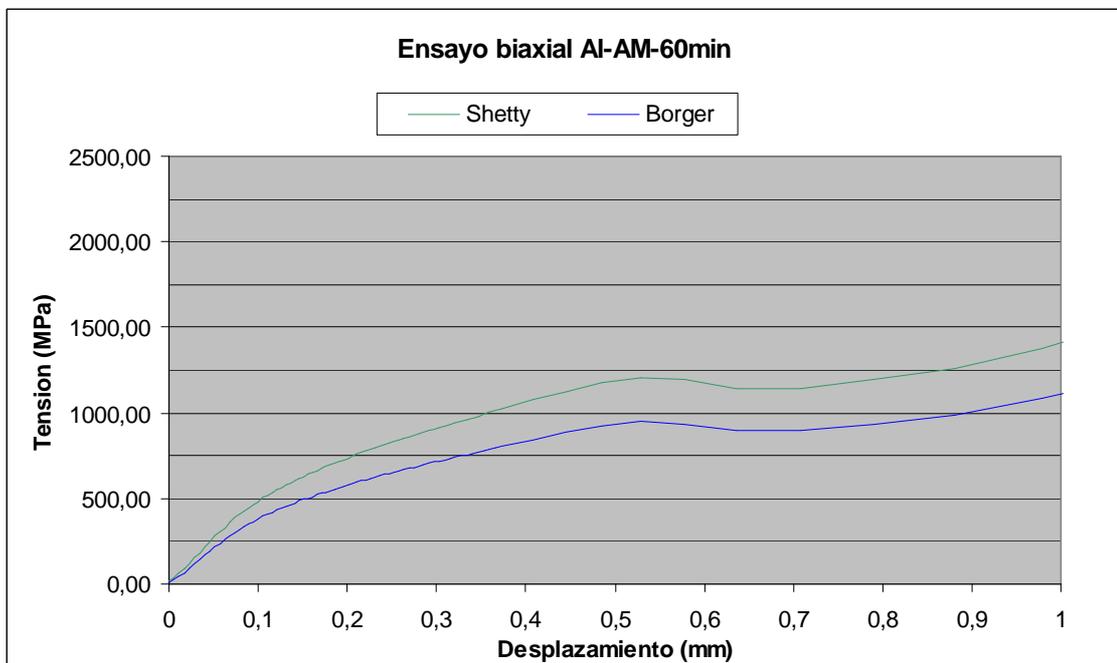
	Tensión Borger (Mpa)	Tensión Shetty (Mpa)	Desplazamiento (mm)
<b>Al-AM-60min</b>	947,67	1206,11	0,57812
<b>Al-NH3-60min</b>	1668,97	2124,12	0,3334
<b>Al-NH3-30min</b>	1408,69	1792,86	0,29676

Tabla V - 8 Tensión teórica máxima en los ensayos biaxiales a partir de los datos de adquisición

Se puede decir que es el Al-NH3-60min el que tiene una mayor resistencia mecánica para este tipo de ensayo, a la vista de los resultados. Además se observó una rotura frágil, lo cual es necesario para poder determinar que el ensayo es correcto. El material Al-NH3-30min también obtuvo una rotura frágil con lo cual es comparable y con una menor tenacidad dado que se puede ver en los resultados que, tanto el desplazamiento como la tensión, son valores de menor valor.

#### V.2.2.1. Ensayo de Al-AM-60min

Se observa una evolución dúctil del ensayo que no llega a detectarse un decremento de carga (Gráfica V - 3), con lo que se detuvo el ensayo tras comprobar que la muestra ya había roto dúctilmente. Se estima la rotura en la primera cresta de nivel de tensión. Además el espesor de la muestra era menos de 1mm con lo cual se puede considerar el incremento de carga posterior debido al rozamiento y a la deformación de la muestra contra las bolas soporte.

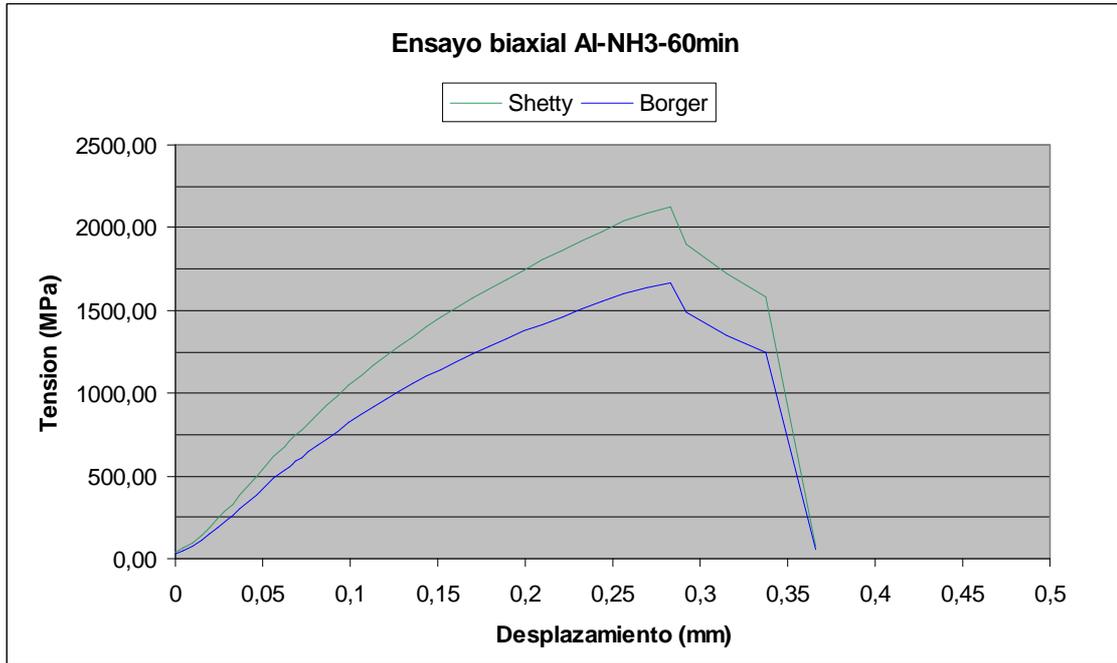


Gráfica V - 3 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-AM-60min frente a desplazamiento

#### V.2.2.2. Ensayo de Al-NH3-60min

En relación a la pendiente de carga se advierte que decrece conforme aumenta el desplazamiento (Gráfica V - 4), lo que implica un cierto comportamiento dúctil que no se aprecia en la variante Al-NH3-30min (Gráfica V - 5).

En las Figura V - 1 y Figura V - 2 se puede ver la imagen resultante de la fractura por microscopía óptica, se advierte una rotura frágil en tres trozos. En la imagen de la derecha se advierte que no hay una deformación plástica apreciable previa a la rotura.



Gráfica V - 4 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-NH3-60min frente a desplazamiento

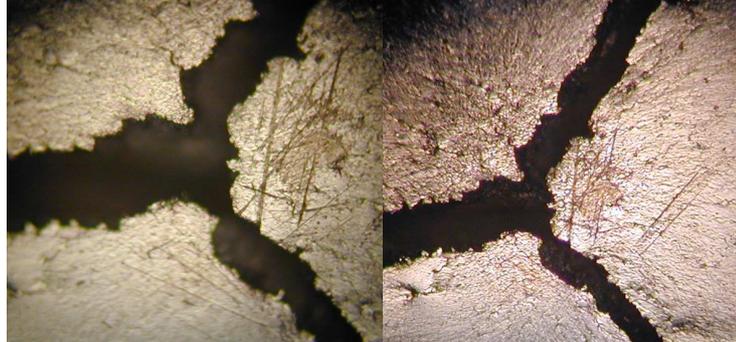
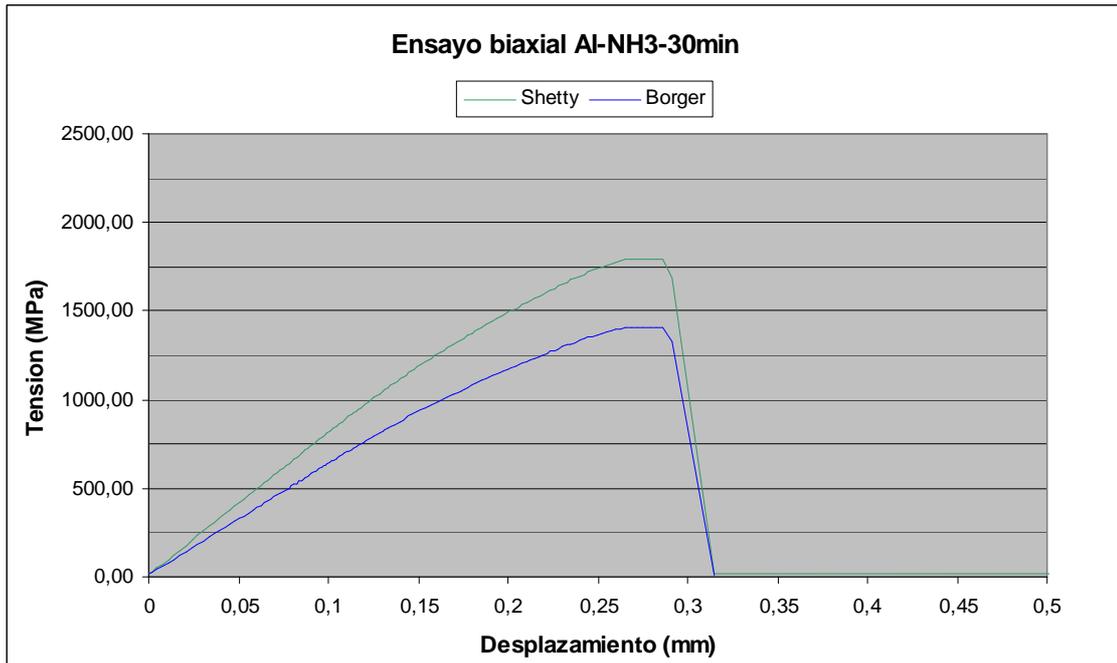


Figura V - 1 Imágenes resultantes del ensayo biaxial en Al-NH3-60min



Figura V - 2 Imagen de detalle en los puntos de apoyo, en el material Al-NH3-60min

### V.2.2.3. Ensayo de Al-NH3-30min



Gráfica V - 5 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-NH3-30min frente a desplazamiento

En las Figura V - 3 y Figura V - 4 se puede ver la imagen resultante de la fractura por microscopía óptica, se advierte una rotura frágil en dos trozos, con un cierto nivel de deformación plástica, lo cual explica la forma en que acaba la cresta de rotura en la Gráfica V - 5.

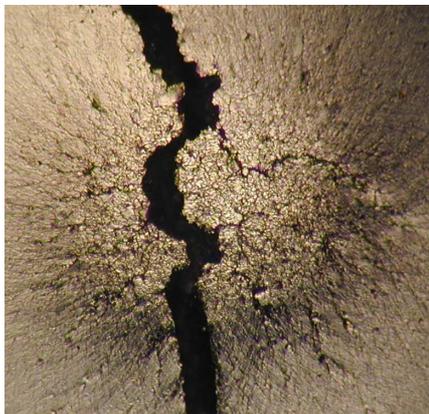


Figura V - 3 Resultante del ensayo biaxial en al-NH3-30min



Figura V - 4 Imagen de detalle en los puntos de apoyo, en el material Al-NH3-30min

### **V.3. Comportamiento tribológico**

#### ***V.3.1. Datos tribológicos de los ensayos continuos***

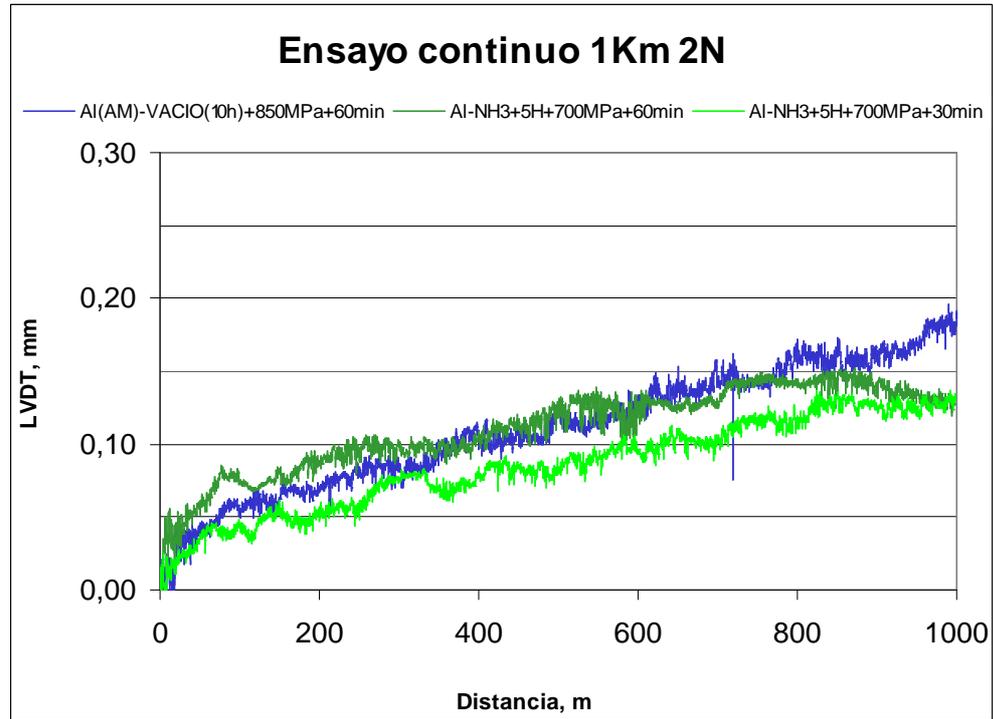
Se exponen los datos adquiridos en los ensayos continuos para los tres materiales ensayados con gráficas que representan, por parejas, la penetración del indentador (LVDT) respecto a la distancia recorrida y otra que representa la evolución del coeficiente de rozamiento en función de la distancia recorrida.

##### **V.3.1.1. Ensayos continuos de 1Km**

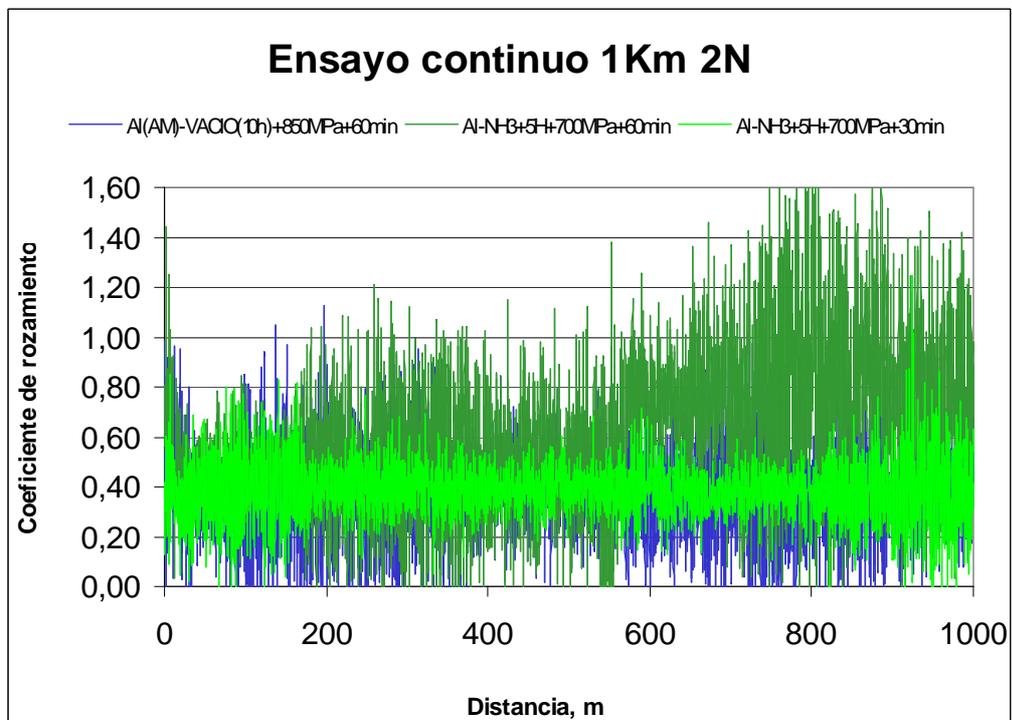
Aquí se incluyen todos los experimentos realizados para cada carga, desde 2N hasta 15N, y para los tres materiales ensayados. Además se incluyen las gráficas correspondientes a los ensayos de 2Km pero representando solo la mitad del ensayo, con nomenclatura 2Km/2.

##### ***V.3.1.1.1. Ensayos a 2N***

Es destacable la variabilidad observada en las gráficas de LVDT para 2N y la dispersión de los valores del coeficiente de rozamiento.

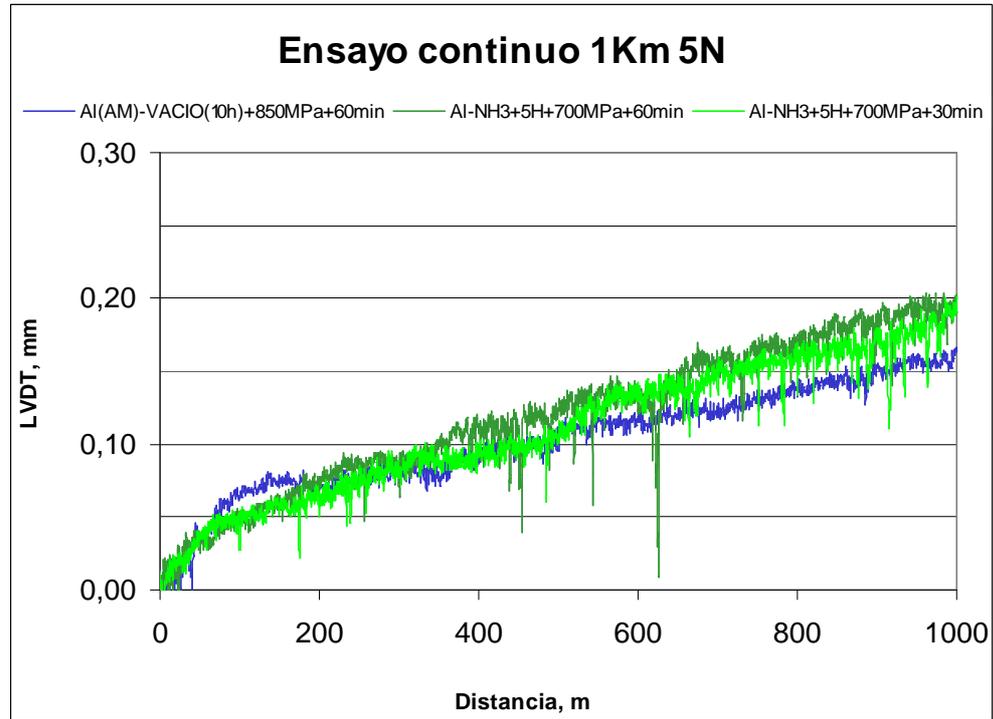


Gráfica V - 6 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 2N

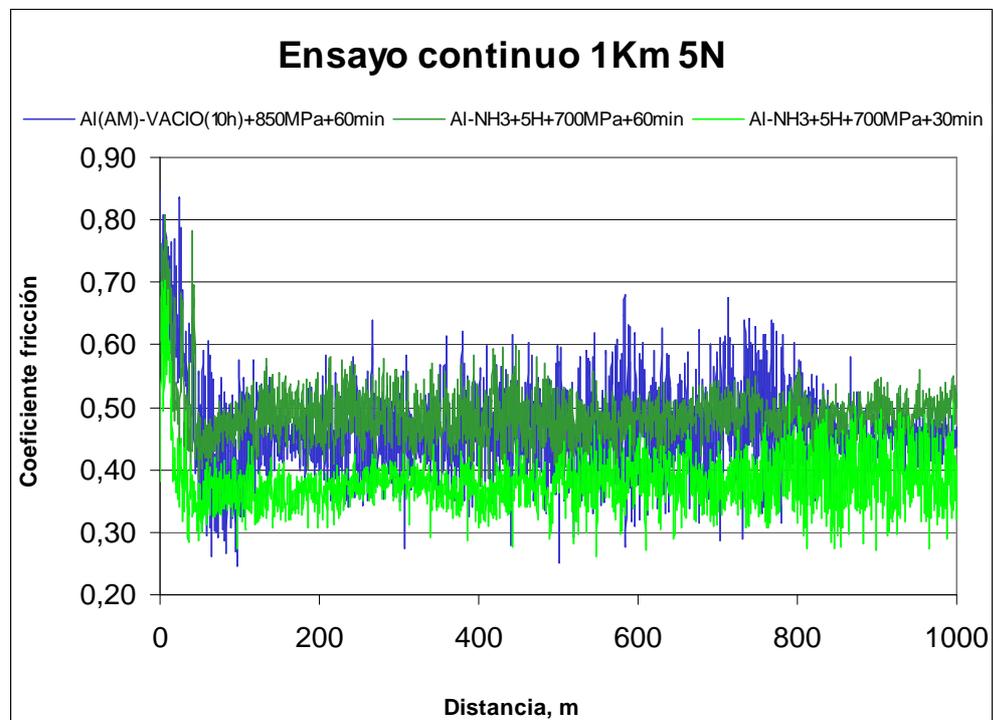


Gráfica V - 7 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 2N

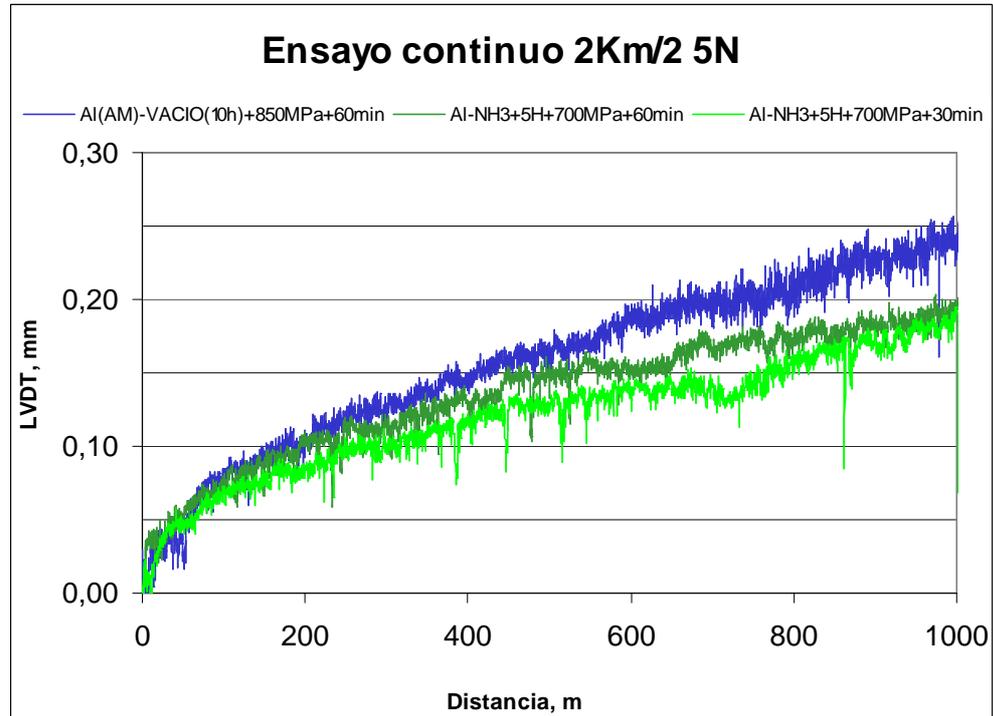
V.3.1.1.2. Ensayos a 5N



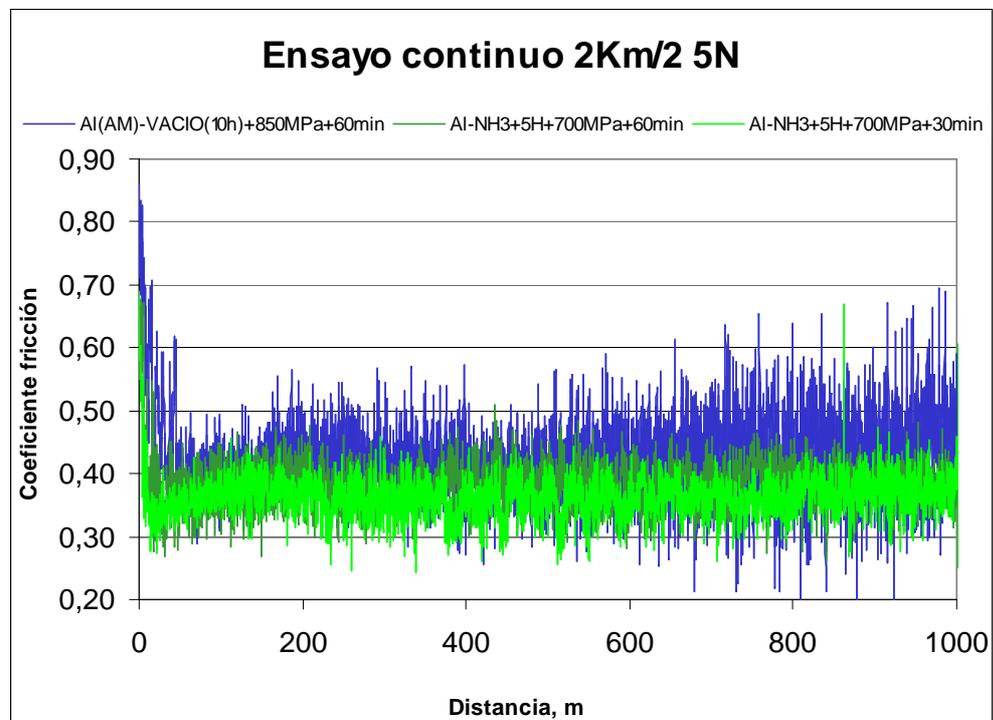
Gráfica V - 8 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N



Gráfica V - 9 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N

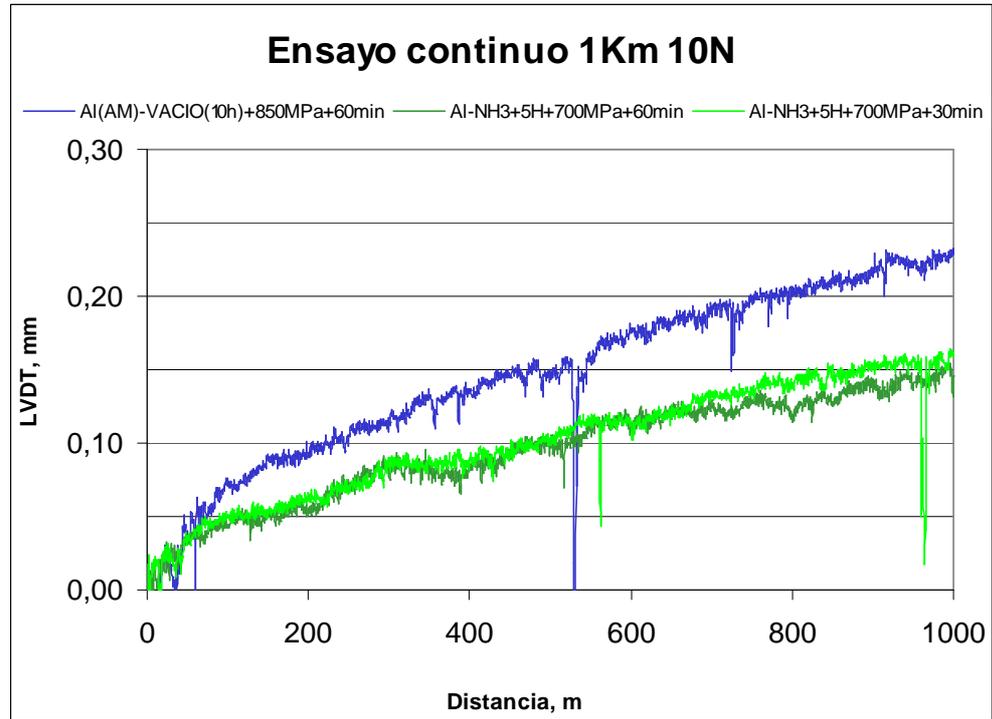


Gráfica V - 10 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 5N

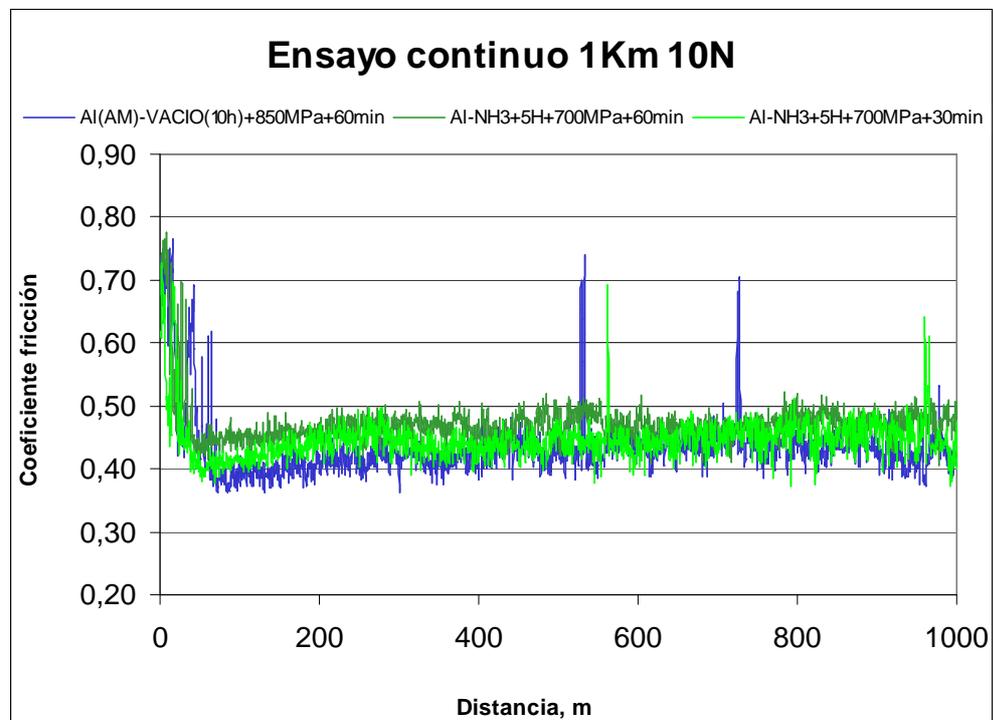


Gráfica V - 11 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 5N

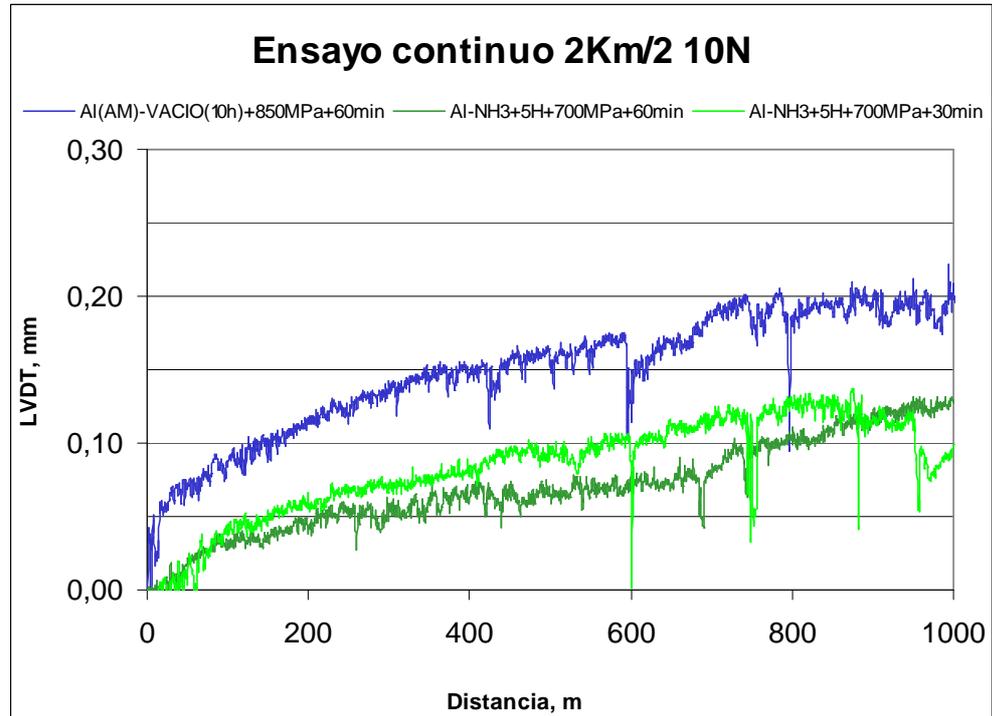
V.3.1.1.3. Ensayos a 10N



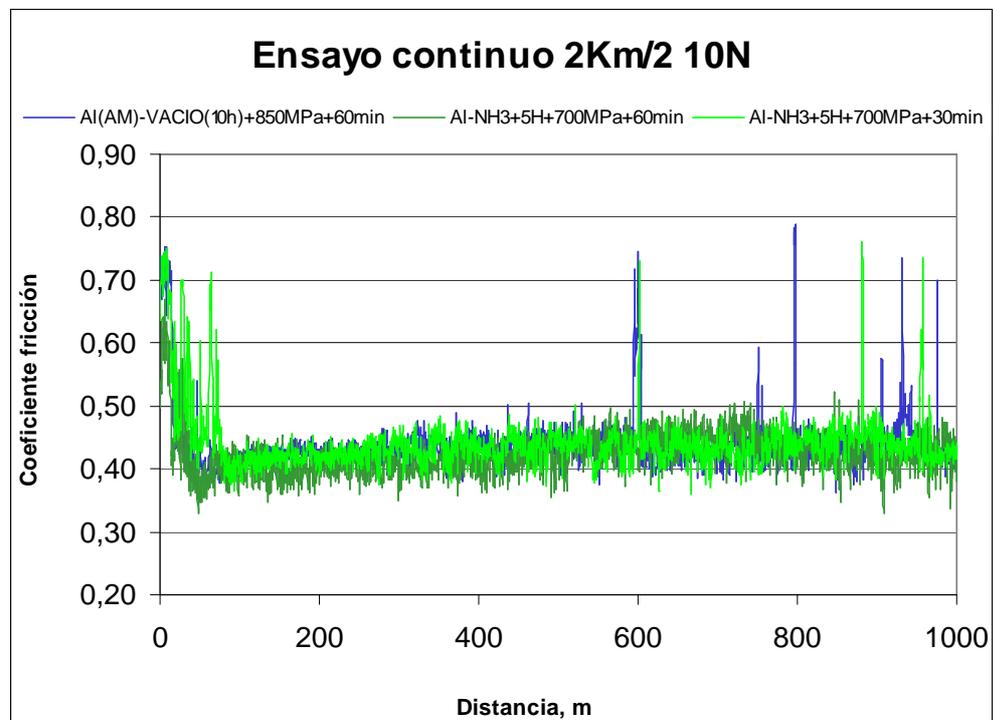
Gráfica V - 12 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 10N



Gráfica V - 13 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N

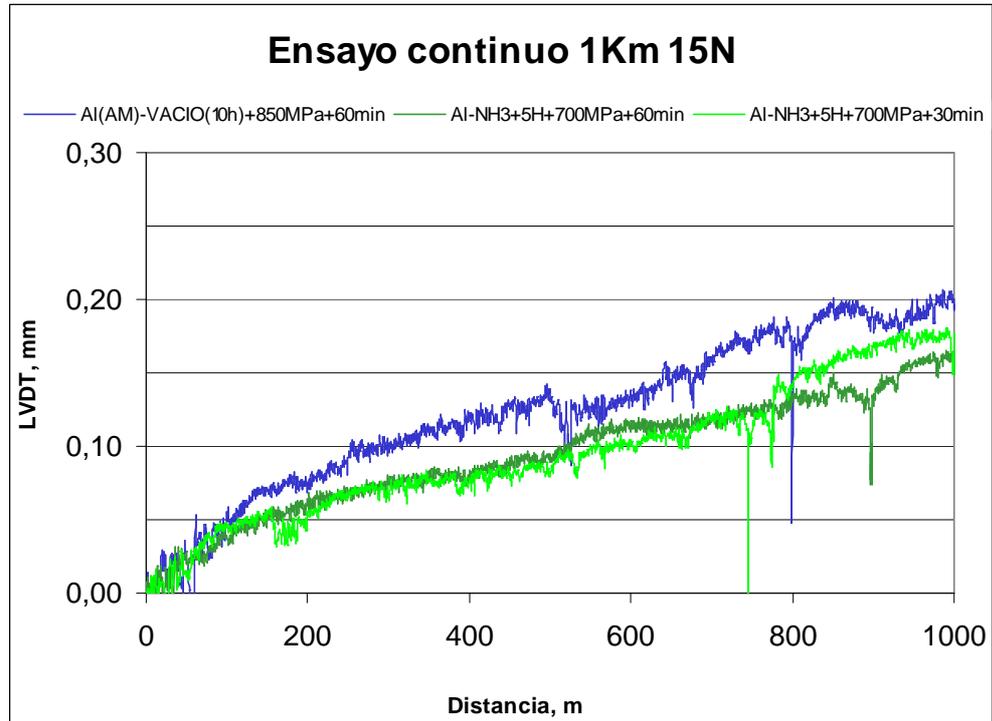


Gráfica V - 14 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 10N

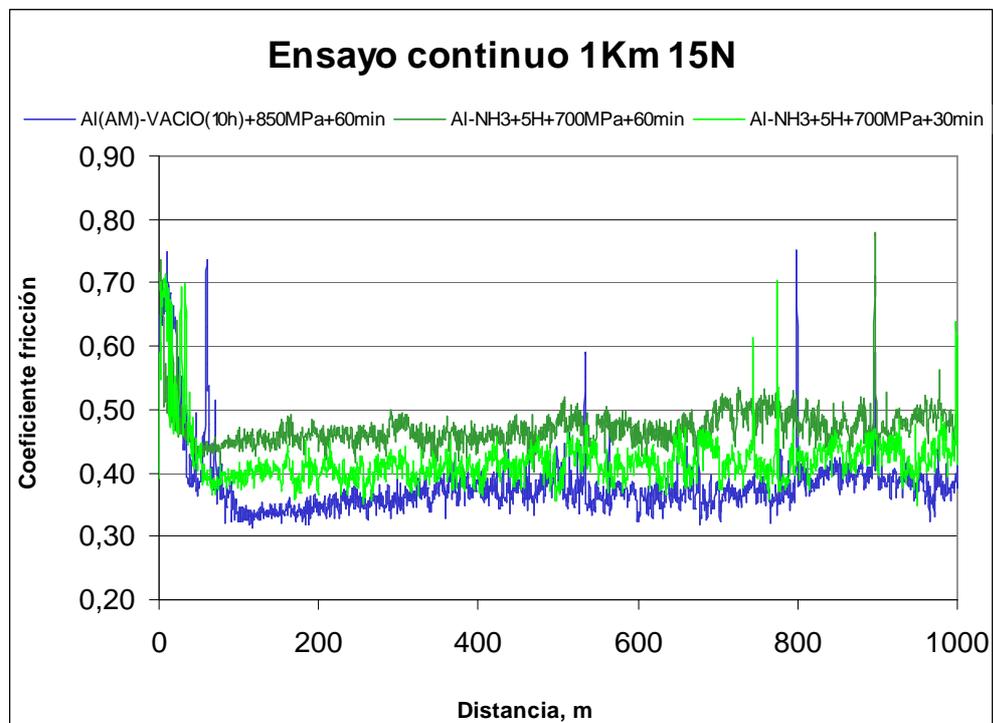


Gráfica V - 15 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 10N

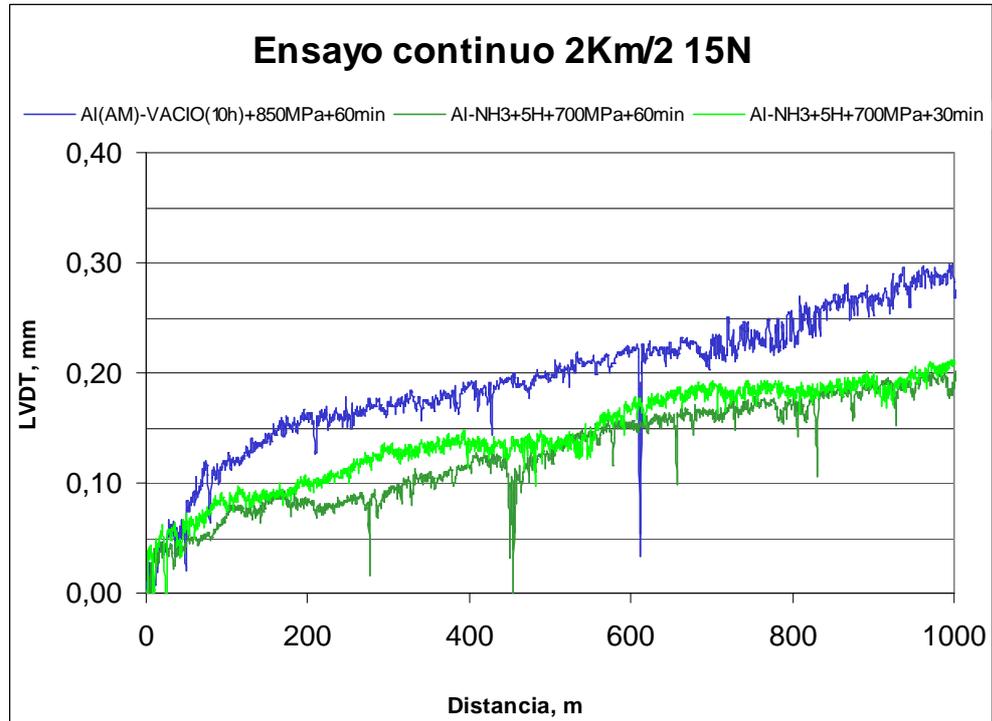
V.3.1.1.4. Ensayos a 15N



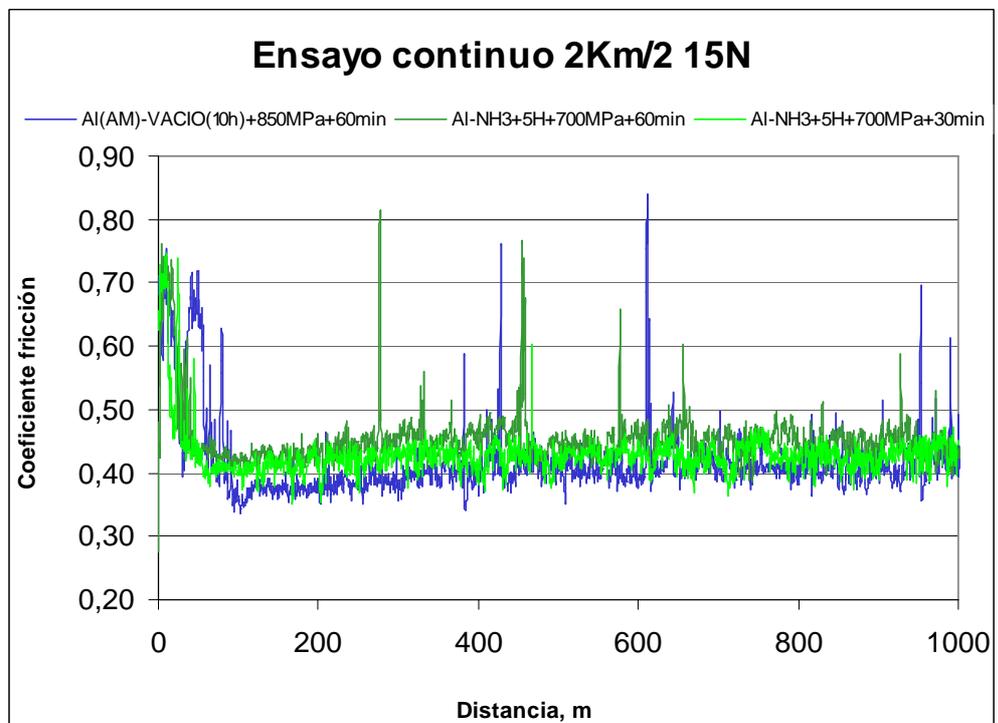
Gráfica V - 16 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 15N



Gráfica V - 17 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 15N



Gráfica V - 18 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 15N

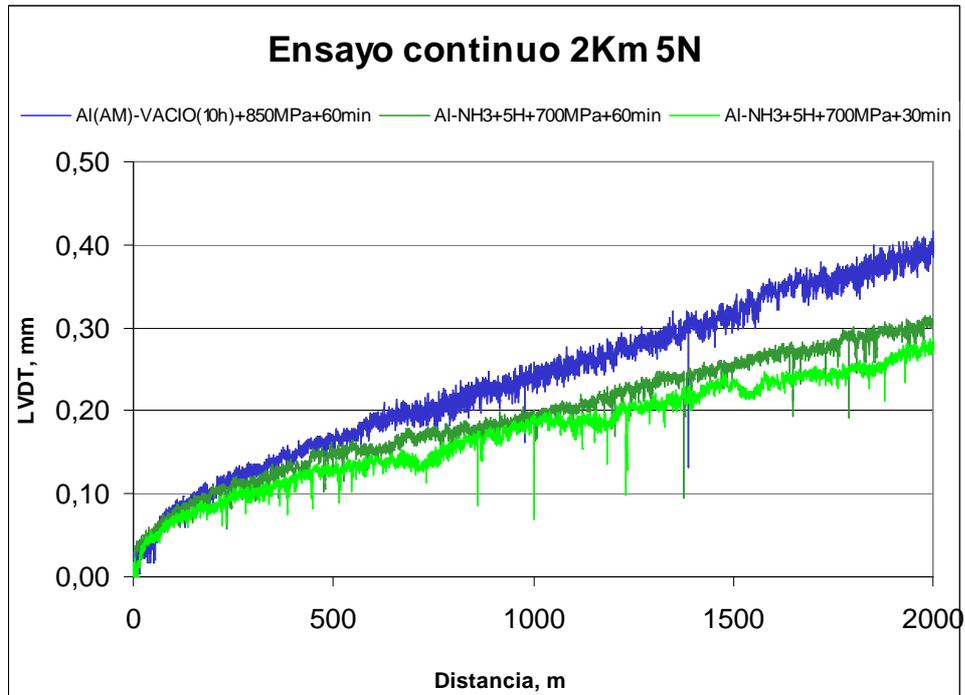


Gráfica V - 19 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 15N

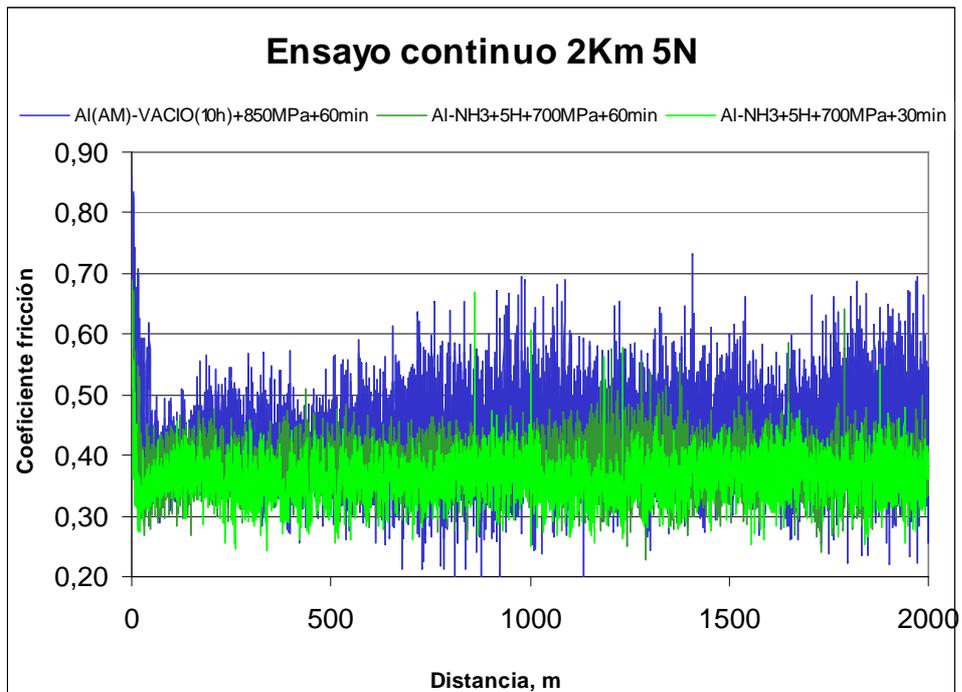
### V.3.1.2. Ensayos continuos de 2Km

Aquí se incluyen todos los experimentos realizados para cada carga, desde 5N hasta 15N, y para los tres materiales ensayados.

#### V.3.1.2.1. Ensayos a 5N

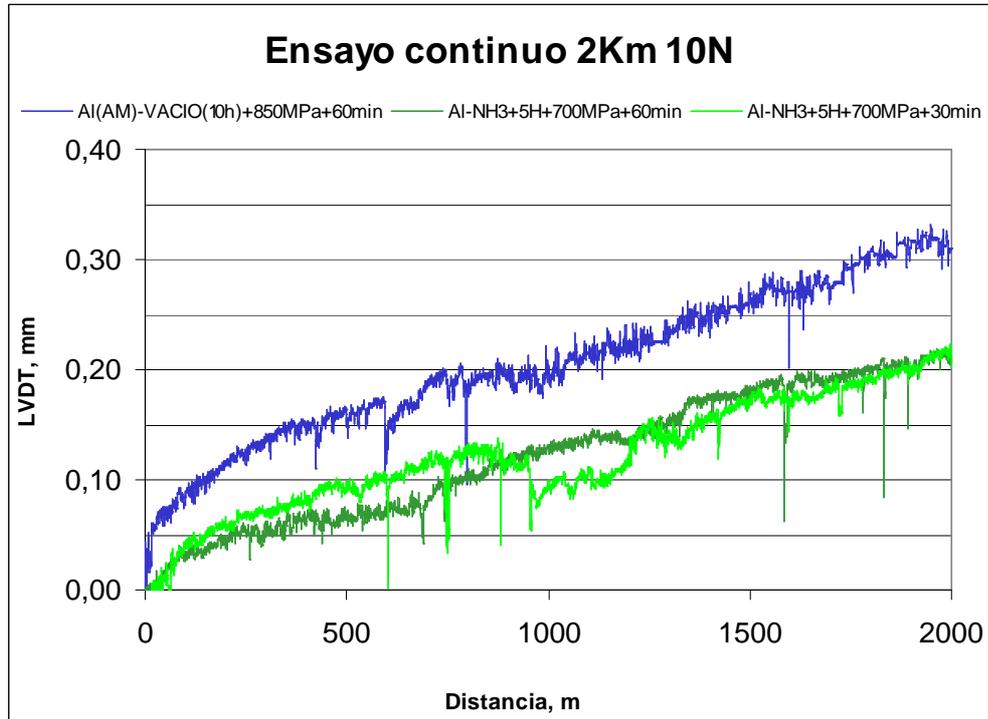


Gráfica V - 20 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 5N

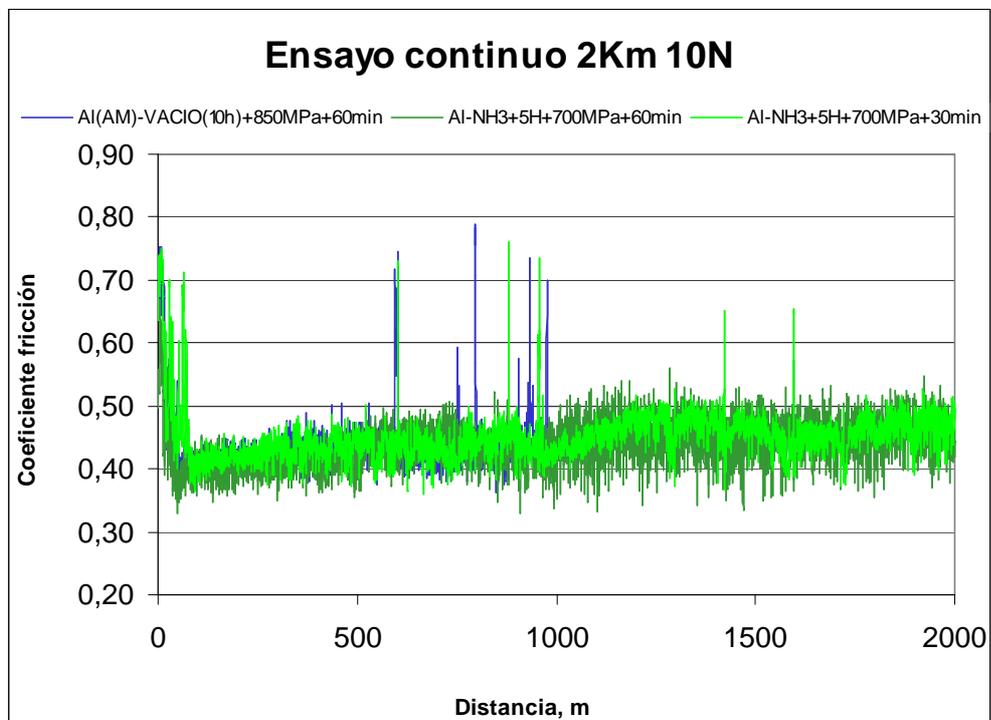


Gráfica V - 21 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 5N

V.3.1.2.2. Ensayos a 10N

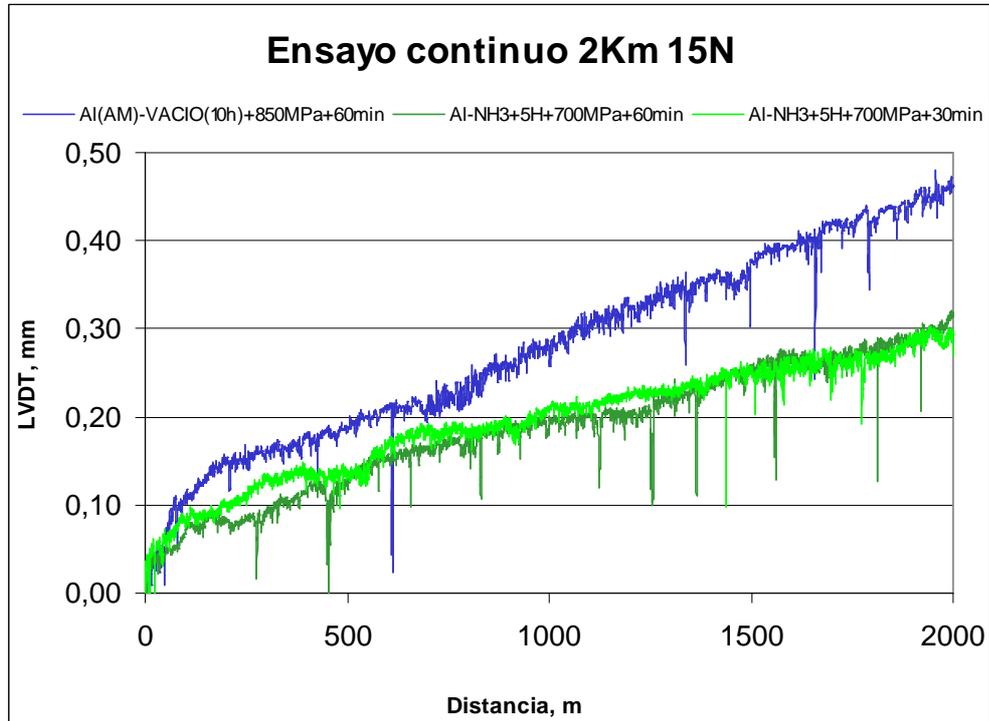


Gráfica V - 22 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 10N

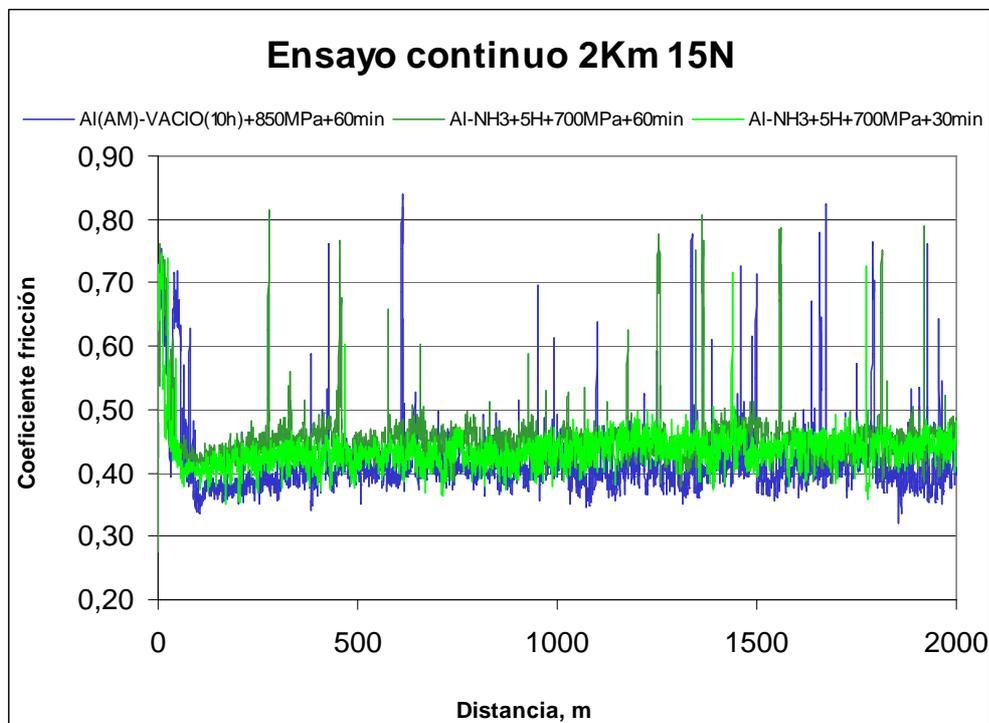


Gráfica V - 23 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 10N

V.3.1.2.3. Ensayos a 15N



Gráfica V - 24 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 15N



Gráfica V - 25 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 15N

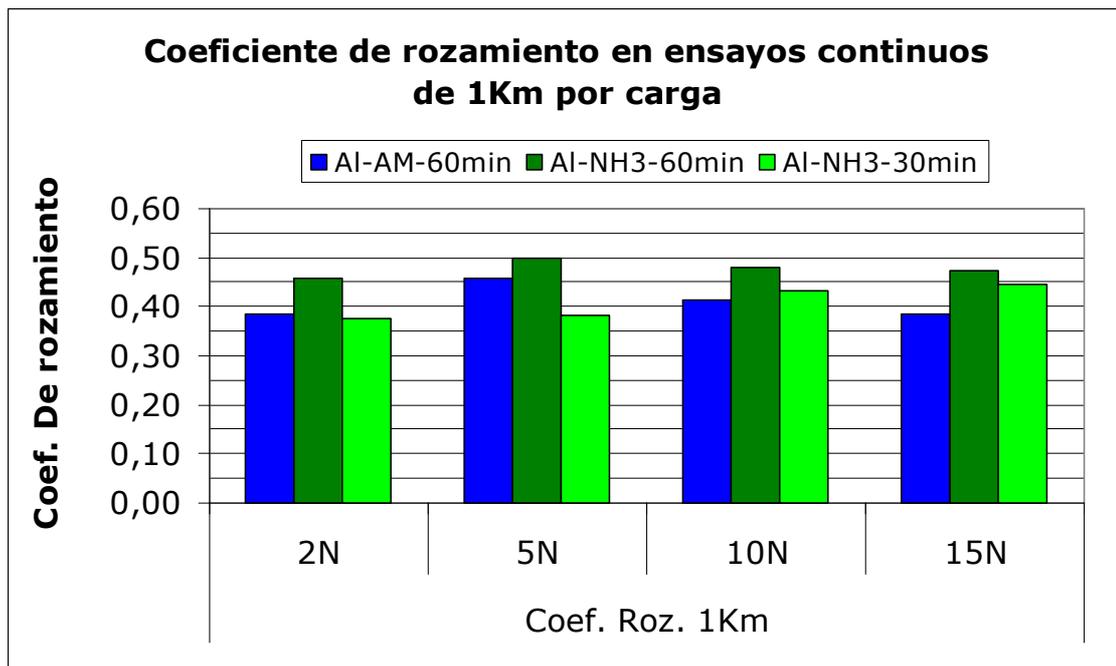
### V.3.2. Comparativas del coeficiente de rozamiento y LVDT final

Se representan gráficas comparativas del rozamiento en los ensayos continuos, en primer lugar, y luego, el LVDT, que representa la profundidad del surco al final de cada ensayo, estos dos parámetros se obtienen realizando un promedio de los valores de adquisición finales de cada ensayo.

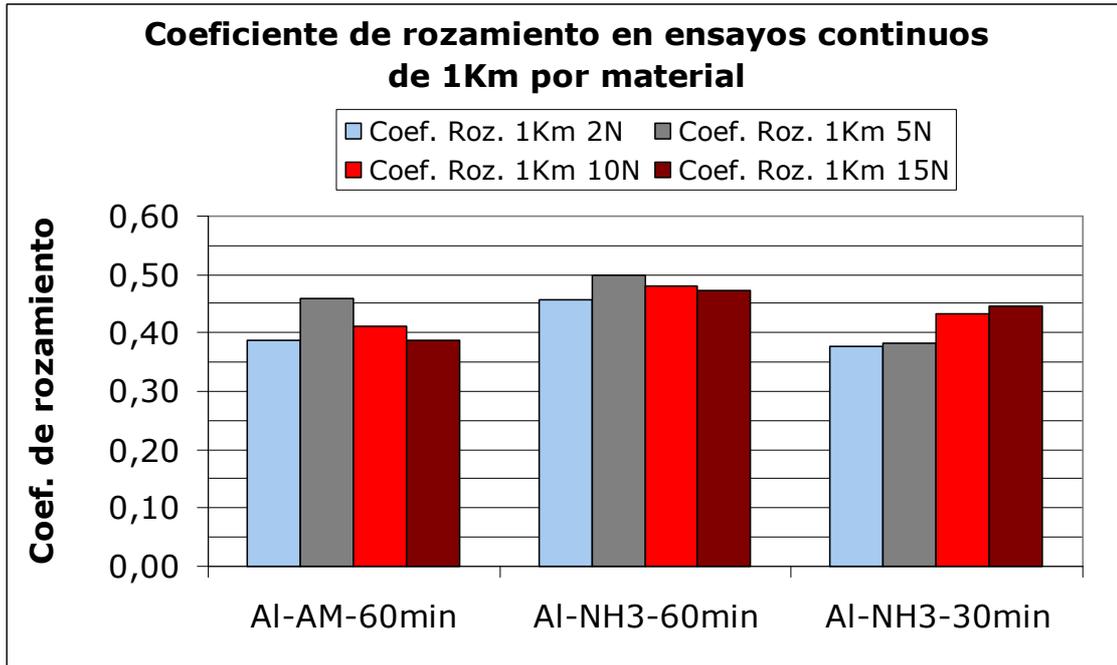
No se puede definir un patrón respecto al coeficiente de rozamiento (Tabla V - 9), ya que para 1Km y 2Km aparecen valores entorno a 0,35 y 0,5 sin patrón aparente, respecto a carga o tipo de material.

	Coeficiente de rozamiento						
	1Km				2Km		
	2N	5N	10N	15N	5N	10N	15N
Al-AM-60min	0,39	0,46	0,41	0,39	0,43	0,48	0,41
Al-NH3-60min	0,46	0,50	0,48	0,47	0,37	0,44	0,40
Al-NH3-30min	0,38	0,38	0,43	0,45	0,38	0,47	0,44

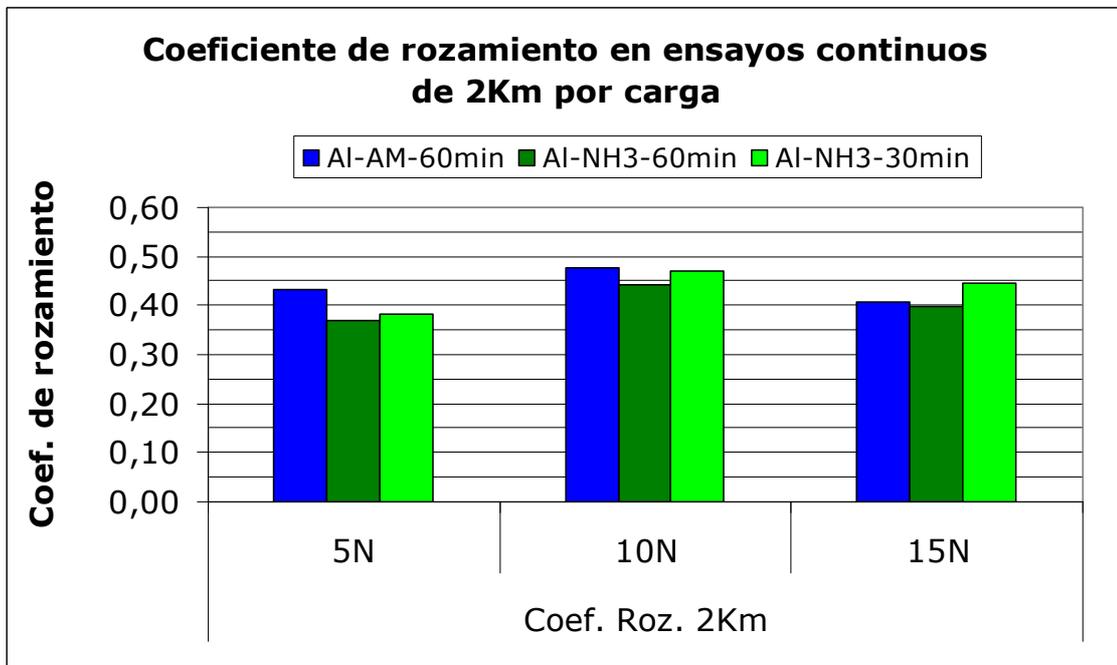
Tabla V - 9 Coeficiente de rozamiento en ensayos continuos



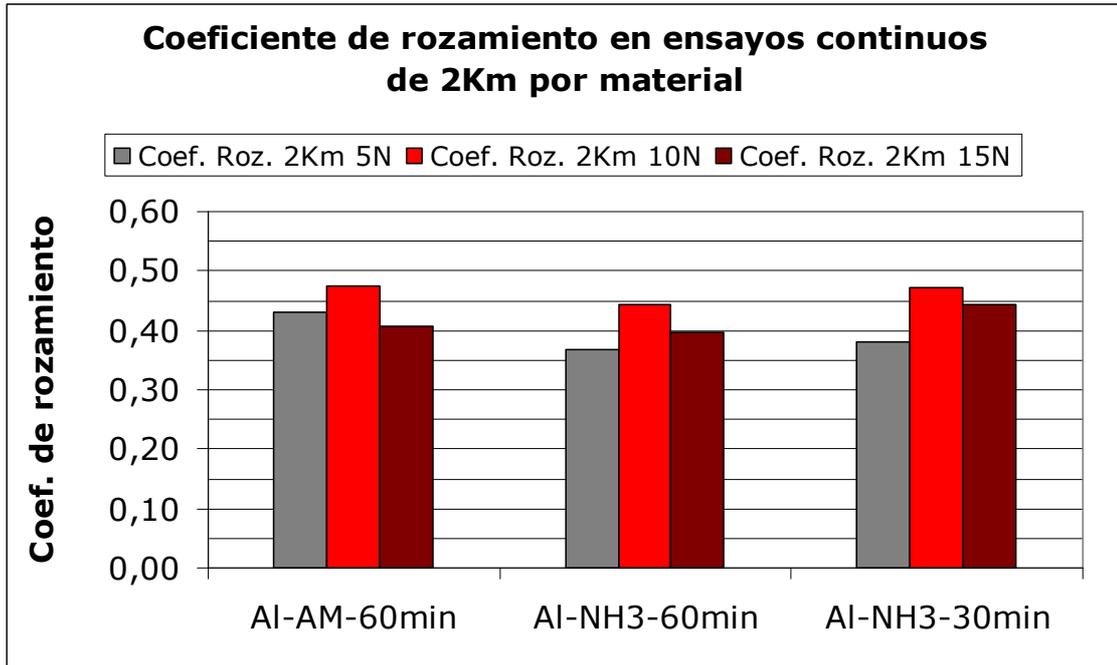
Gráfica V - 26 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por carga. Ensayos continuos de 1Km



Gráfica V - 27 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por material. Ensayos continuos de 1Km



Gráfica V - 28 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por carga. Ensayos continuos de 2Km



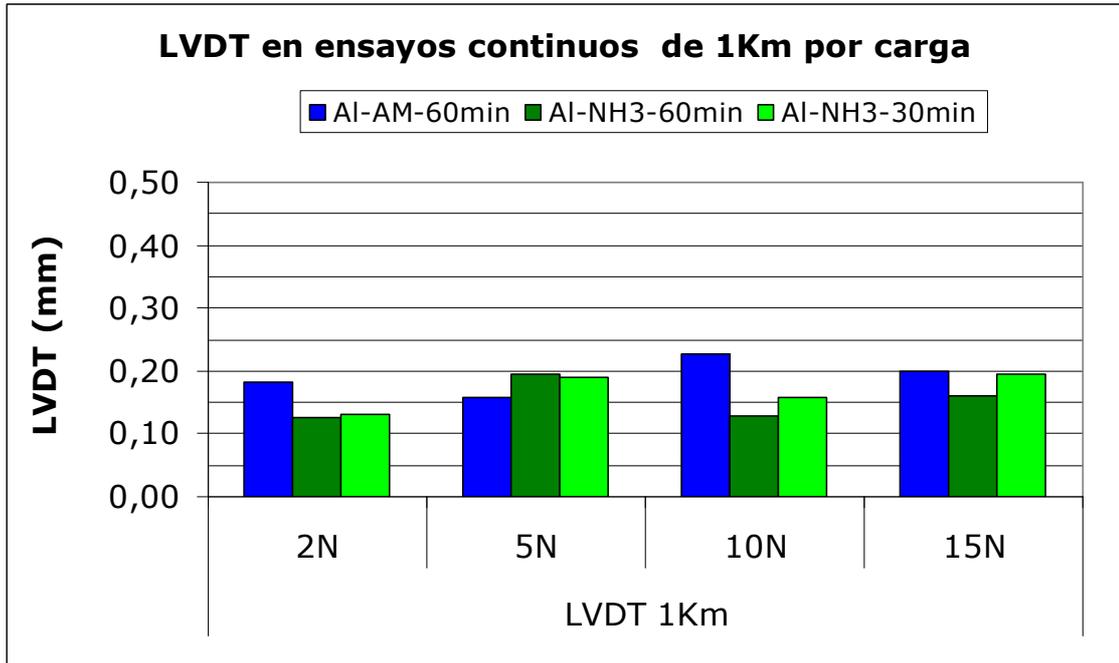
Gráfica V - 29 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por material. Ensayos continuos de 2Km

El LVDT muestra unos resultados difusos en el caso de los ensayos de 1Km, pero para los ensayos de 2Km se refleja un LVDT mayor, en todos los casos para el material Al-AM-60min y similares para los otros dos materiales (Tabla V - 10).

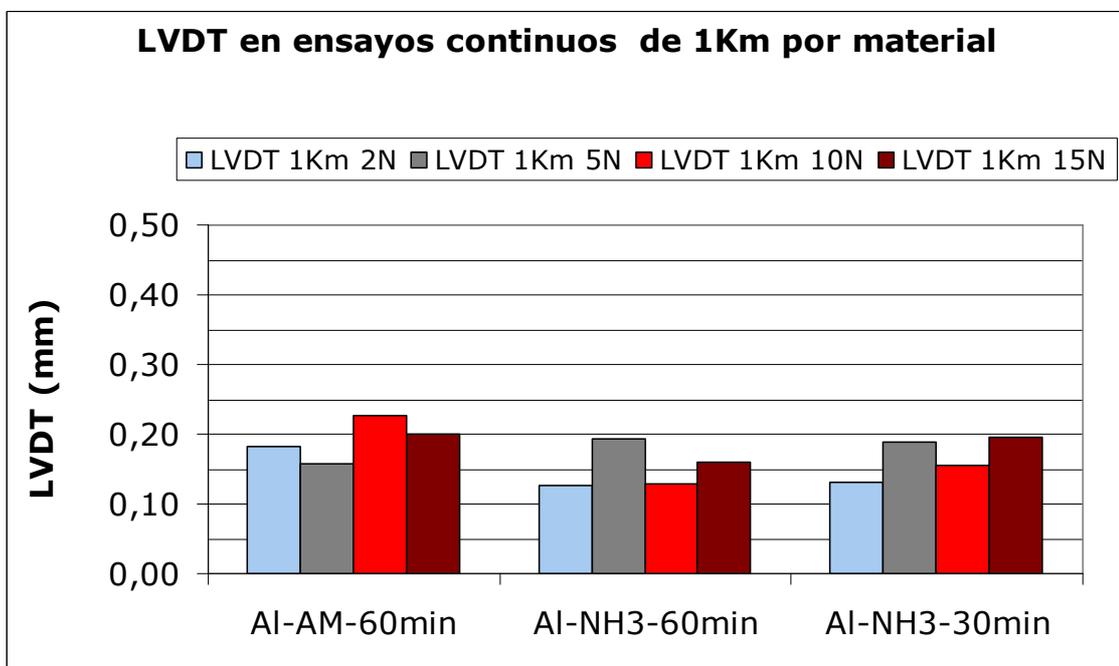
Los materiales nitrurados muestran una disminución del LVDT al pasar a 10N de carga, para luego aumentar en los ensayos de 15N. Los valores para ambos materiales son similares.

	LVDT (mm)						
	1Km				2Km		
	2N	5N	10N	15N	5N	10N	15N
Al-AM-60min	0,18	0,16	0,23	0,20	0,39	0,31	0,47
Al-NH3-60min	0,13	0,19	0,13	0,16	0,31	0,21	0,31
Al-NH3-30min	0,13	0,19	0,16	0,19	0,30	0,22	0,29

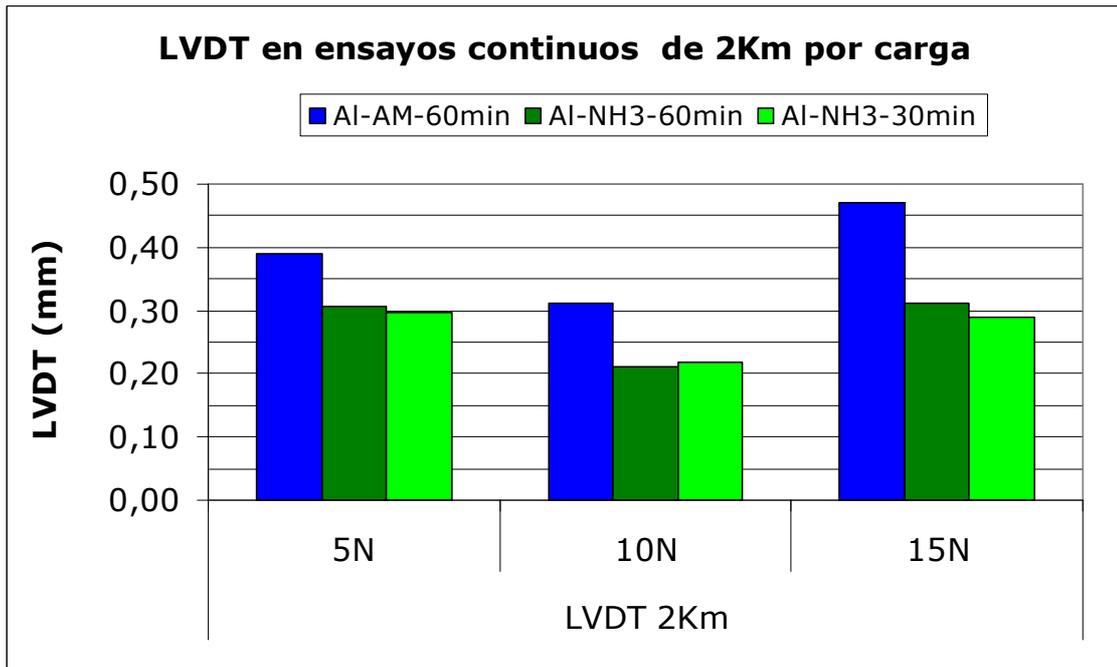
Tabla V - 10 Profundidad de penetración (LVDT) en ensayos continuos



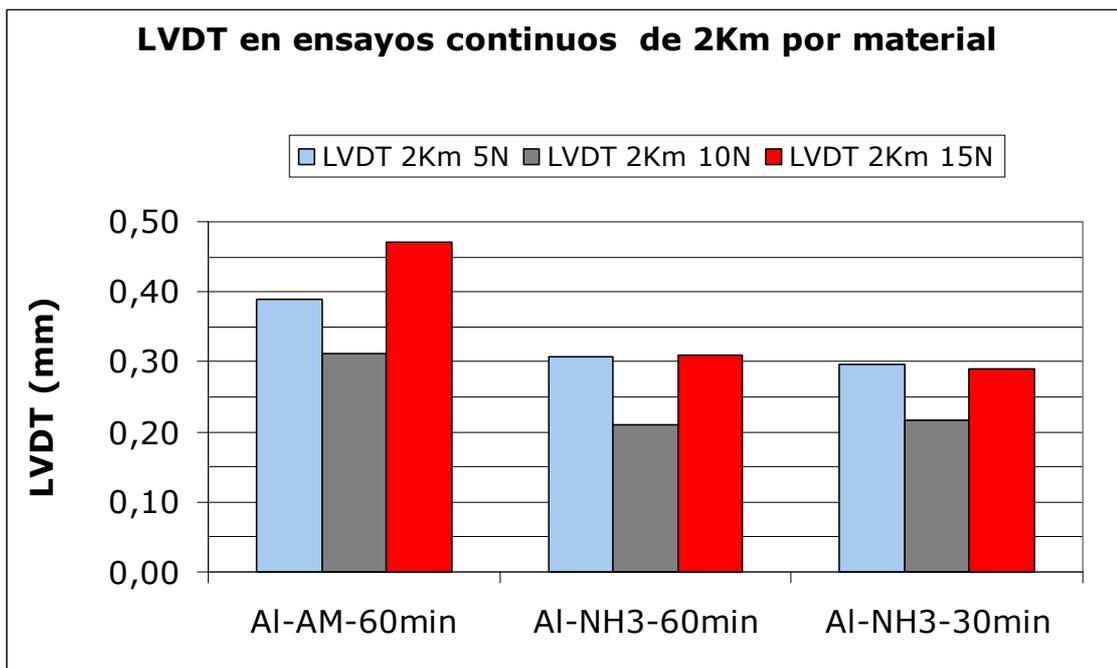
Gráfica V - 30 Comparativa del LVDT final por carga. Ensayos continuos de 1Km



Gráfica V - 31 Comparativa del LVDT final por material. Ensayos continuos de 1Km



Gráfica V - 32 Comparativa del LVDT final por carga. Ensayos continuos de 2Km



Gráfica V - 33 Comparativa del LVDT final por material. Ensayos continuos de 2Km

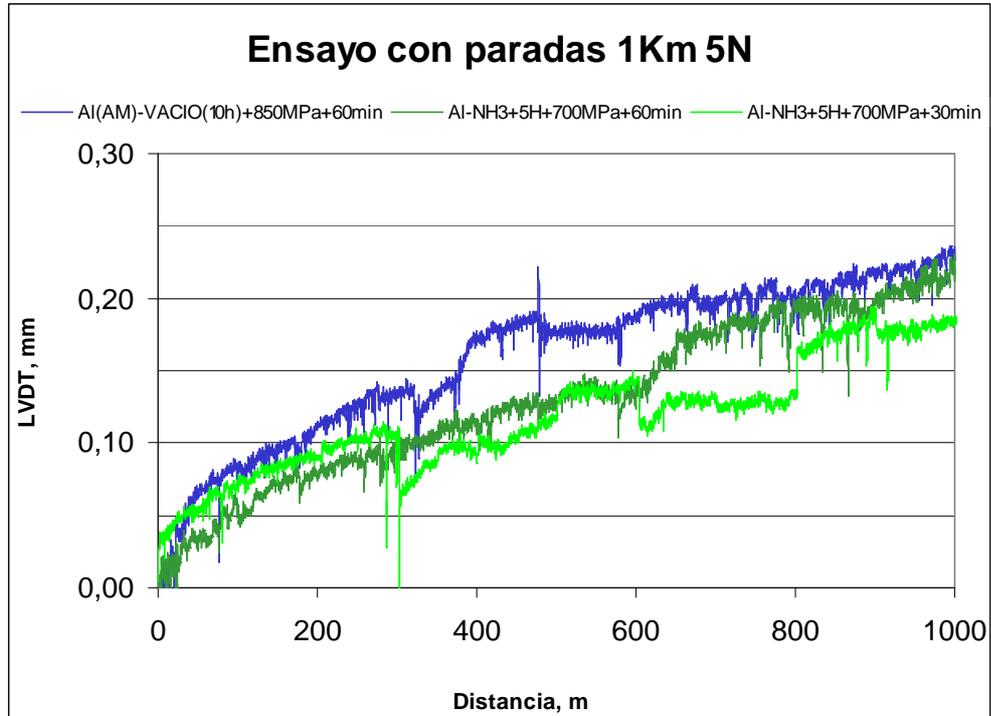
### V.3.3. Datos tribológicos de los ensayos con paradas

Se exponen los datos adquiridos en los ensayos con paradas para los tres materiales ensayados con gráficas que representan, por parejas, la penetración del indentador (LVDT) respecto a la distancia recorrida y otra que representa la evolución del coeficiente de rozamiento en función de la distancia recorrida.

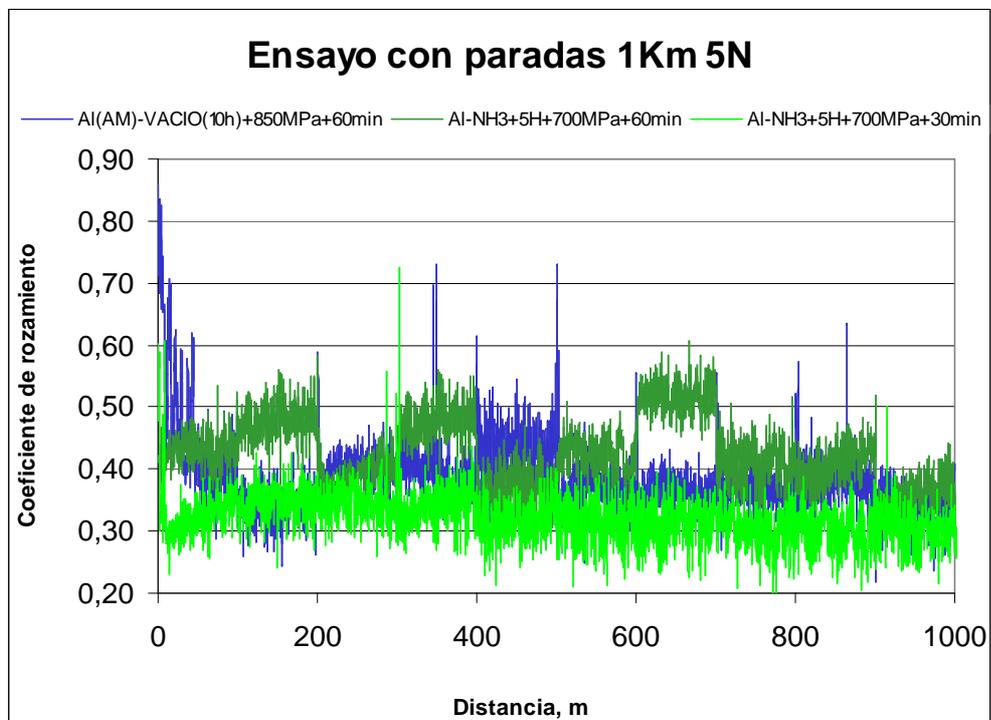
No se realizaron ensayos con paradas para 2N debido a que no se advierte una zona de comportamiento no lineal al comienzo de los ensayos continuos, con lo que

no se modificará ni la distancia de ensayo ni la masa inicial para los cálculos posteriores.

### V.3.3.1. Ensayos a 5N

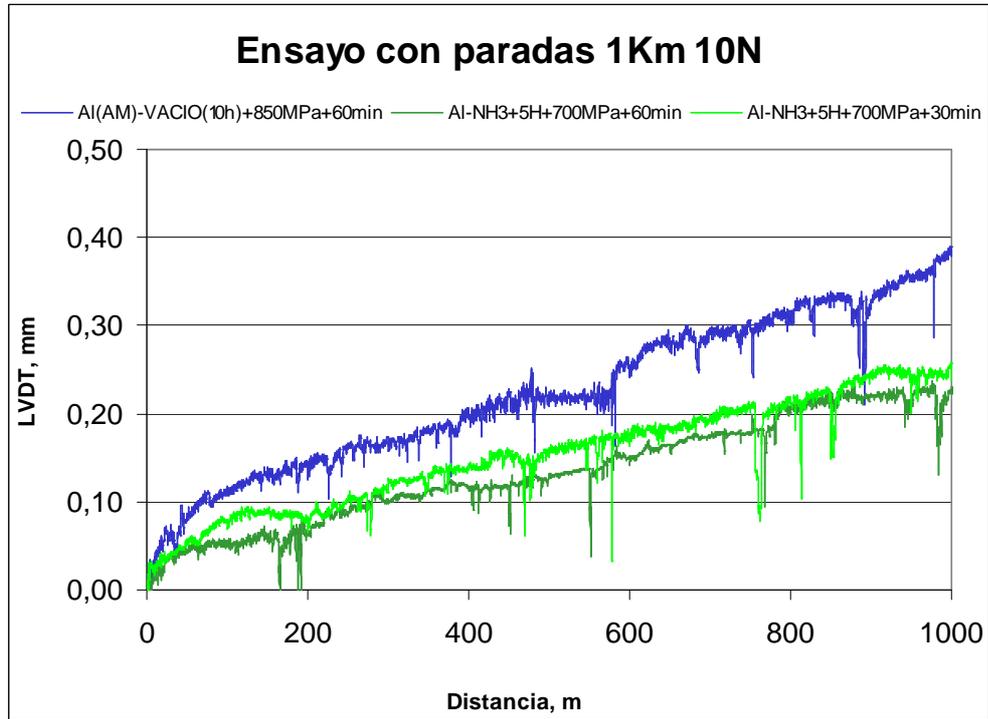


Gráfica V - 34 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 5N

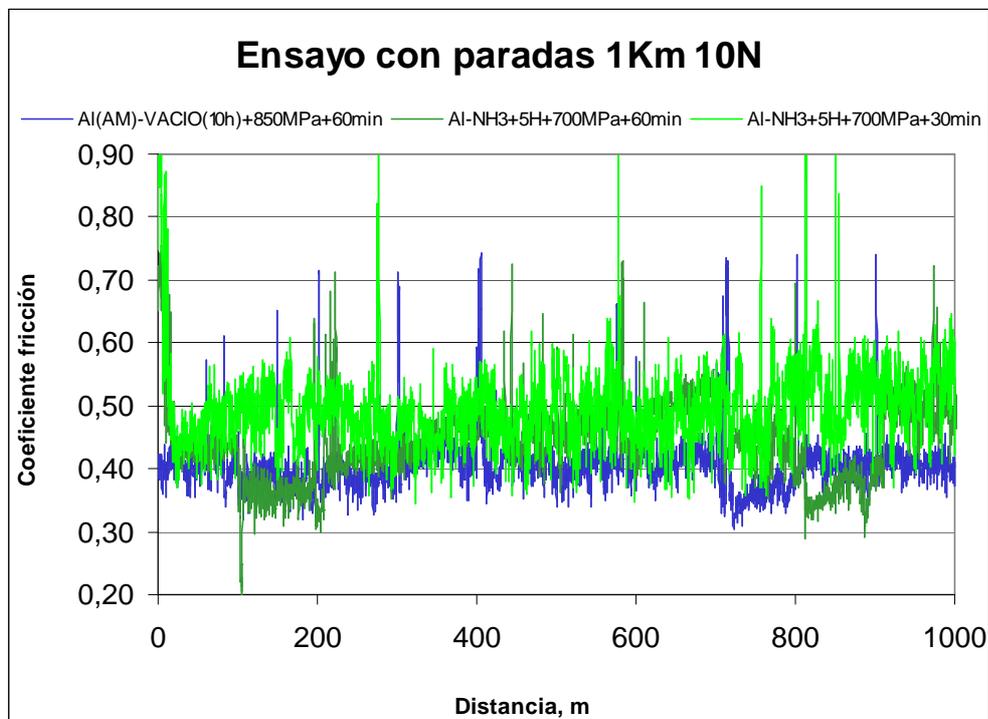


Gráfica V - 35 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 5N

V.3.3.2. Ensayos a 10N

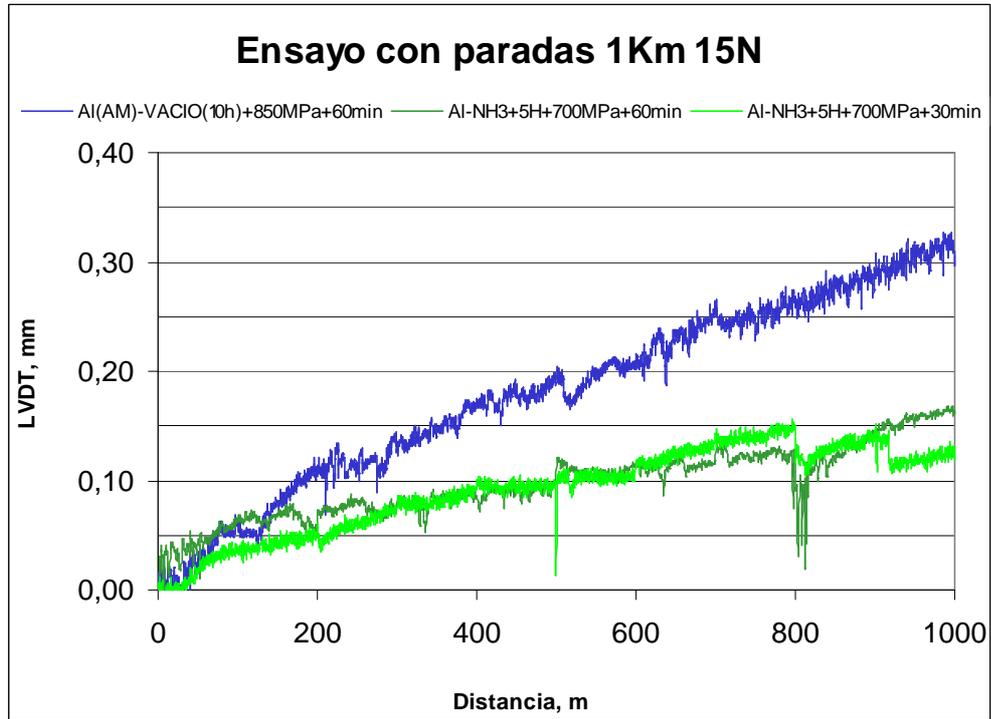


Gráfica V - 36 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 10N

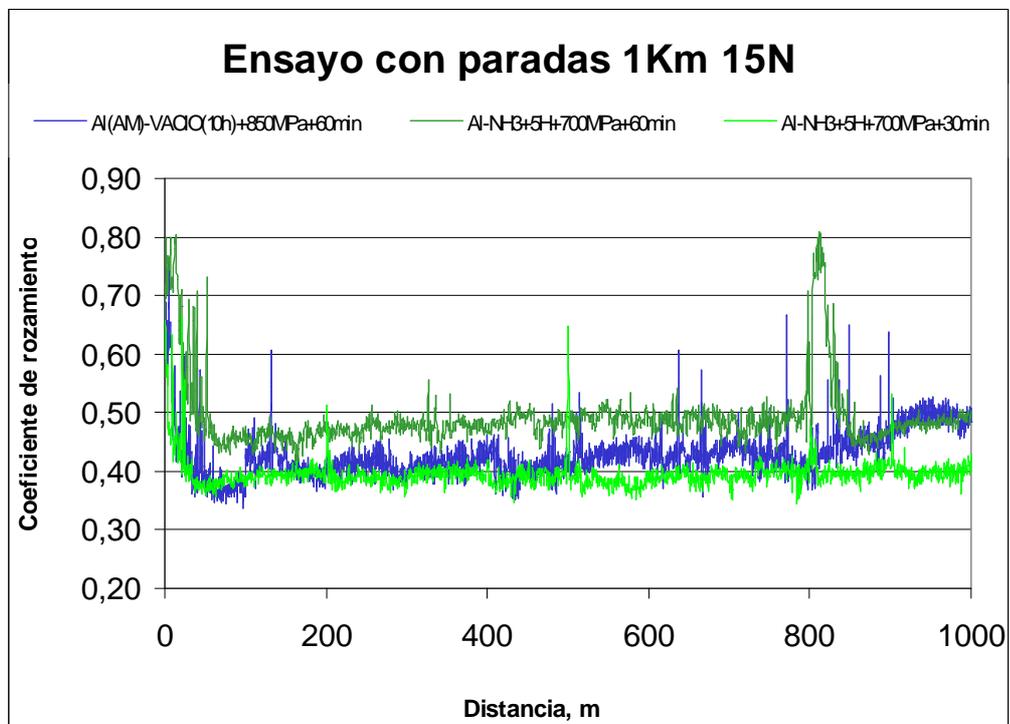


Gráfica V - 37 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 10N

V.3.3.3. Ensayos a 15N



Gráfica V - 38 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 15N



Gráfica V - 39 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 15N

### V.3.4. Medidas de la masa inicial y final para los ensayos continuos

Según la normativa ASTM asociada a los ensayos pin-on-disk se debe medir el peso del indentador en el comienzo y final del ensayo, pero a lo largo de todos los ensayos se ha comprobado que en ninguno de los casos su masa varía, ni siquiera en un cuarto decimal que es la mayor sensibilidad de la balanza utilizada.

#### V.3.4.1. Ensayos continuos con 2N de carga

	1Km	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)
AL-AM-60min	0,6159	0,6060
AL-NH3-60min	0,6227	0,6174
AL-NH3-30min	0,5932	0,5869

Tabla V - 11 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km con 2N

#### V.3.4.2. Ensayos continuos con 5N de carga

	1Km		2Km	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
AL-AM-60min	0,7573	0,7437	0,5953	0,5639
AL-NH3-60min	0,6672	0,6564	0,7818	0,7621
AL-NH3-30min	0,6114	0,6021	0,8045	0,7839

Tabla V - 12 de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 5N

#### V.3.4.3. Ensayos continuos con 10N de carga

	1Km		2Km	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
AL-AM-60min	1,5323	1,5187	1,6342	1,6082
AL-NH3-60min	1,4850	1,4782	1,5247	1,5096
AL-NH3-30min	1,5127	1,5035	1,5602	1,5436

Tabla V - 13 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 10N

#### V.3.4.4. Ensayos continuos con 15N de carga

	1Km		2Km	
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)
AL-AM-60min	1,6623	1,6480	1,7520	1,7030
AL-NH3-60min	1,7167	1,7071	1,5250	1,4970
AL-NH3-30min	1,3327	1,3230	1,7198	1,6892

Tabla V - 14 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 15N

### V.3.5. Cálculo de la masa de rodaje ( $m_r$ )

#### V.3.5.1. Cálculo de la masa promedio ( $m_p$ ) a partir de la masa perdida en los ensayos de paradas

Las medidas de masa perdida se realizaron tras 100 metros recorridos en los casos de 5N y 10N, para el caso de 15N se realizaron 200 metros de ensayo previos, las masas se han medido como referencia al primer dato para acotar la dispersión en cada medida.

##### V.3.5.1.1. Ensayos con 5N de carga

<b>Al-AM-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 5N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,6104
100	0,0014	0,6090
200	0,0028	0,6076
300	0,0045	0,6059
400	0,0061	0,6043
500	0,0079	0,6025
600	0,0096	0,6008
700	0,0110	0,5994
800	0,0126	0,5978
900	0,0138	0,5966
<b><math>m_p</math>(g)</b>	<b>0,0015</b>	

Tabla V - 15 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 5N

<b>Al-NH3-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 5N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,6749
100	0,0009	0,6740
200	0,0020	0,6729
300	0,0027	0,6722
400	0,0037	0,6712
500	0,0047	0,6702
600	0,0057	0,6692
700	0,0067	0,6682
800	0,0075	0,6674
900	0,0084	0,6665
<b><math>m_p</math>(g)</b>	<b>0,0009</b>	

Tabla V - 16 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 5N

<b>Al-NH3-30min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 5N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,6632
100	0,0010	0,6622
200	0,0022	0,6610
300	0,0037	0,6595
400	0,0050	0,6582
500	0,0063	0,6569
600	0,0075	0,6557
700	0,0087	0,6545
800	0,0099	0,6533
900	0,0111	0,6521
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0012</b>	

Tabla V - 17 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 5N

V.3.5.1.2. Ensayos con 10N de carga

<b>Al-AM-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 10N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,6366
100	0,0016	0,6350
200	0,0037	0,6329
300	0,0057	0,6309
400	0,0077	0,6289
500	0,0102	0,6264
600	0,0131	0,6235
700	0,0152	0,6214
800	0,0173	0,6193
900	0,0208	0,6158
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0023</b>	

Tabla V - 18 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 10N

<b>Al-NH3-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 10N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,6018
100	0,0019	0,5999
200	0,0042	0,5976
300	0,0056	0,5962
400	0,0085	0,5933
500	0,0107	0,5911
600	0,0126	0,5892
700	0,0146	0,5872
800	0,0167	0,5851
900	0,0189	0,5829
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0021</b>	

Tabla V - 19 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 10N

<b>Al-NH3-30min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 10N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	0,5808
100	0,0028	0,5780
200	0,0043	0,5765
300	0,0060	0,5748
400	0,0074	0,5734
500	0,0089	0,5719
600	0,0109	0,5699
700	0,0126	0,5682
800	0,0141	0,5667
900	0,0169	0,5639
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0019</b>	

Tabla V - 20 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 10N

V.3.5.1.3. Ensayos con 15N de carga

<b>Al-AM-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 15N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0	0,4651
100	0,0012	0,4639
200	0,0033	0,4618
300	0,0051	0,4600
400	0,0071	0,4580
500	0,0092	0,4559
600	0,0117	0,4534
700	0,0148	0,4503
800	0,0183	0,4468
900	0,0204	0,4447
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0023</b>	

Tabla V - 21 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 15N

<b>Al-NH3-60min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 15N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
0	0,0000	1,7704
100	0,0013	1,7691
200	0,0020	1,7684
300	0,0030	1,7674
400	0,0036	1,7668
500	0,0046	1,7658
600	0,0055	1,7649
700	0,0066	1,7638
800	0,0108	1,7596
900	0,0119	1,7585
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0013</b>	

Tabla V - 22 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 15N

<b>Al-NH3-30min</b>		
<b>Ensayo con paradas a 15N</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Pérdida de masa (g)</b>	<b>Masa (g)</b>
<b>0</b>	0,0000	1,3735
<b>100</b>	0,0009	1,3726
<b>200</b>	0,0018	1,3717
<b>300</b>	0,0026	1,3709
<b>400</b>	0,0037	1,3698
<b>500</b>	0,0049	1,3686
<b>600</b>	0,0057	1,3678
<b>700</b>	0,0067	1,3668
<b>800</b>	0,0075	1,366
<b>900</b>	0,0083	1,3652
<b>m<sub>p</sub>(g)</b>	<b>0,0009</b>	

Tabla V - 23 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 15N

V.3.5.2. Estimación de la distancia lineal ( $d_l$ ) para cada ensayo continuo y cálculo de la masa lineal ( $m_l$ ), a partir de la masa promedio ( $m_p$ )

Estas distancias se han estimado visualizando las gráficas, que muestran el LVDT de cada ensayo continuo, y reconociendo el final del comportamiento no lineal; después, se localizó en los datos de adquisición a qué distancia pertenecía. Los datos que se muestran a continuación corresponden a la distancia lineal ( $d_l$ ) que se han obtenido promediando las distancias de rodaje en los ensayos de 1Km y 2Km. Hay que recordar que el primer ensayo de paradas para 15N se ha realizado hasta 200 metros, por ello, aparecen distancias más largas. En la columna central de las tablas se expone la masa total perdida en los 100 primeros metros, o los 200 en el caso de 15N, para ver cuánta masa corresponde a la zona lineal en comparación al total de ese tramo.

	<b>d<sub>l</sub> (m)</b>	<b>m<sub>0</sub>-m<sub>100</sub> (g)</b>	<b>m<sub>l</sub> (g)</b>
<b>Al-AM-60min</b>	31,4	0,0023	<b>0,0018</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	52,3	0,0016	<b>0,0011</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	49,3	0,0014	<b>0,0008</b>

Tabla V - 24 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 5N

	<b>d<sub>l</sub> (m)</b>	<b>m<sub>0</sub>-m<sub>100</sub> (g)</b>	<b>m<sub>l</sub> (g)</b>
<b>Al-AM-60min</b>	75,3	0,0051	<b>0,0034</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	50,4	0,0026	<b>0,0015</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	51,2	0,0024	<b>0,0014</b>

Tabla V - 25 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 10N

	<b>d<sub>l</sub> (m)</b>	<b>m<sub>0</sub>-m<sub>200</sub> (g)</b>	<b>m<sub>l</sub> (g)</b>
<b>Al-AM-60min</b>	101,5	0,0036	<b>0,0023</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	152,3	0,0035	<b>0,0015</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	129,8	0,0036	<b>0,0024</b>

Tabla V - 26 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 15N

V.3.5.3. Cálculo de la masa de rodaje ( $m_r$ ) y volumen de rodaje ( $v_r$ )

Hay que recordar que, la masa de rodaje sumada a la masa lineal suma la masa perdida en el primer ensayo realizado a las muestras para evitar el rodaje en los ensayos de paradas. Para hallar el volumen de rodaje se divide la masa de rodaje por la densidad experimental.

	$m_l$ (g)	$m_r$ (g)	$m_0-m_{100}$ (g)	$v_r$ (cm <sup>3</sup> )
<b>Al-AM-60min</b>	0,0018	<b>0,0018</b>	0,0023	<b>0,0007</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	0,0011	<b>0,0011</b>	0,0016	<b>0,0004</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	0,0008	<b>0,0008</b>	0,0014	<b>0,0003</b>

Tabla V - 27 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 5N

	$m_l$ (g)	$m_r$ (g)	$m_0-m_{100}$ (g)	$v_r$ (cm <sup>3</sup> )
<b>Al-AM-60min</b>	0,0034	<b>0,0034</b>	0,0051	<b>0,0013</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	0,0015	<b>0,0015</b>	0,0026	<b>0,0006</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	0,0014	<b>0,0014</b>	0,0024	<b>0,0005</b>

Tabla V - 28 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 10N

	$m_l$ (g)	$m_r$ (g)	$m_0-m_{200}$ (g)	$v_r$ (cm <sup>3</sup> )
<b>Al-AM-60min</b>	0,0023	<b>0,0013</b>	0,0036	<b>0,0005</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	0,0020	<b>0,0015</b>	0,0035	<b>0,0006</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	0,0012	<b>0,0024</b>	0,0036	<b>0,0009</b>

Tabla V - 29 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 15N

**V.3.6. Determinación del volumen perdido a partir del ancho del surco medido con microscopía óptica en ensayos continuos**

El volumen perdido en los ensayos calculado a partir del ancho del surco ( $v_s$ ) se modificará restandole el volumen de rodaje ( $v_r$ ) calculado en el apartado anterior. El resultado se denotará como volumen a partir del ancho del surco modificado ( $v_{sm}$ )

V.3.6.1. Ensayos de 2N de carga

	1Km			
	Ancho del surco (mm)	$v_s$ (cm <sup>3</sup> )	$v_r$ (cm <sup>3</sup> )	$v_{sm}$ (cm <sup>3</sup> )
<b>Al-AM-60min</b>	1,9426	0,0040	0	<b>0,0040</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	1,5246	0,0026	0	<b>0,0026</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	1,6995	0,0023	0	<b>0,0023</b>

Tabla V - 30 Ancho del surco para ensayos continuos con 2N de carga

V.3.6.2. Ensayos de 5N de carga

	1Km			
	Ancho del surco (mm)	$v_s$ (cm <sup>3</sup> )	$v_r$ (cm <sup>3</sup> )	$v_{sm}$ (cm <sup>3</sup> )
<b>Al-AM-60min</b>	2,2917	0,0066	0,0007	<b>0,0059</b>
<b>Al-NH3-60min</b>	2,1049	0,0051	0,0004	<b>0,0047</b>
<b>Al-NH3-30min</b>	1,9012	0,0037	0,0003	<b>0,0034</b>

Tabla V - 31 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 5N de carga

2Km				
	Ancho del surco (mm)	$v_s(\text{cm}^3)$	$v_r(\text{cm}^3)$	$v_{sm}(\text{cm}^3)$
Al-AM-60min	2,9660	0,0148	0,0007	<b>0,0141</b>
Al-NH3-60min	2,4105	0,0077	0,0004	<b>0,0073</b>
Al-NH3-30min	2,4954	0,0086	0,0003	<b>0,0083</b>

Tabla V - 32 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 5N de carga

#### V.3.6.3. Ensayos de 10N de carga

1Km				
	Ancho del surco (mm)	$v_s(\text{cm}^3)$	$v_r(\text{cm}^3)$	$v_{sm}(\text{cm}^3)$
Al-AM-60min	2,3401	0,0070	0,0013	<b>0,0058</b>
Al-NH3-60min	1,8723	0,0035	0,0006	<b>0,0030</b>
Al-NH3-30min	2,0021	0,0044	0,0005	<b>0,0038</b>

Tabla V - 33 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 10N de carga

2Km				
	Ancho del surco (mm)	$v_s(\text{cm}^3)$	$v_r(\text{cm}^3)$	$v_{sm}(\text{cm}^3)$
Al-AM-60min	2,7301	0,0114	0,0013	<b>0,0101</b>
Al-NH3-60min	2,2253	0,0060	0,0006	<b>0,0055</b>
Al-NH3-30min	2,4205	0,0078	0,0005	<b>0,0073</b>

Tabla V - 34 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 10N de carga

#### V.3.6.4. Ensayos de 15N de carga

1Km				
	Ancho del surco (mm)	$v_s(\text{cm}^3)$	$v_r(\text{cm}^3)$	$v_{sm}(\text{cm}^3)$
Al-AM-60min	2,3052	0,0098	0,0005	<b>0,0062</b>
Al-NH3-60min	1,9305	0,0039	0,0006	<b>0,0033</b>
Al-NH3-30min	2,051	0,0054	0,0005	<b>0,0038</b>

Tabla V - 35 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 15N de carga

2Km				
	Ancho del surco (mm)	$v_s(\text{cm}^3)$	$v_r(\text{cm}^3)$	$v_{sm}(\text{cm}^3)$
Al-AM-60min	3,2654	0,0202	0,0005	<b>0,0197</b>
Al-NH3-60min	2,7564	0,0118	0,0006	<b>0,0106</b>
Al-NH3-30min	2,8512	0,0131	0,0005	<b>0,0117</b>

Tabla V - 36 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 15N de carga

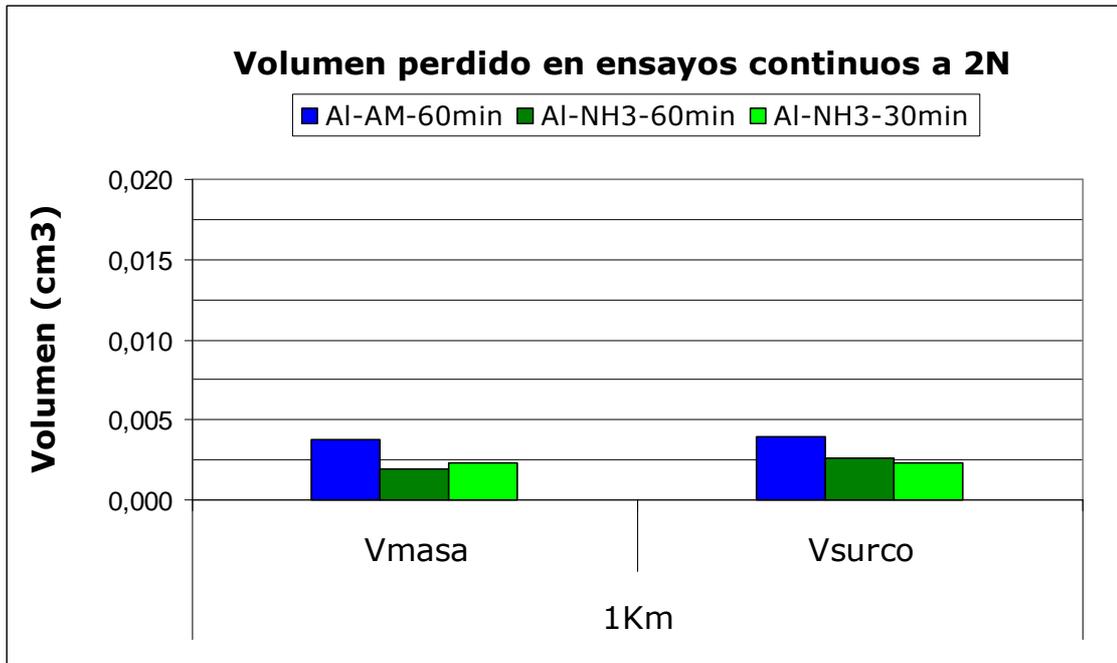
#### V.3.7. Determinación del volumen perdido a partir de la pérdida de masa en los ensayos continuos

En este apartado se va a determinar el volumen perdido de cada ensayo, para 1Km y 2Km habiendo modificado la masa inicial de ensayo, teniendo en cuenta la masa de rodaje, que no correspondería a la pérdida de masa lineal.

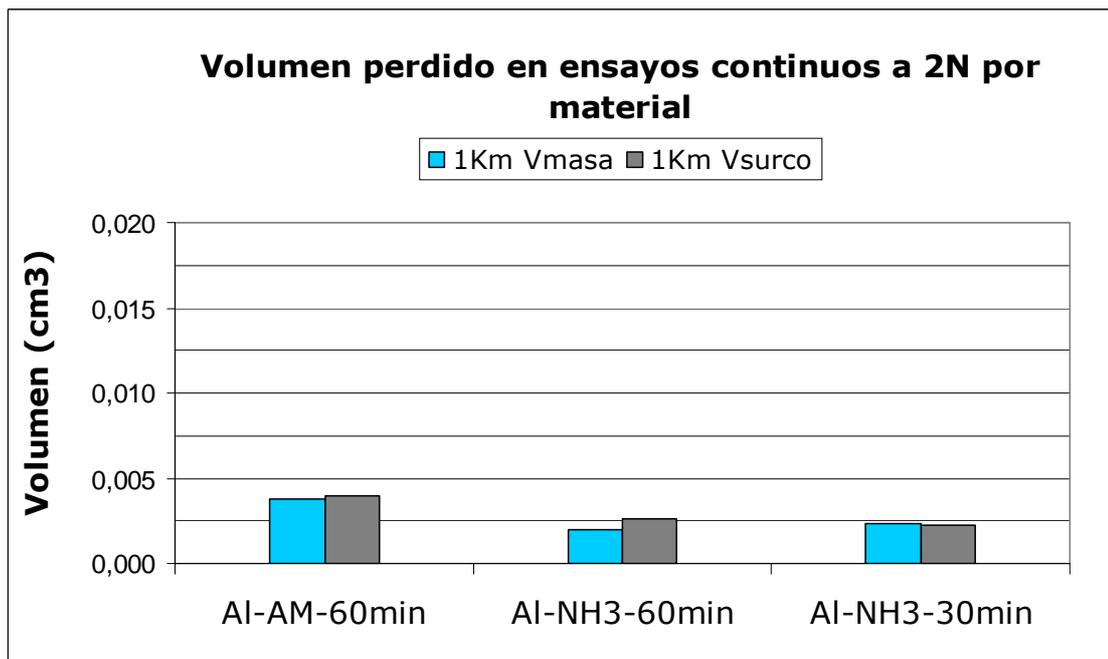
V.3.7.1. Ensayos continuos de 2N

Ensayos de 1Km	$m_0$ (g)	$m_{1000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )
Al-AM-60min	0,6159	0,6060	0,010	2,60	<b>0,0038</b>
Al-NH3-60min	0,6227	0,6174	0,005	2,69	<b>0,0020</b>
Al-NH3-30min	0,5932	0,5869	0,006	2,71	<b>0,0023</b>

Tabla V - 37 Volumen perdido a partir de la masa para ensayos continuos de 2N



Gráfica V - 40 Volumen perdido en ensayos continuos con 2N de carga

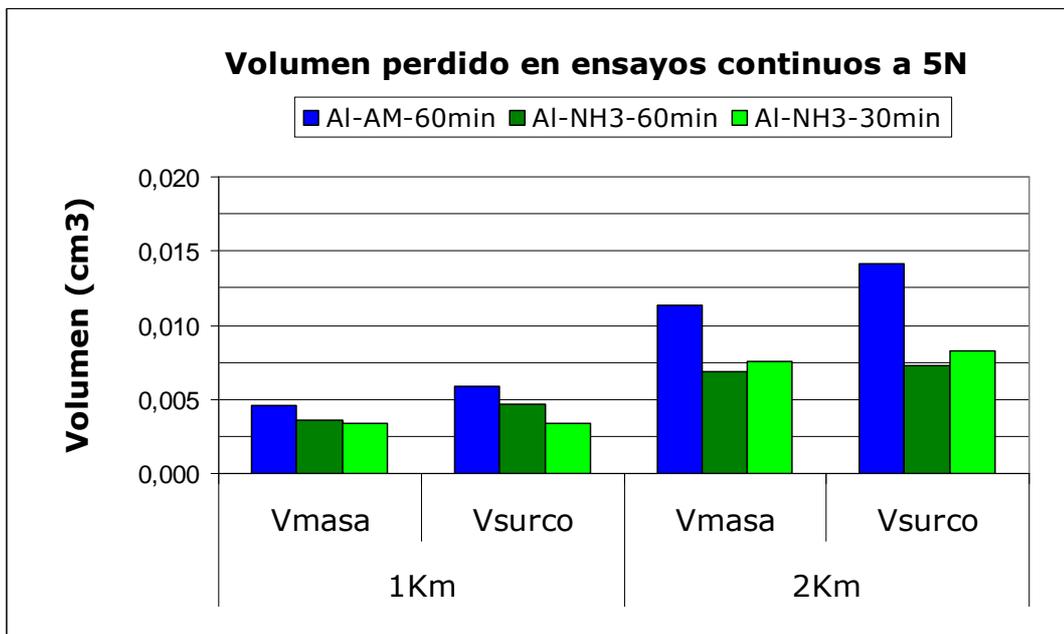


Gráfica V - 41 Volumen perdido en ensayos continuos con 2N de carga por material

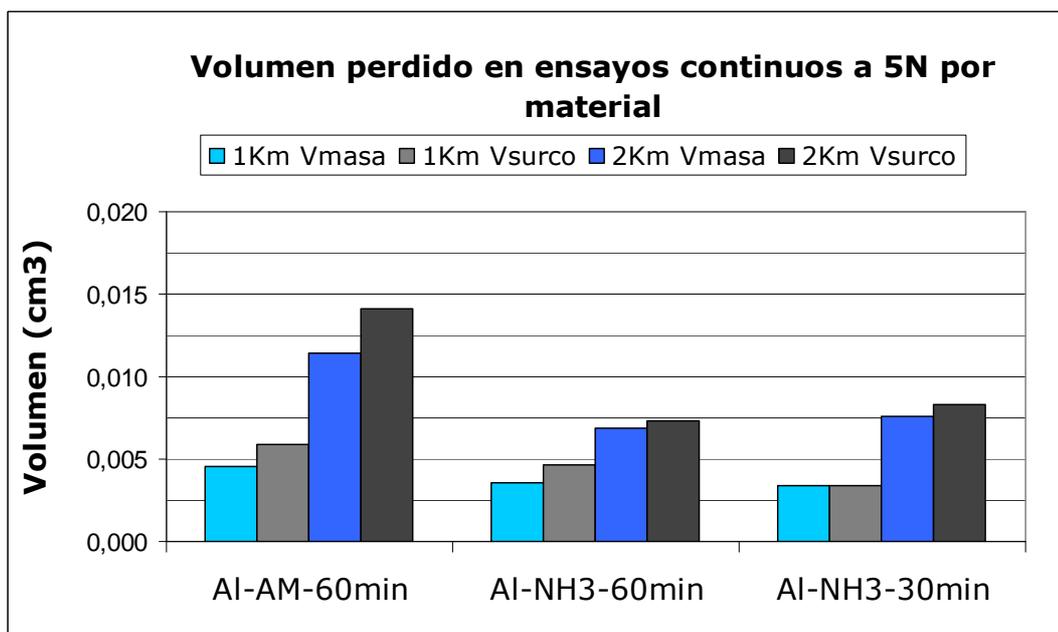
V.3.7.2. Ensayos continuos de 5N

Ensayos de 1Km	$m_0$ (g)	$m_{1000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm3)	$\Delta V$ (cm3)
Al-AM-60min	0,7555	0,7437	0,0118	2,5982	0,0045
Al-NH3-60min	0,6661	0,6564	0,0097	2,6896	0,0036
Al-NH3-30min	0,6114	0,6021	0,0093	2,7107	0,0034
Ensayos de 2Km	$m_0$ (g)	$m_{2000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm3)	$\Delta V$ (cm3)
Al-AM-60min	0,5935	0,5639	0,0296	2,5982	0,0114
Al-NH3-60min	0,7807	0,7621	0,0186	2,6896	0,0069
Al-NH3-30min	0,8045	0,7839	0,0206	2,7107	0,0076

Tabla V - 38 Volumen perdido en ensayos continuos a 5N a partir de la pérdida de masa



Gráfica V - 42 Volumen perdido en ensayos continuos con 5N de carga

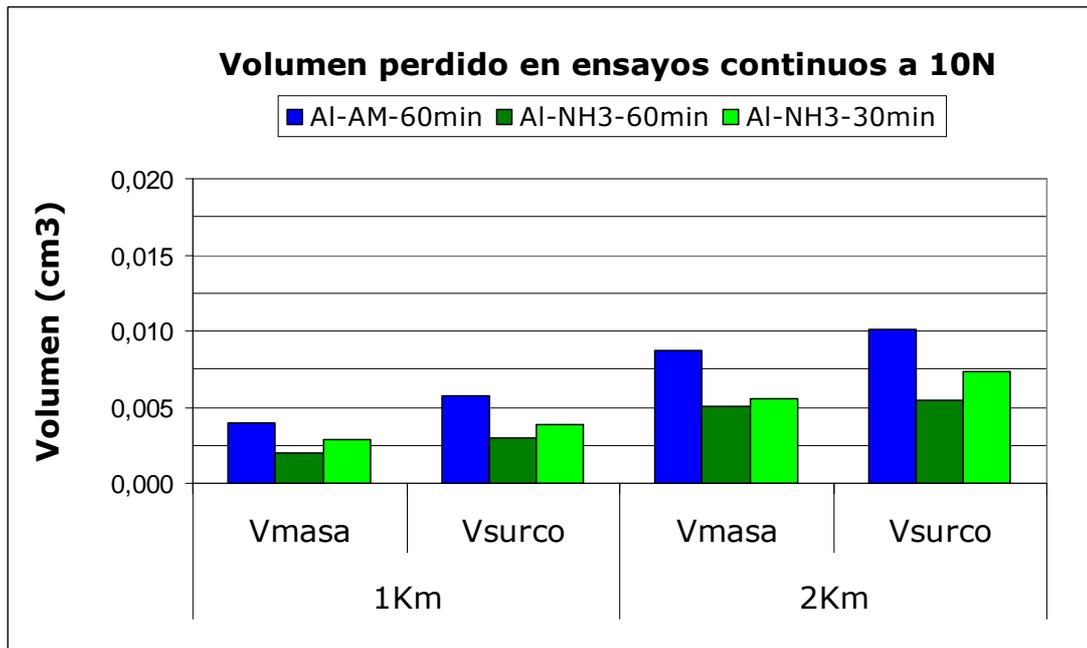


Gráfica V - 43 Volumen perdido en ensayos continuos con 5N de carga por material

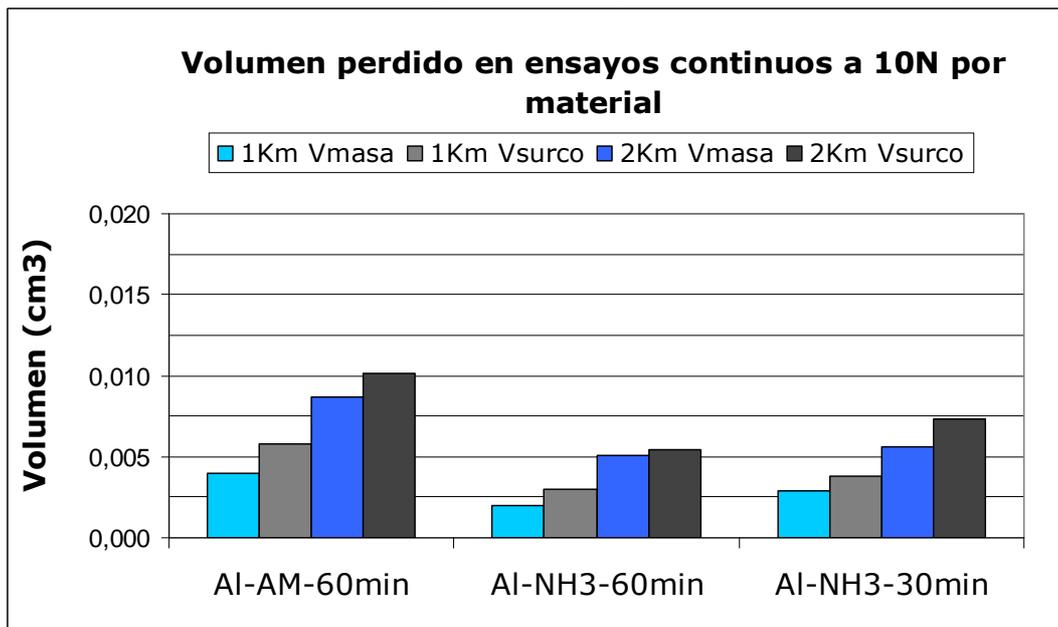
V.3.7.3. Ensayos continuos de 10N

Ensayos de 1Km	$m_0$ (g)	$m_{1000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm3)	$\Delta V$ (cm3)
Al-AM-60min	1,5289	1,5187	0,0102	2,5982	0,0039
Al-NH3-60min	1,4835	1,4782	0,0053	2,6896	0,0020
Al-NH3-30min	1,5113	1,5035	0,0078	2,7107	0,0029
Ensayos de 2Km	$m_0$ (g)	$m_{2000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm3)	$\Delta V$ (cm3)
Al-AM-60min	1,6308	1,6082	0,0226	2,5982	0,0087
Al-NH3-60min	1,5232	1,5096	0,0136	2,6896	0,0050
Al-NH3-30min	1,5588	1,5436	0,0152	2,7107	0,0056

Tabla V - 39 Volumen perdido en ensayos continuos a 10N a partir de la pérdida de masa



Gráfica V - 44 Volumen perdido en ensayos continuos con 10N de carga

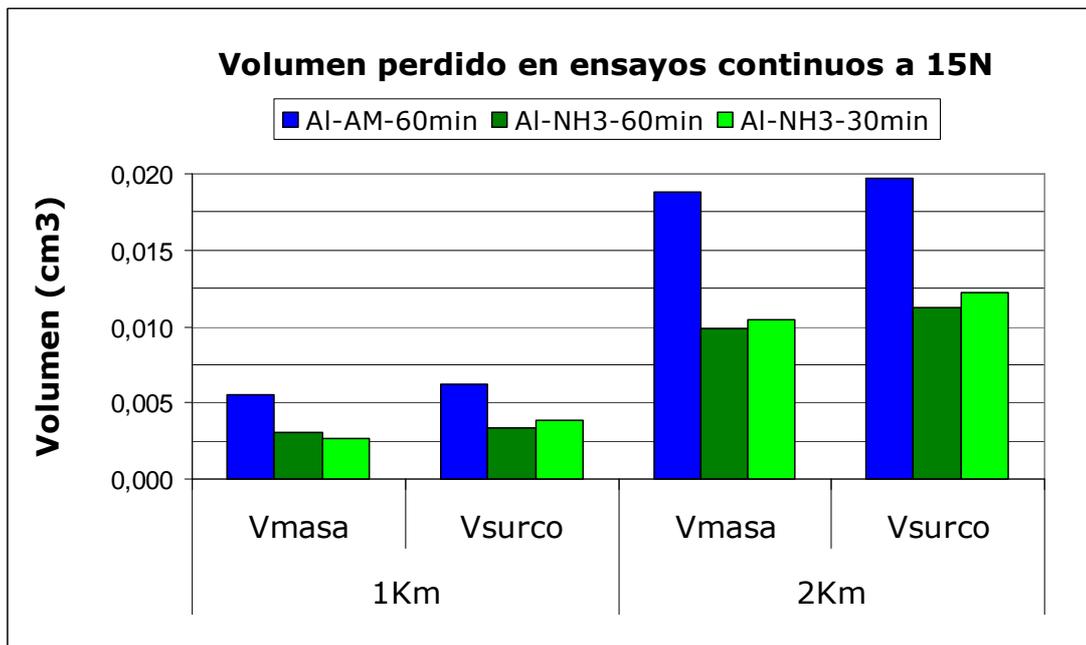


Gráfica V - 45 Volumen perdido en ensayos continuos con 10N de carga por material

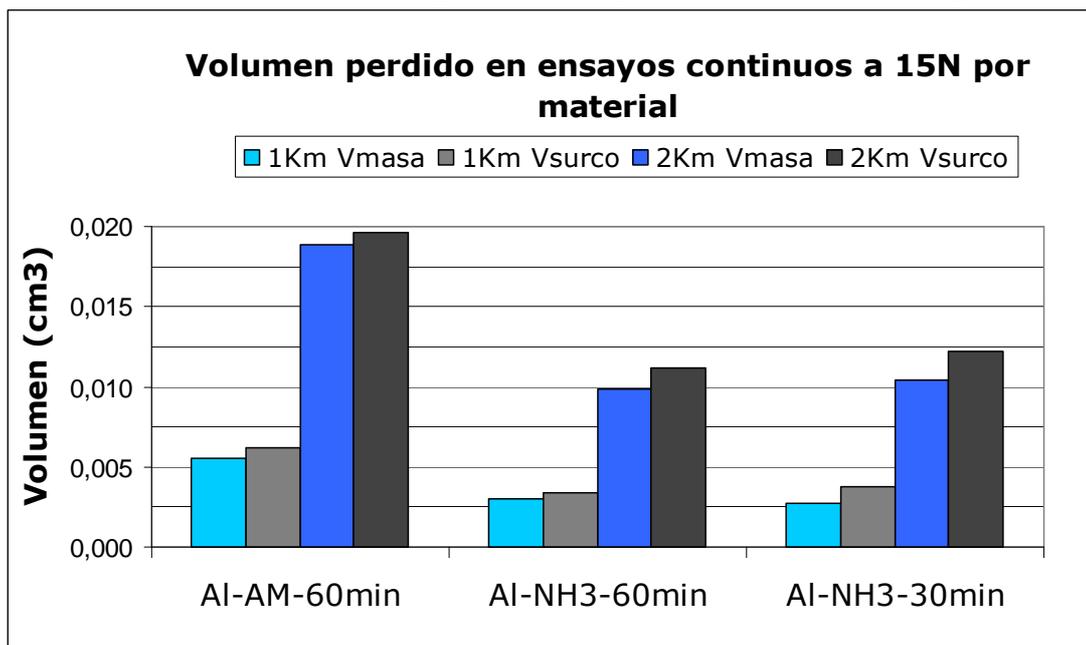
V.3.7.4. Ensayos continuos de 15N

Ensayos de 1Km	$m_0$ (g)	$m_{1000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )
Al-AM-60min	1,6623	1,6480	0,0143	2,3052	<b>0,0055</b>
Al-NH3-60min	1,7152	1,7071	0,0081	1,9305	<b>0,0030</b>
Al-NH3-30min	1,3303	1,3230	0,0073	2,051	<b>0,0027</b>
Ensayos de 2Km	$m_0$ (g)	$m_{2000}$ (g)	$\Delta m$ (g)	$\rho$ exp.(g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )
Al-AM-60min	1,7520	1,7030	0,0490	3,2654	<b>0,0189</b>
Al-NH3-60min	1,5235	1,4970	0,0265	2,7564	<b>0,0099</b>
Al-NH3-30min	1,7174	1,6892	0,0282	2,8512	<b>0,0104</b>

Tabla V - 40 Volumen perdido en ensayos continuos a 15N a partir de la pérdida de masa



Gráfica V - 46 Volumen perdido en ensayos continuos con 15N de carga

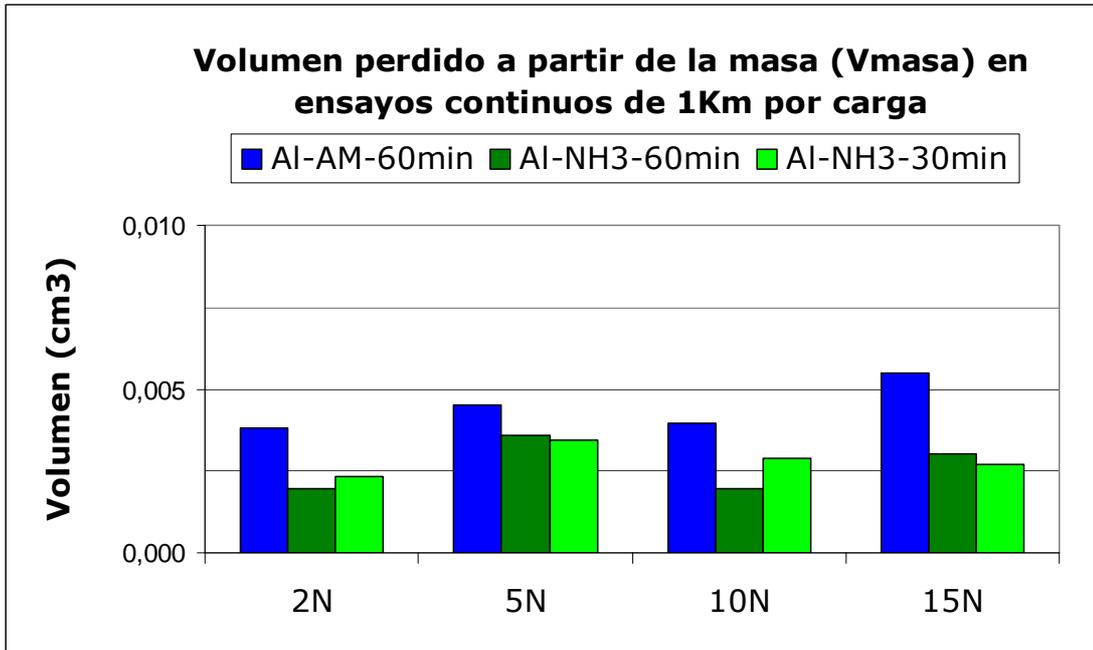


Gráfica V - 47 Volumen perdido en ensayos continuos con 15N de carga por material

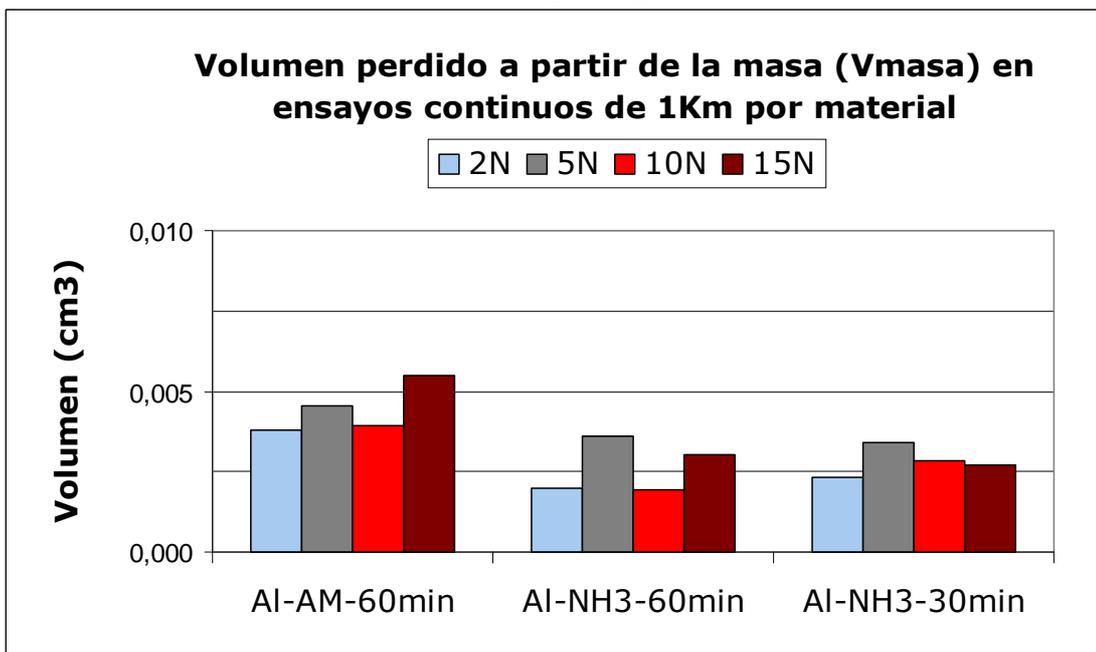
### V.3.8. Gráficas comparativas del volumen perdido en ensayos continuos en función de la carga aplicada

En este apartado se representan las gráficas en función de la carga para ver la evolución de la cantidad de volumen perdido de dos maneras, para cada material y para cada carga.

#### V.3.8.1. Ensayos de 1Km por masa

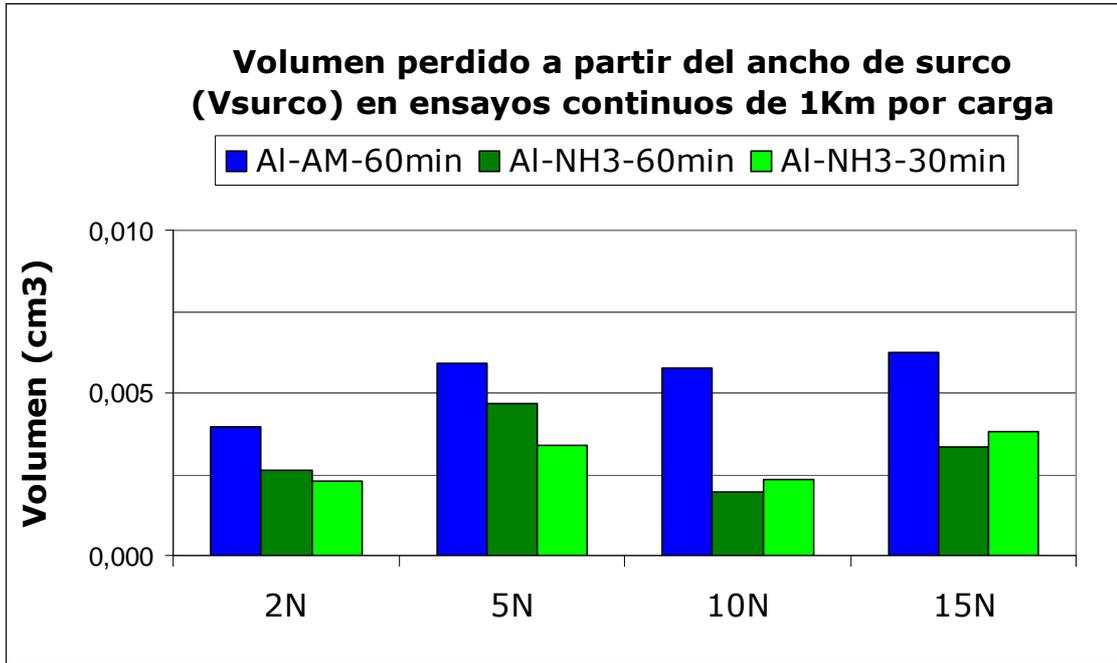


Gráfica V - 48 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa (Vmasa) en ensayos continuos de 1Km por carga

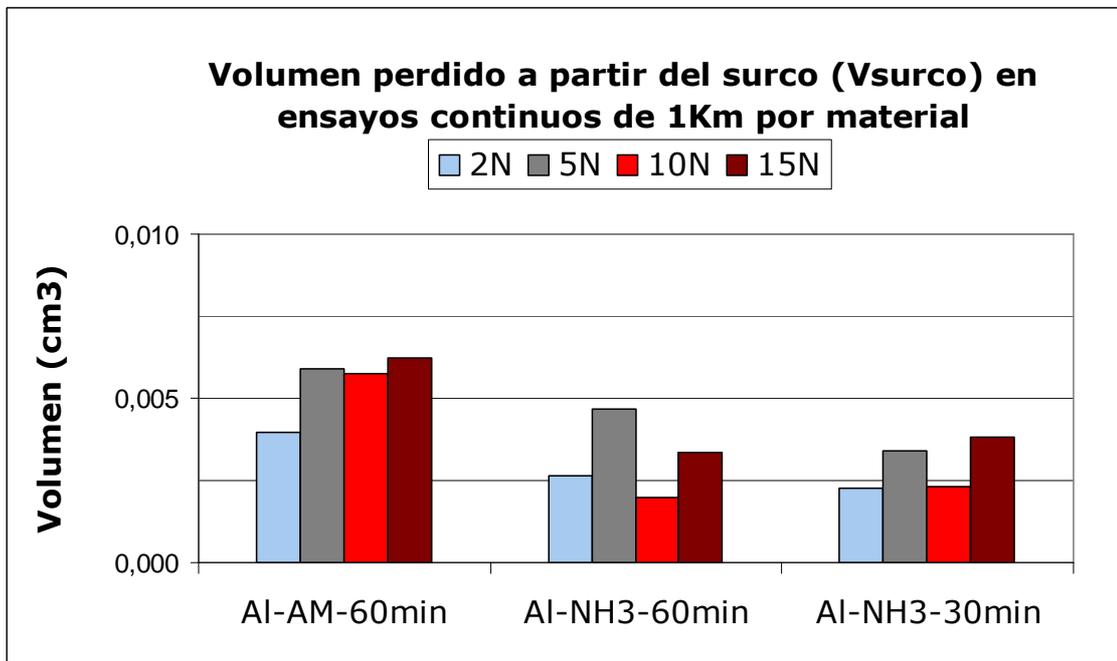


Gráfica V - 49 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa (Vmasa) en ensayos continuos de 1Km por material

V.3.8.2. Ensayos de 1Km por surco

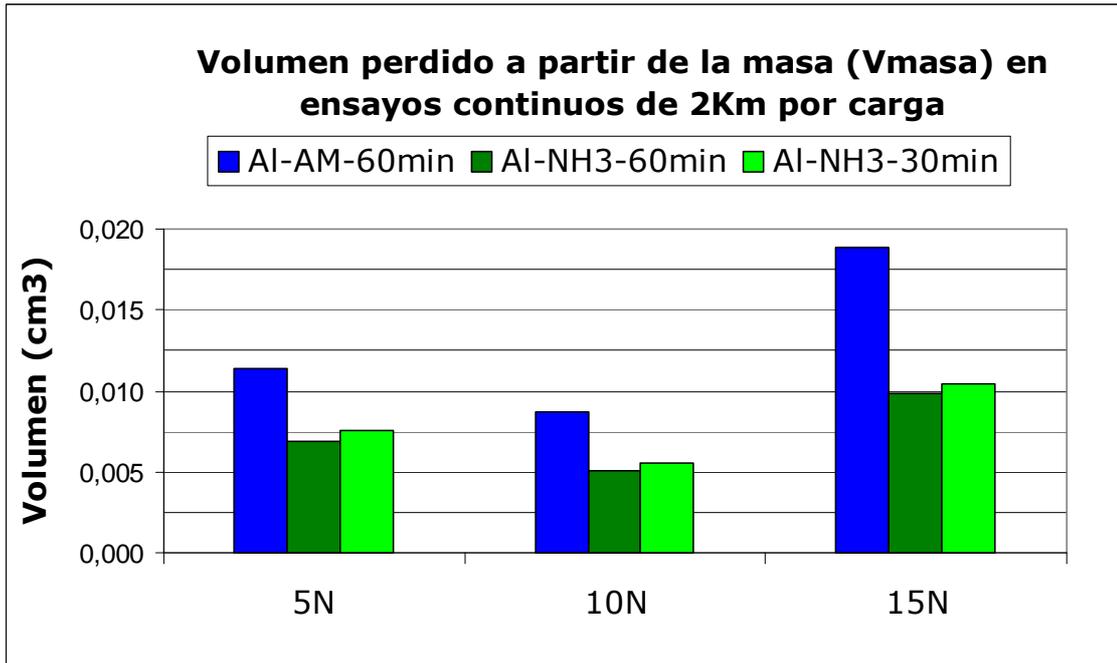


Gráfica V - 50 Comparativa del volumen perdido a partir del surco (Vsurco) en ensayos continuos de 1Km por carga

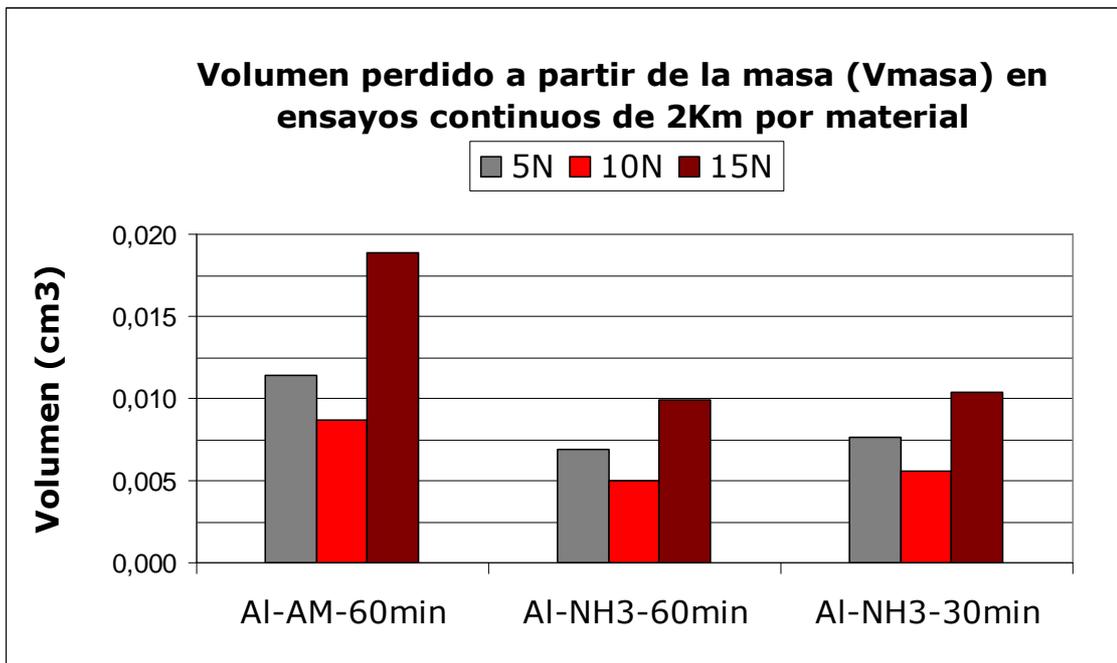


Gráfica V - 51 Comparativa del volumen perdido a partir del surco (Vsurco) en ensayos continuos de 1Km por material

V.3.8.3. Ensayos de 2Km por masa

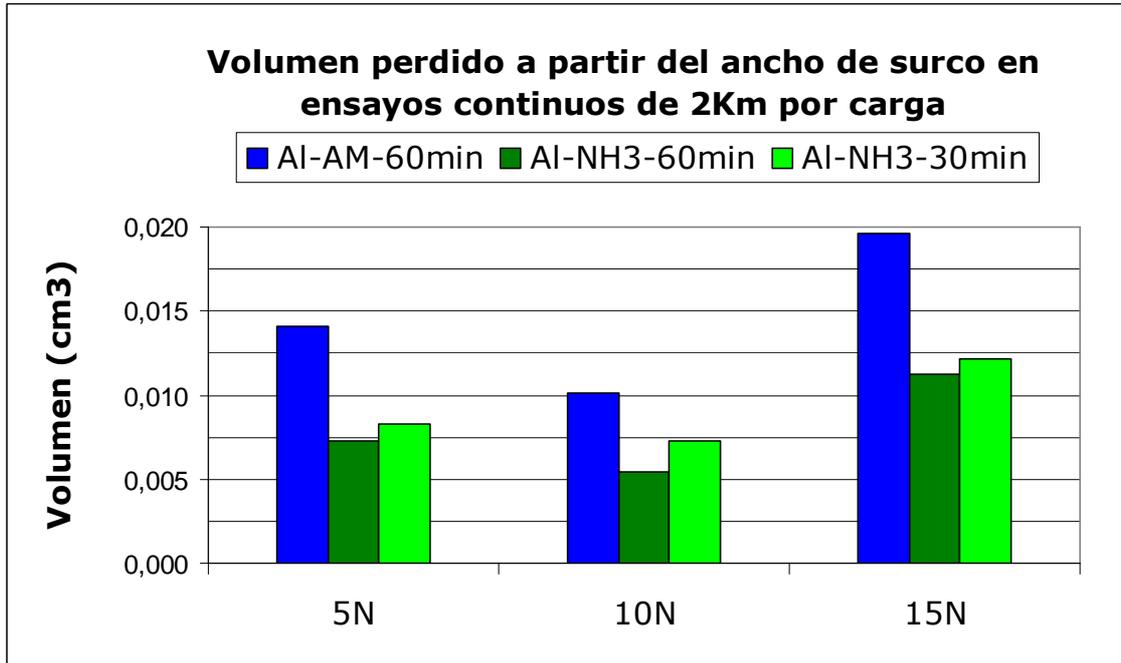


Gráfica V - 52 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos continuos de 2Km por carga

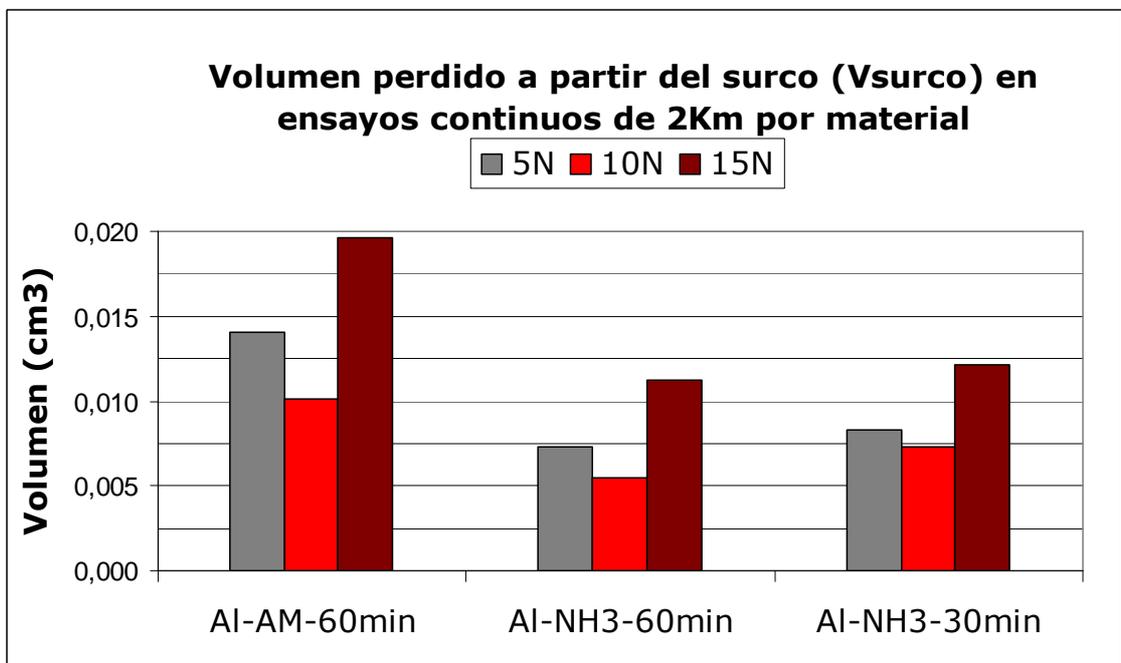


Gráfica V - 531 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos continuos de 2Km por material

V.3.8.4. Ensayos de 2Km por surco

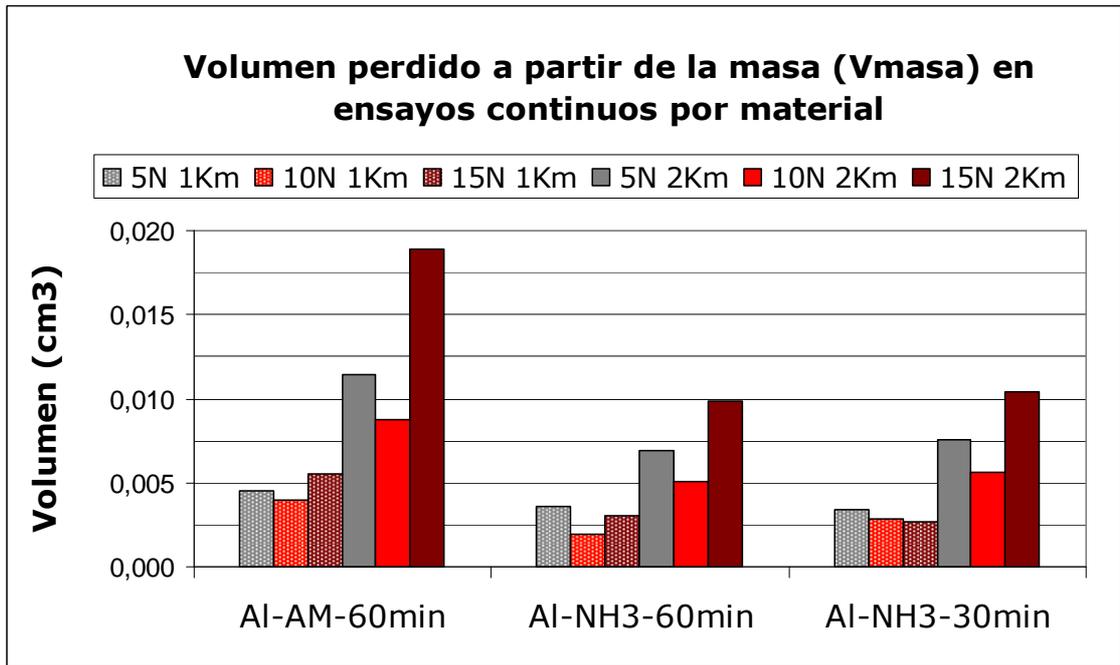


Gráfica V - 54 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{surco}$ ) en ensayos continuos de 2Km por carga

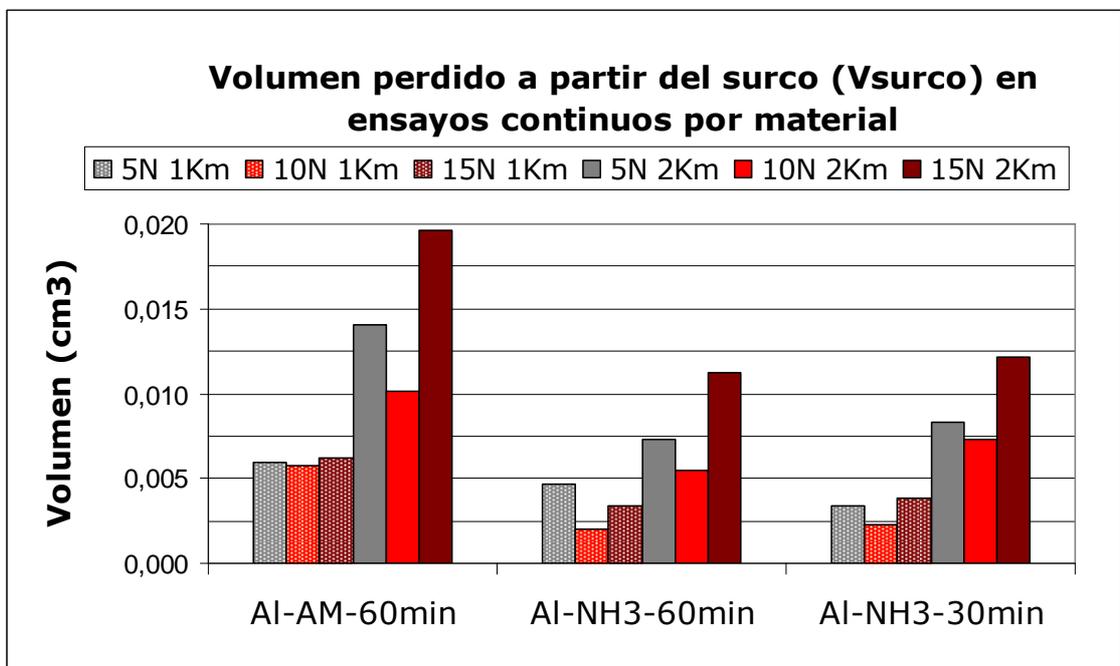


Gráfica V - 55 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos continuos de 2Km por material

V.3.8.5. Gráficas comparativas del volumen perdido



Gráfica V - 56 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa (Vmasa) en ensayos continuos por material

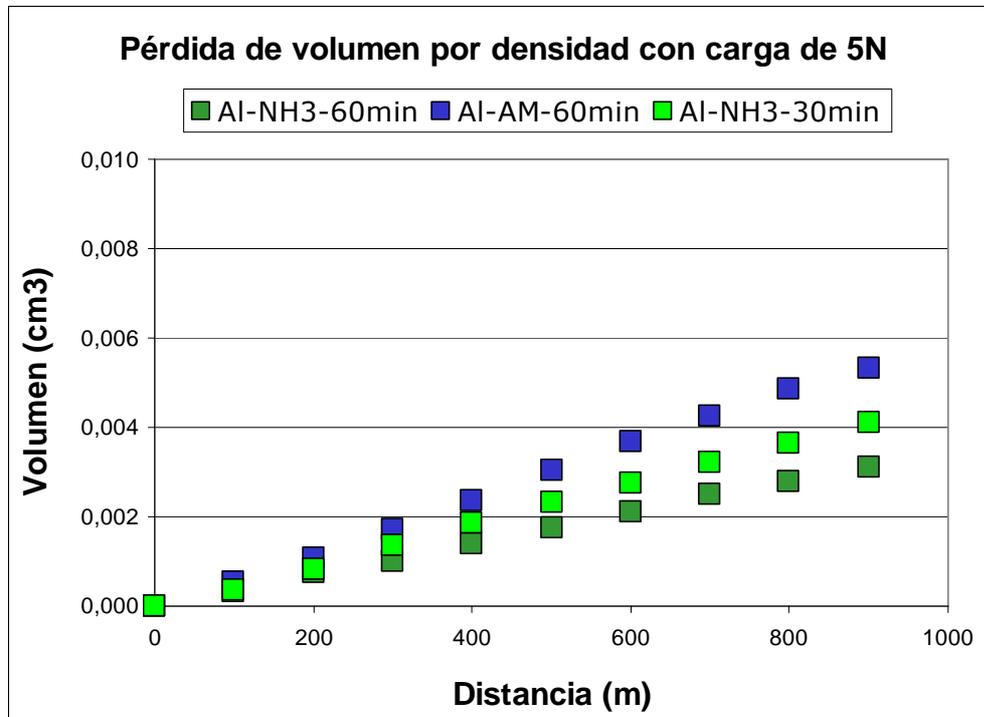


Gráfica V - 57 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa (Vsurco) en ensayos continuos por material

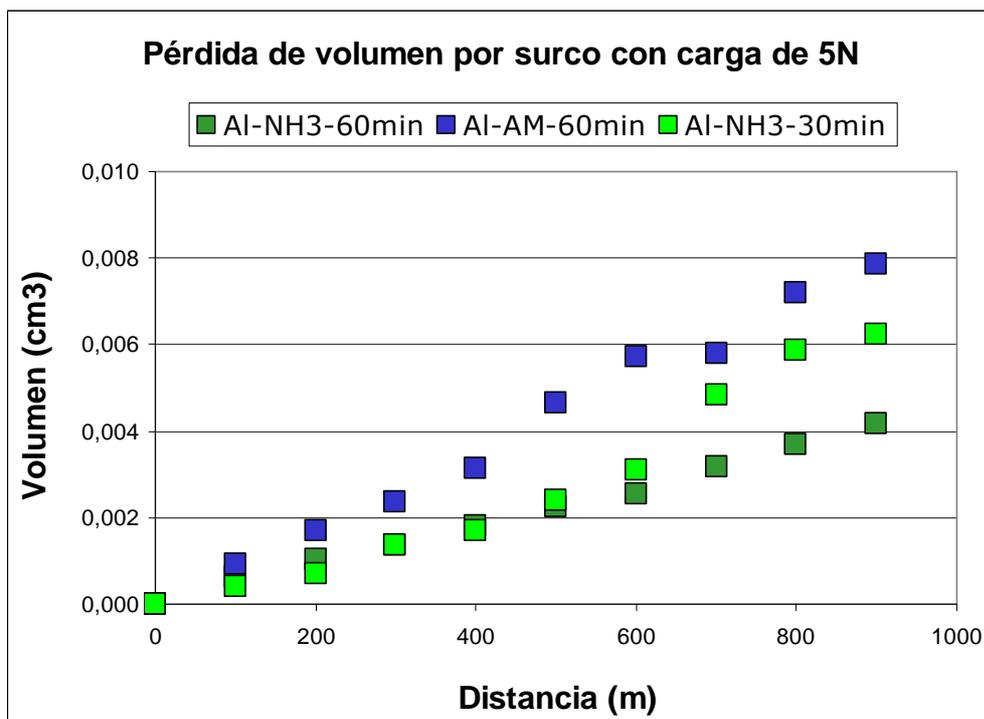
### V.3.9. Evolución del volumen perdido en los ensayos con paradas

En este apartado se representa el volumen perdido a partir de la masa y del surco en gráficas separadas.

#### V.3.9.1. Ensayos con 5N de carga

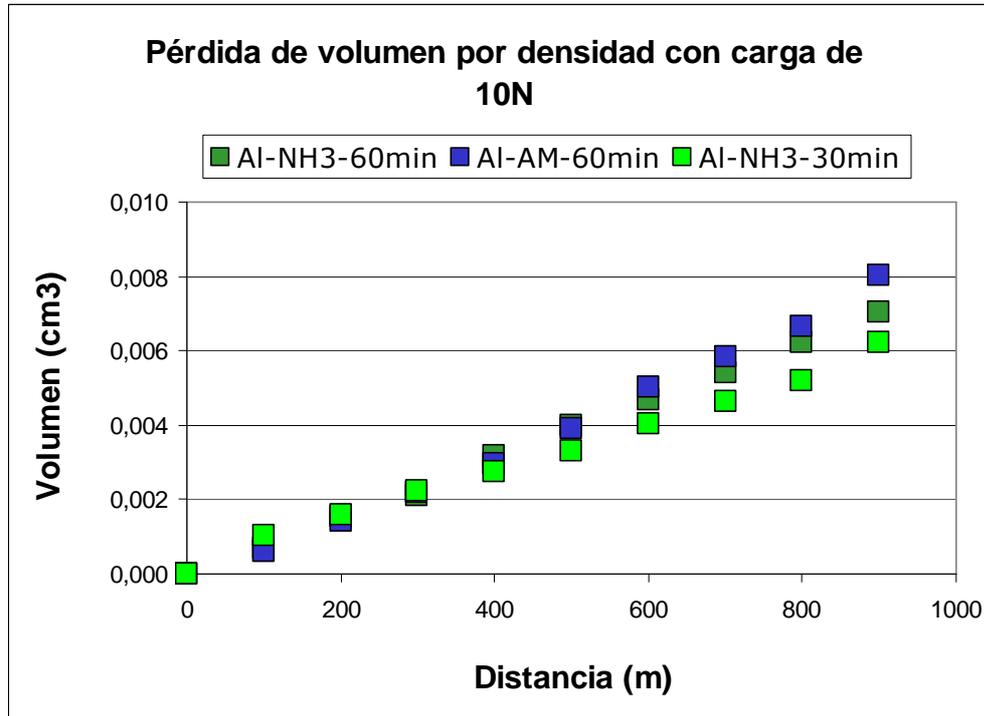


Gráfica V - 58 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos con paradas a 5N de carga

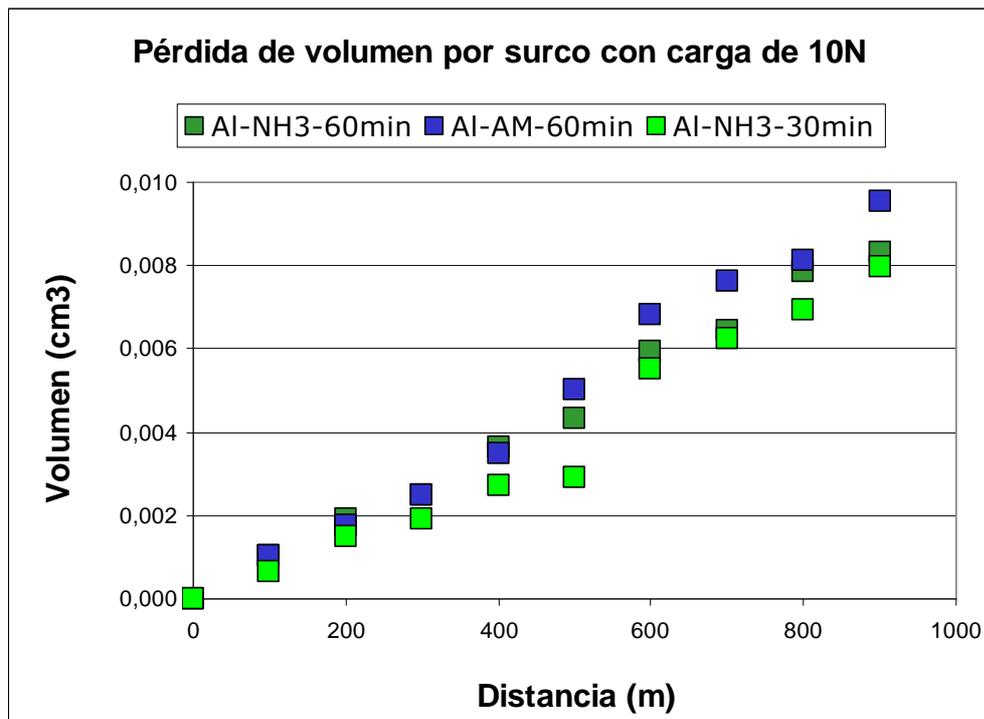


Gráfica V - 59 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos con paradas a 5N de carga

V.3.9.2. Ensayos con 10N de carga

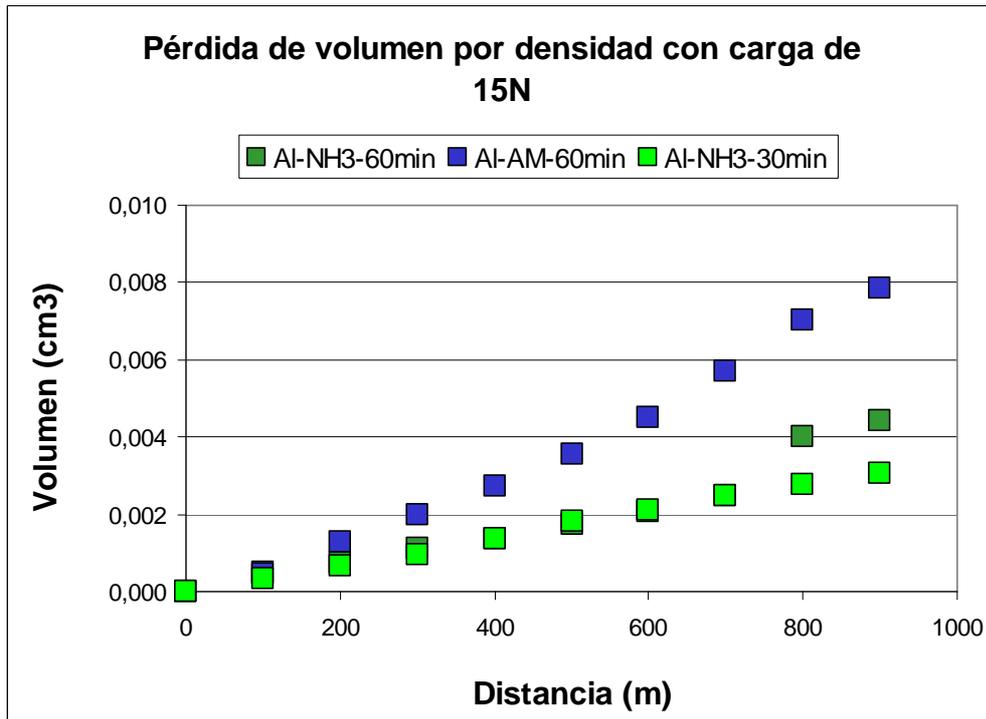


Gráfica V - 60 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas a 10N de carga



Gráfica V - 61 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas a 10N de carga

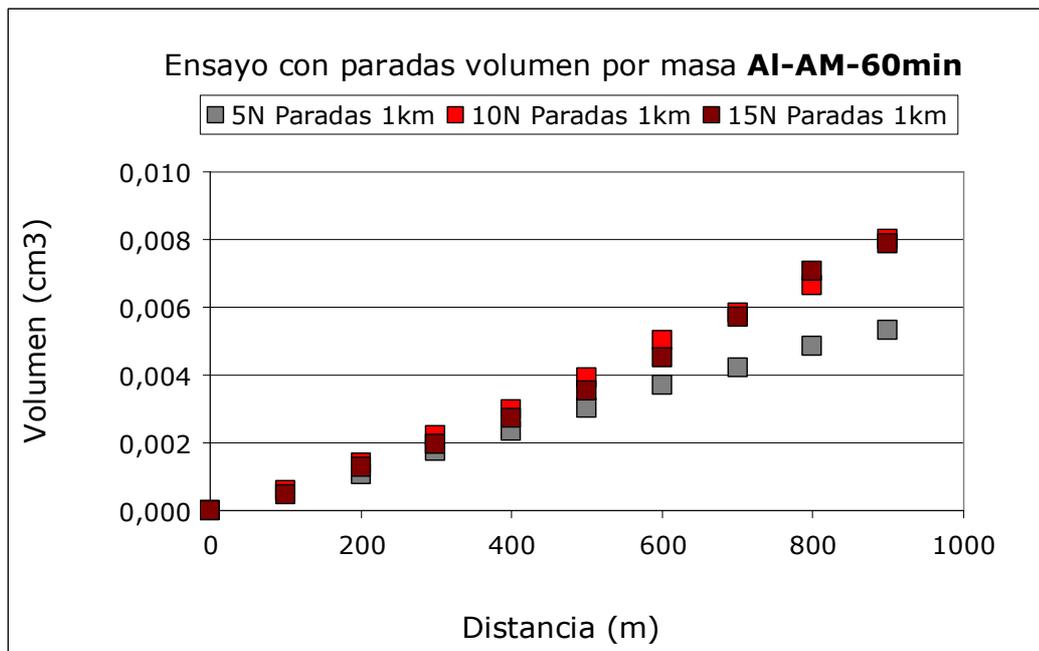
V.3.9.3. Ensayos con 15N de carga



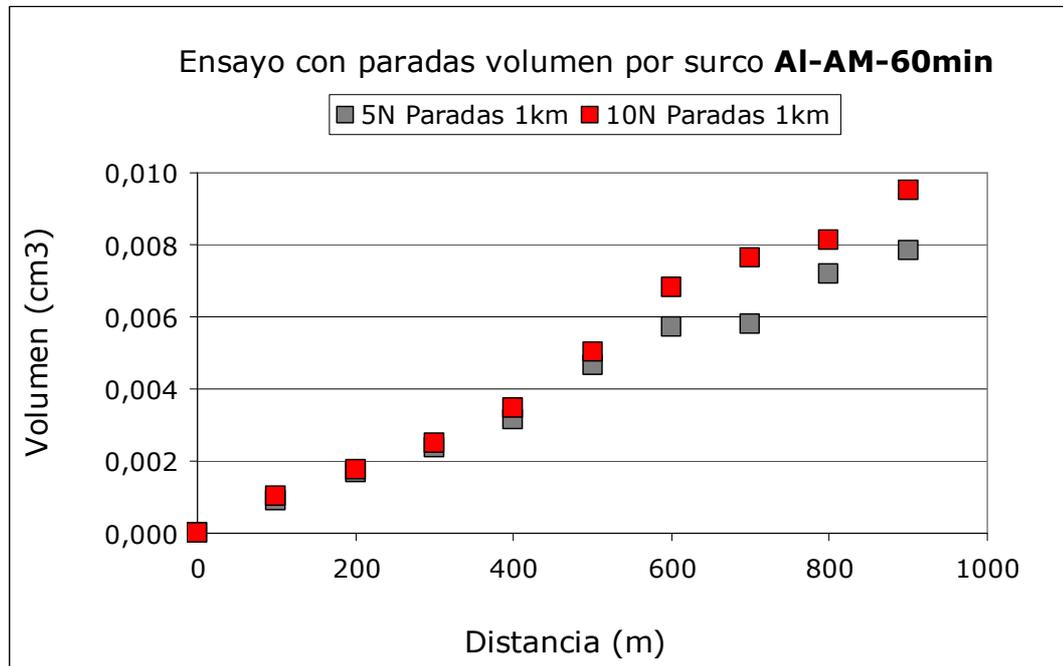
Gráfica V - 62 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas a 15N de carga

V.3.10. Gráficas comparativas del volumen perdido en los ensayos con paradas por material para diferentes cargas

El material Al-AM-60min apenas tiene diferencias para 10 N y 15N (Gráfica V-63).

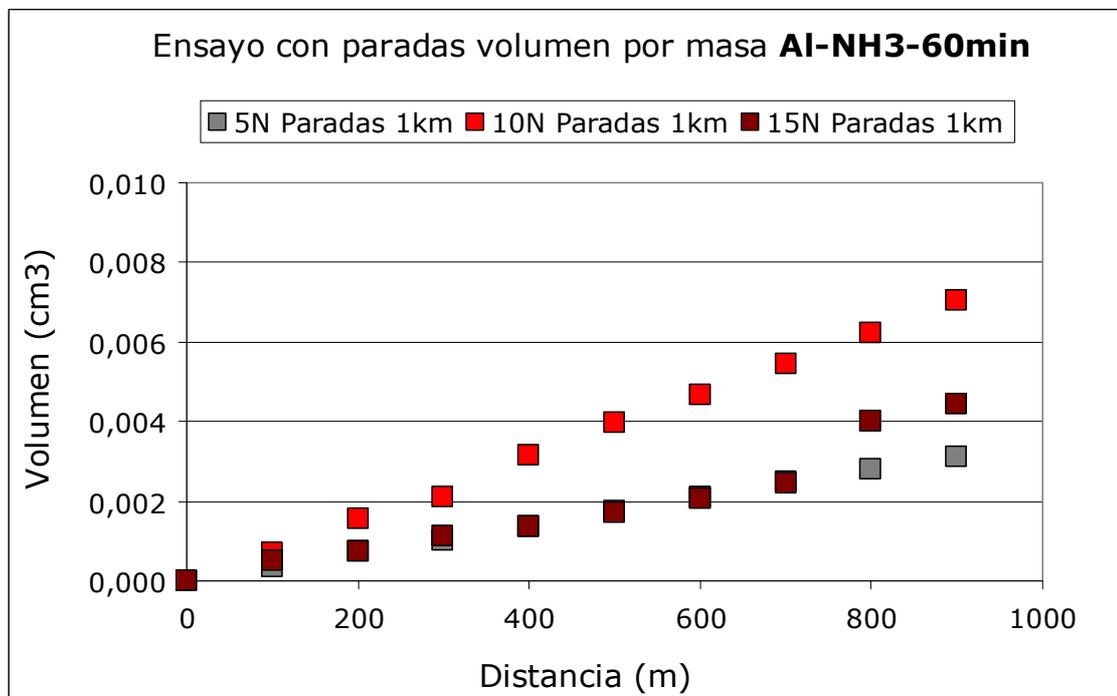


Gráfica V - 63 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas del Al-AM-60min por carga

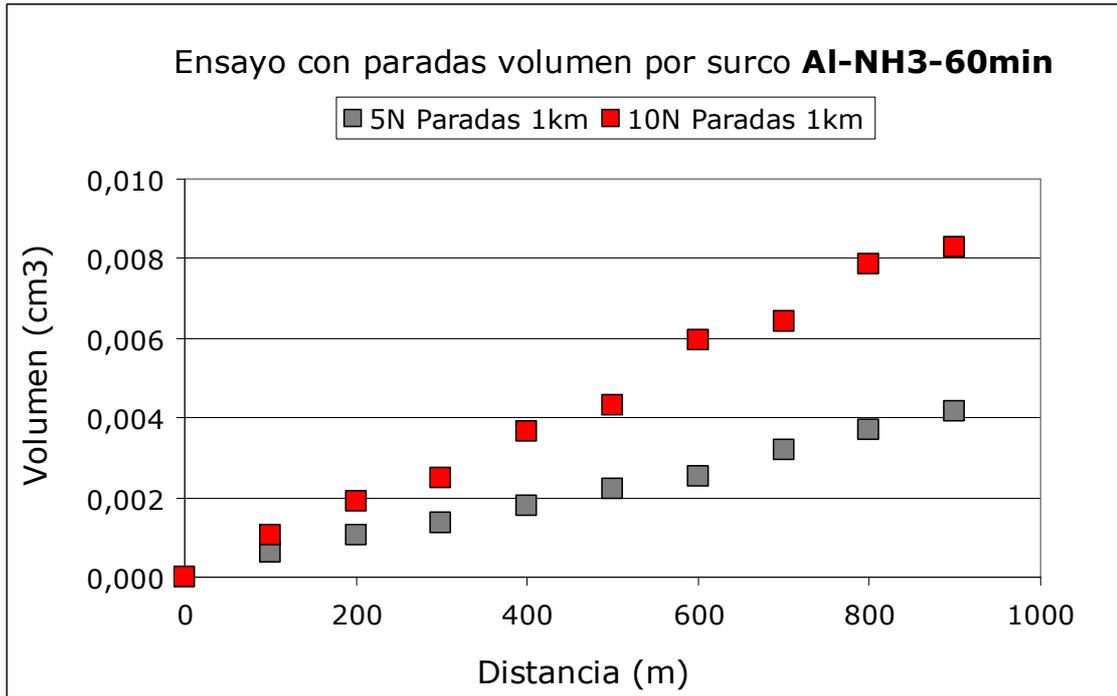


Gráfica V - 64 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos con paradas del Al-AM-60min por carga

Para el caso de Al-NH3-60min y Al-NH3-30min se aprecia una disminución del volumen perdido en el caso de la comparación entre 10N y 15N (Gráfica V-65).

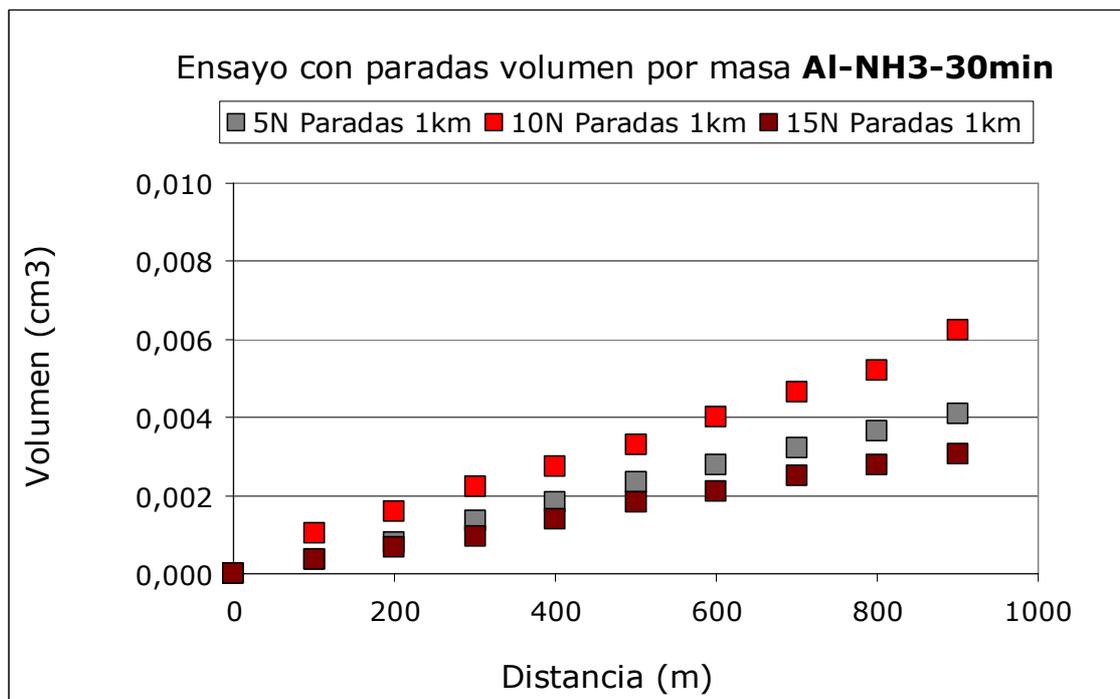


Gráfica V - 65 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-60min por carga

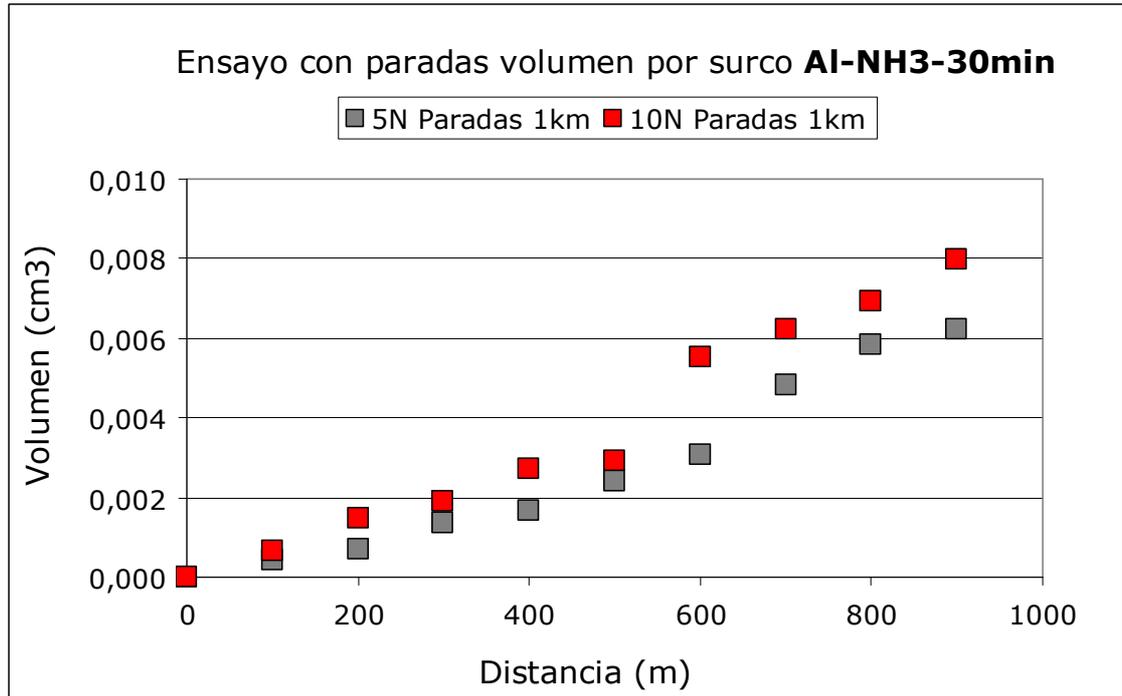


Gráfica V - 66 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-60min por carga

En la Gráfica V-67 se aprecia un incremento de pérdida de volumen de 5N a 10N, para luego descender por debajo de los 5N, en los ensayos de 15N



Gráfica V - 67 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-30min por carga



Gráfica V - 68 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-30min por carga

### V.3.11. Coeficiente de desgaste absoluto ( $K_{abs}$ )

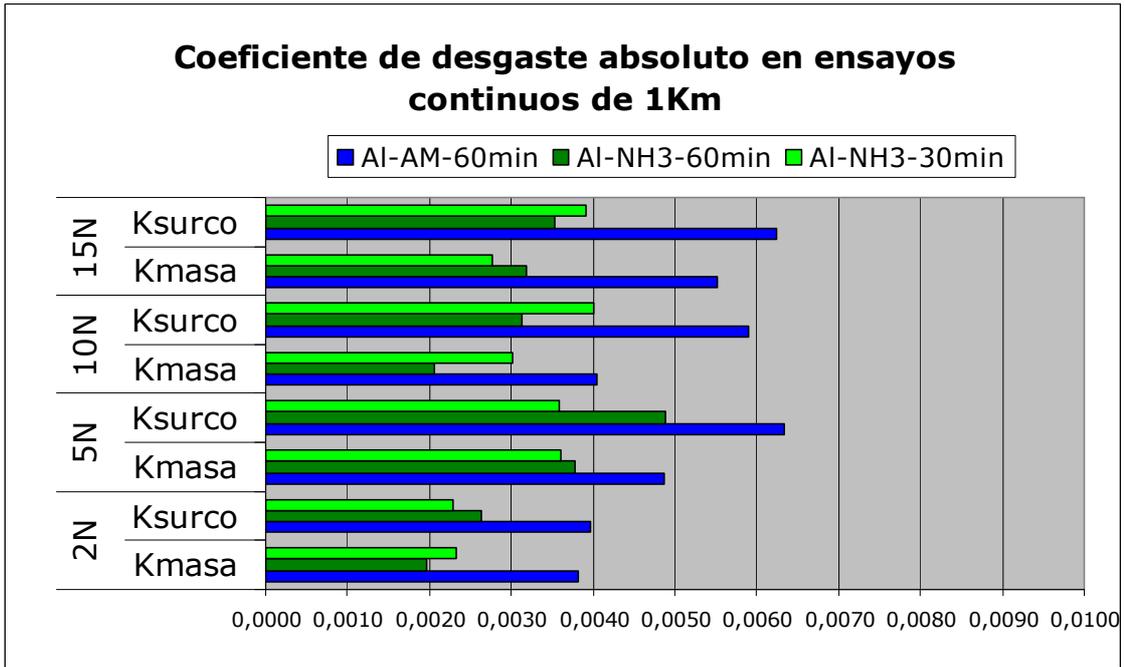
En este apartado se representa el coeficiente de desgaste absoluto de los ensayos continuos y con paradas. Las distancias lineales de ensayos, utilizadas para la obtención de este coeficiente, se representan en la Tabla V - 41.

	Distancia lineal de ensayos							
	2N	5N		10N		15N		
	1Km	1Km	2Km	1Km	2Km	1Km	2Km	
Al-AM-60min	1000	931,4	1931,4	975,3	1975,3	901,5	1901,5	
Al-NH3-60min	1000	952,3	1952,3	950,4	1950,4	952,3	1952,3	
Al-NH3-30min	1000	949,3	1949,3	951,2	1951,2	929,8	1929,8	

Tabla V - 41 Distancia lineal de ensayos continuos

	Ensayos continuos de 1Km							
	2N		5N		10N		15N	
	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$
Al-AM-60min	0,0038	0,0040	0,0049	0,0063	0,0040	0,0059	0,0055	0,0062
Al-NH3-60min	0,0020	0,0026	0,0038	0,0049	0,0021	0,0031	0,0032	0,0035
Al-NH3-30min	0,0023	0,0023	0,0036	0,0036	0,0030	0,0040	0,0028	0,0039

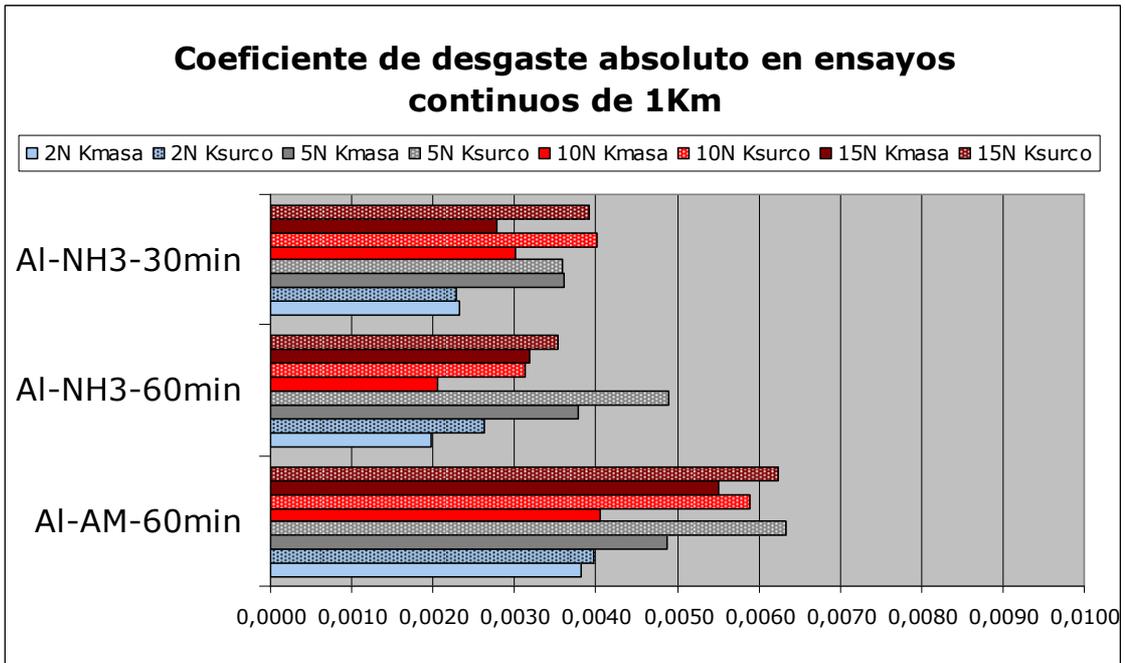
Tabla V - 42 Coeficiente de desgaste absoluto para ensayos continuos de 1 Km



Gráfica V - 69 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 1Km

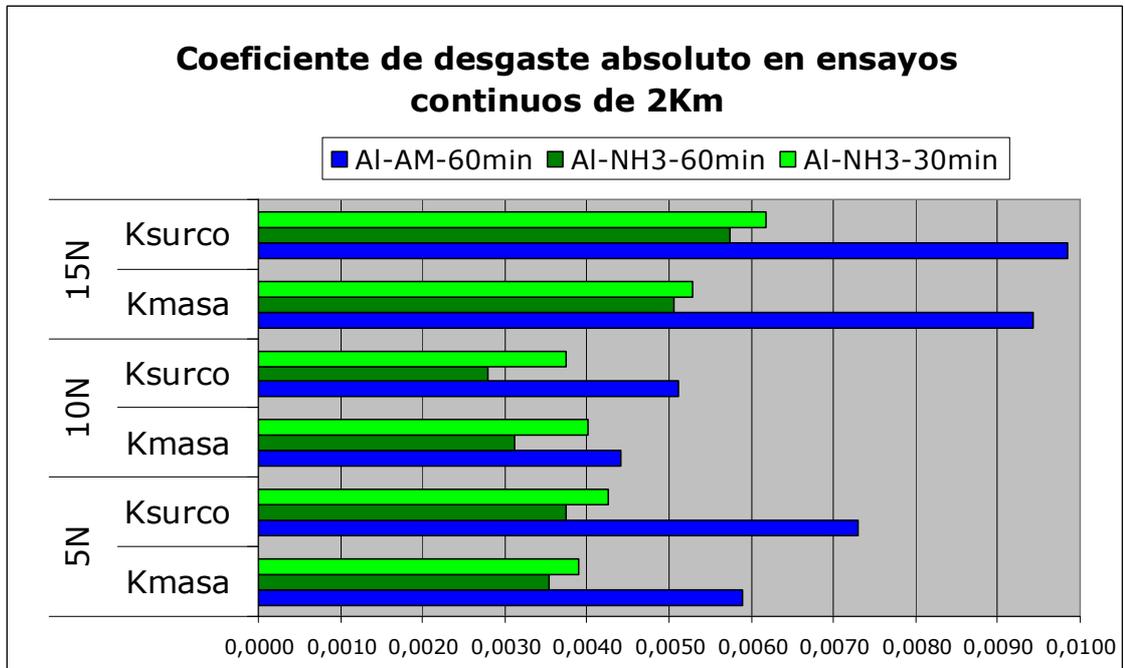
	Ensayos continuos de 2Km					
	5N		10N		15N	
	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$
<b>Al-AM-60min</b>	0,0059	0,0073	0,0044	0,0051	0,0094	0,0098
<b>Al-NH3-60min</b>	0,0035	0,0037	0,0031	0,0028	0,0051	0,0058
<b>Al-NH3-30min</b>	0,0039	0,0043	0,0040	0,0037	0,0053	0,0062

Tabla V - 43 Coeficiente de desgaste absoluto para ensayos de 2Km

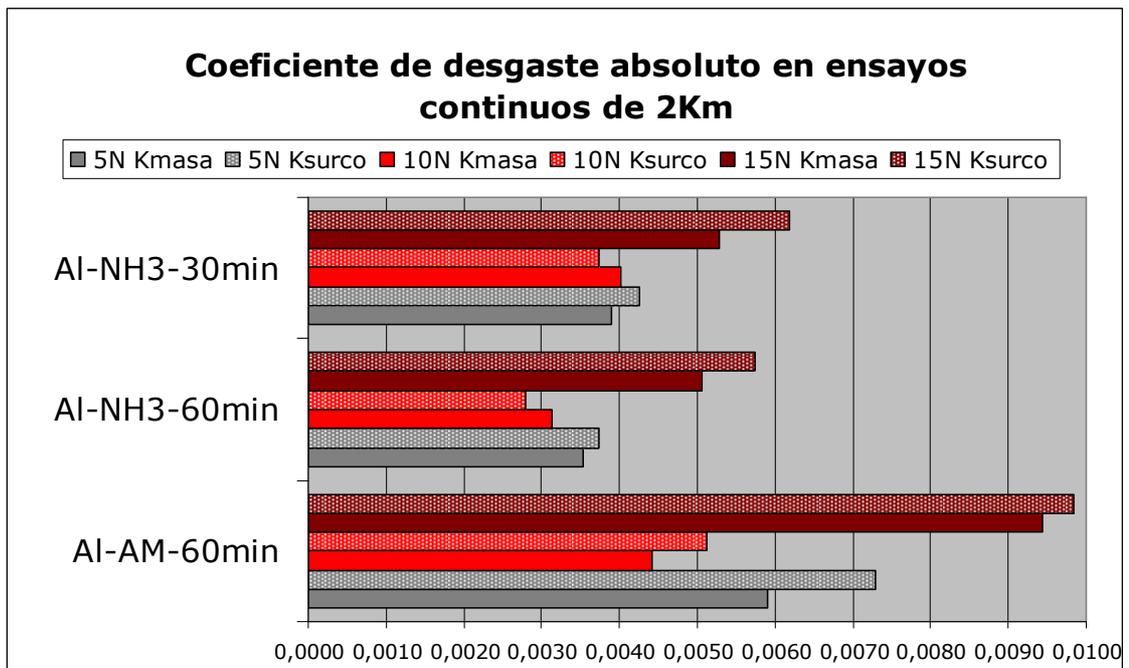


Gráfica V - 70 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 1Km por material

A la vista de los resultados, en la Gráfica V - 71, comparándolos con los valores de los ensayos de 1 Km, Gráfica V - 69, se aprecia un incremento en el coeficiente de desgaste absoluto considerable, lo cual nos indica que durante el ensayo de 2Km cambia el ritmo de pérdida de material por metro recorrido, con lo cual se puede decir que se pierde la linealidad inicial o que su pendiente cambia, este efecto se aprecia con mayor nivel en el Al-AM-60min, comparando la Gráfica V - 70 y Gráfica V - 72.



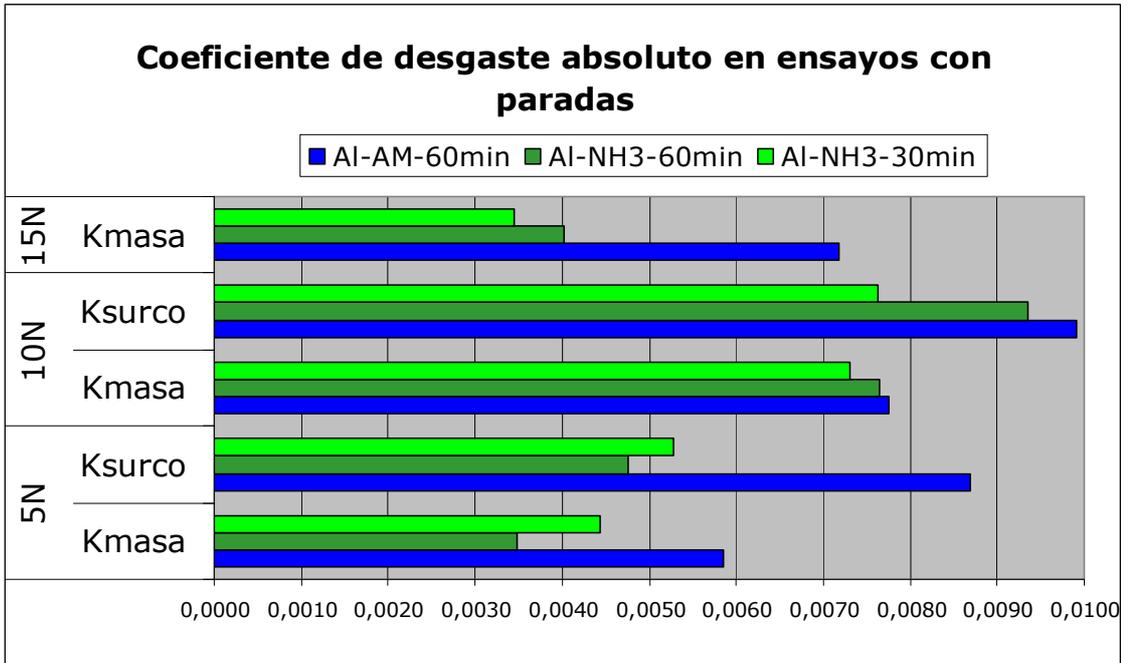
Gráfica V - 71 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 2Km



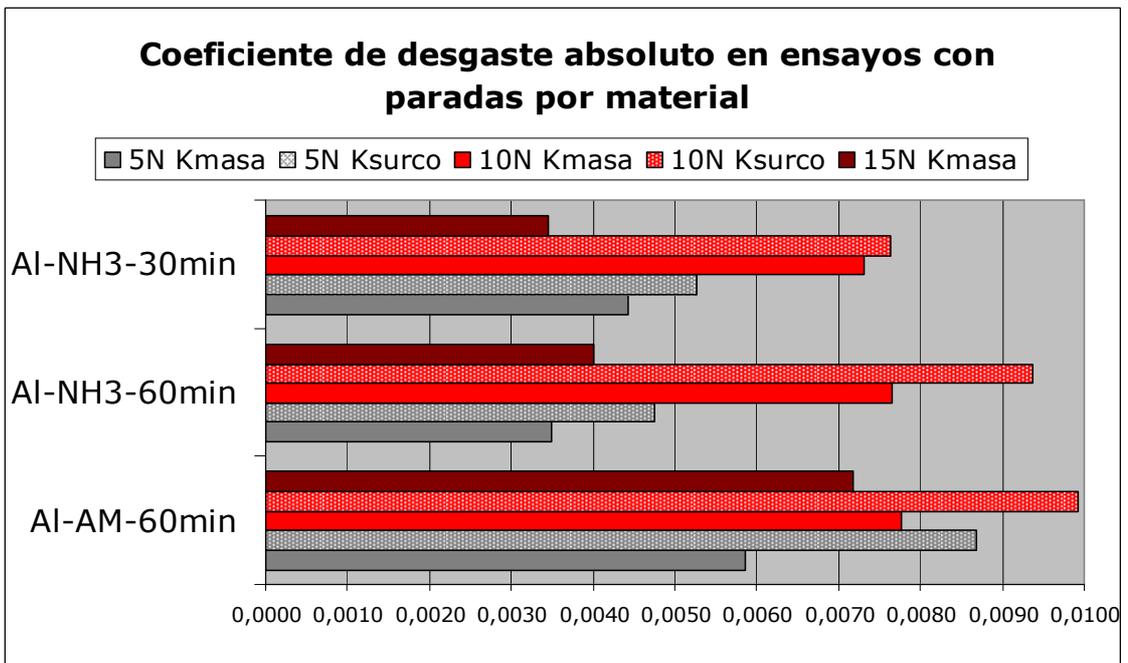
Gráfica V - 72 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 2Km por material

	Ensayos con paradas				
	5N		10N		15N
	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$	$K_{surco}$	$K_{masa}$
Al-AM-60min	0,0059	0,0087	0,0078	0,0099	0,0072
Al-NH3-60min	0,0035	0,0048	0,0076	0,0094	0,0040
Al-NH3-30min	0,0044	0,0053	0,0073	0,0076	0,0034

Tabla V - 44 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos de paradas



Gráfica V - 73 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos con paradas



Gráfica V - 74 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos con paradas por material

**V.3.12. Determinación del coeficiente de desgaste normalizado (K)**

Para el cálculo de este coeficiente hay que aplicar la ecuación III – 3, que se expuso en el apartado teórico de esta memoria, para ello se necesita la dureza del material, expresado en (N/cm<sup>2</sup>) (Tabla V - 45).

	HB (N/cm <sup>2</sup> )
Al-AM-60min	93100
Al-NH3-60min	160720
Al-NH3-30min	158760

Tabla V - 45 Dureza de los materiales ensayados

**V.3.12.1. Coeficiente de desgaste (K) a partir de la masa perdida y por ancho del surco en ensayos continuos**

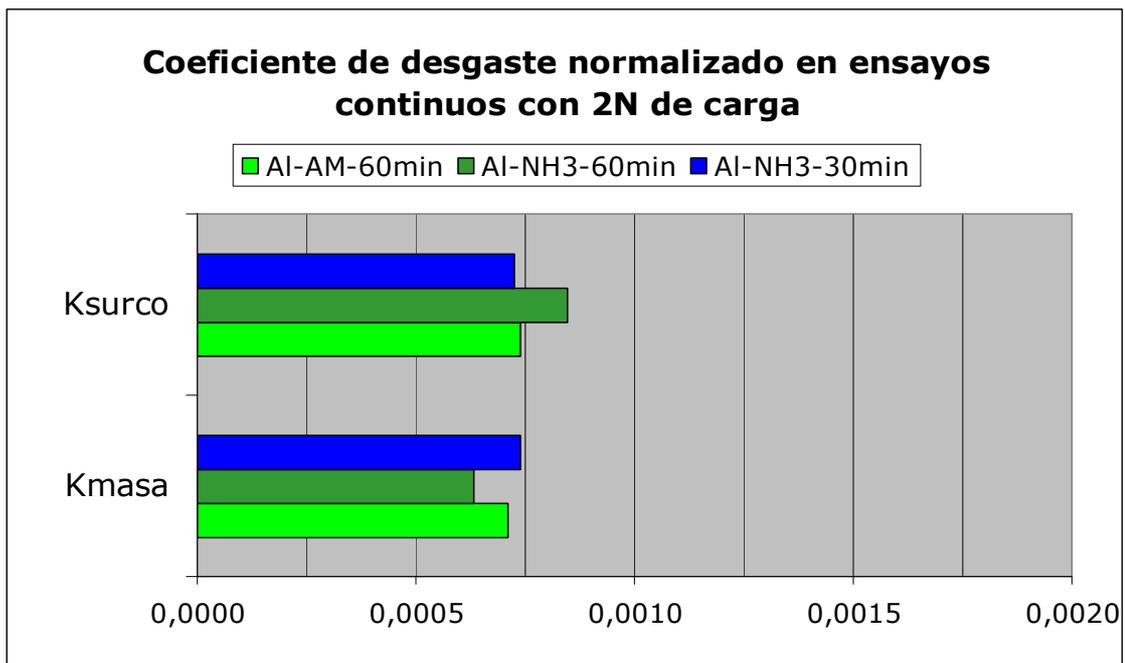
Se define una distancia de ensayo, que resulta de obtener la diferencia entre la distancia de ensayo, según sea 1Km o 2Km, menos la distancia de rodaje.

Hay un efecto reseñable, a la luz de las gráficas siguientes, que corresponde a un incremento inusual del coeficiente de desgaste normalizado (K) en los ensayos de 15N, y aparecen al comparar los resultados de 1Km con los de 2Km (Gráfica V - 82), se puede decir que hay un incremento del volumen perdido más que proporcional respecto a la distancia. Esto era predecible, ya que ocurre con  $K_{abs}$ .

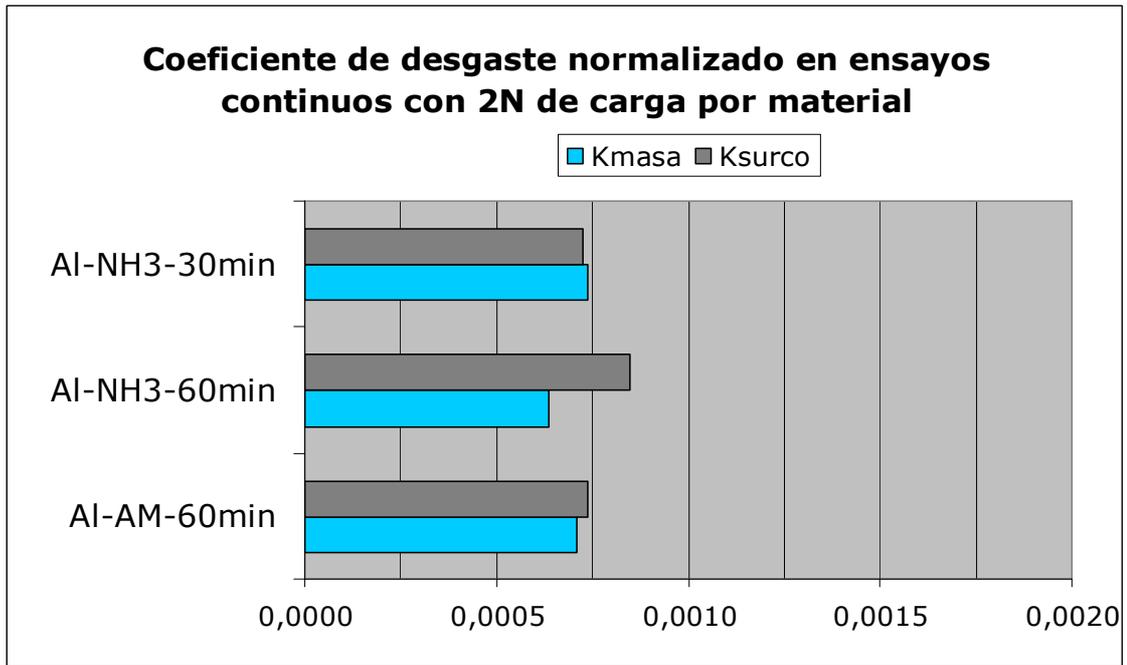
**V.3.12.1.1. Ensayos con 2N de carga**

	Ensayos continuos de 1Km		
	d <sub>ensayo</sub> (m)	K <sub>masa</sub>	K <sub>surco</sub>
Al-AM-60min	1000	0,0007	0,0007
Al-NH3-60min	1000	0,0006	0,0008
Al-NH3-30min	1000	0,0007	0,0007

Tabla V - 46 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 2N



Gráfica V - 75 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 2N de carga



Gráfica V - 76 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 2N de carga por material

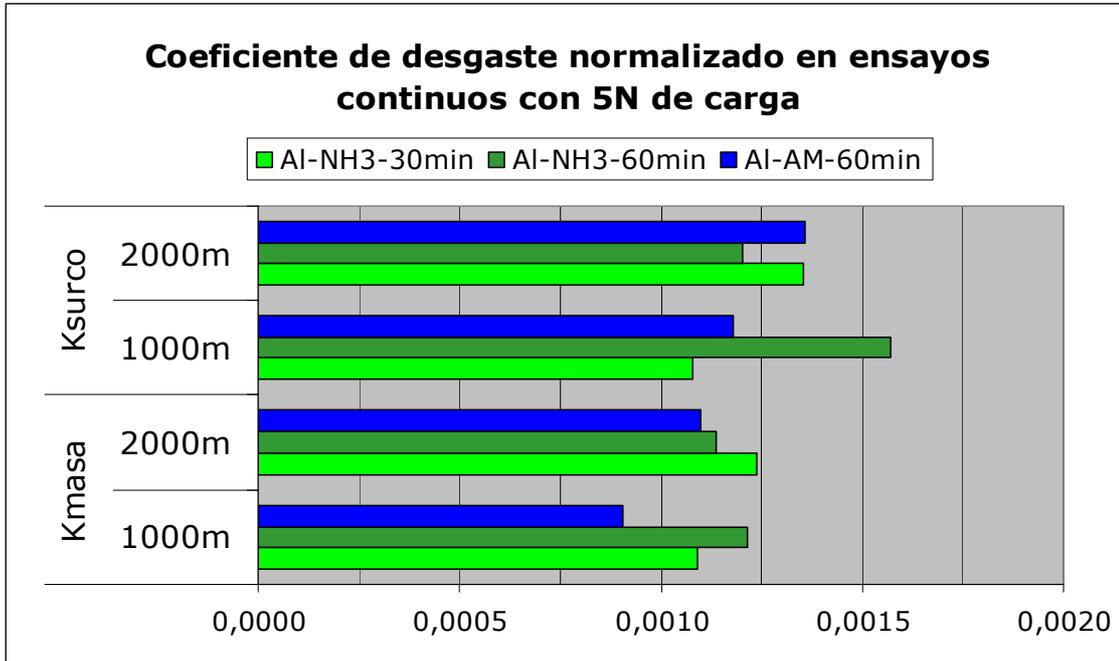
V.3.12.1.2. Ensayos con 5N de carga

Ensayos continuos de 1Km			
	d <sub>ensayo</sub> (m)	K <sub>masa</sub>	K <sub>surco</sub>
Al-AM-60min	931,4	0,0009	0,0012
Al-NH3-60min	952,3	0,0012	0,0016
Al-NH3-30min	949,3	0,0011	0,0011

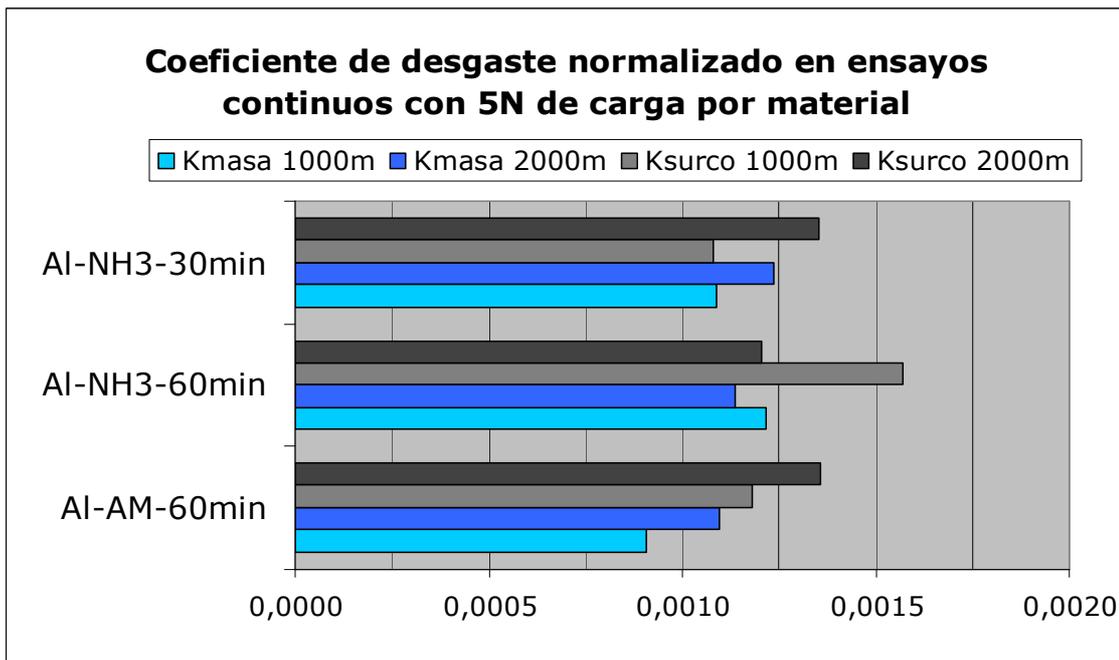
Tabla V - 47 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 5N y 1Km

Ensayos continuos de 2Km			
	d <sub>ensayo</sub> (m)	K <sub>masa</sub>	K <sub>surco</sub>
Al-AM-60min	1931,4	0,0011	0,0014
Al-NH3-60min	1952,3	0,0011	0,0012
Al-NH3-30min	1949,3	0,0012	0,0014

Tabla V - 48 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 5N y 2Km



Gráfica V - 77 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 5N de carga



Gráfica V - 78 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 5N de carga por material

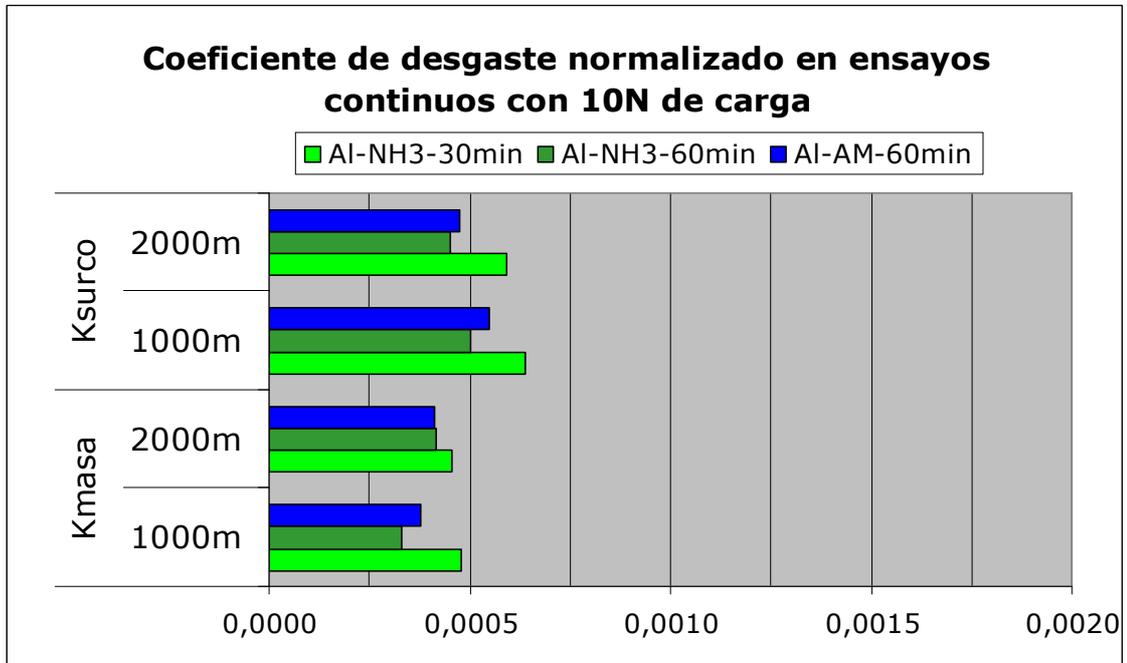
V.3.12.1.3. Ensayos con 10N de carga

Ensayos continuos de 1Km			
	d <sub>ensayo</sub> (m)	K <sub>masa</sub>	K <sub>surco</sub>
Al-AM-60min	975,3	0,0004	0,0005
Al-NH3-60min	950,4	0,0003	0,0005
Al-NH3-30min	951,2	0,0005	0,0006

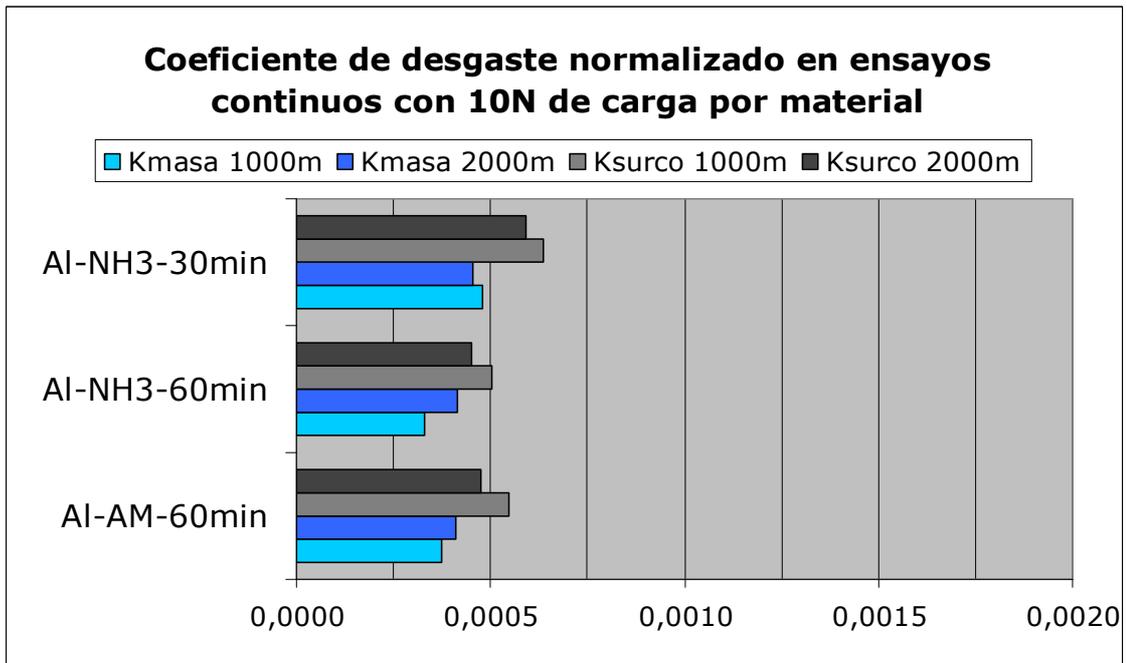
Tabla V - 49 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 10N y 1Km

Ensayos continuos de 2Km			
	$d_{\text{ensayo}} \text{ (m)}$	$K_{\text{masa}}$	$K_{\text{surco}}$
Al-AM-60min	1975,3	0,0004	0,0005
Al-NH3-60min	1950,4	0,0005	0,0004
Al-NH3-30min	1951,2	0,0006	0,0006

Tabla V - 50 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 10N y 2Km



Gráfica V - 79 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 10N de carga



Gráfica V - 80 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 10N de carga por material

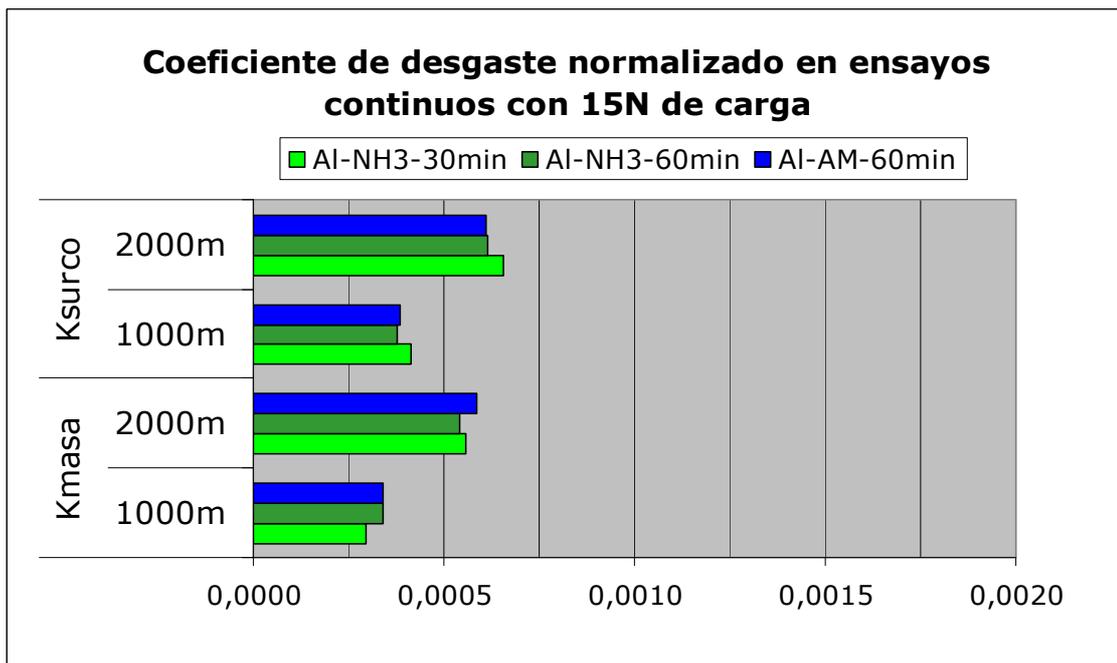
V.3.12.1.4. Ensayos con 15N de carga

Ensayos continuos de 1Km			
	$d_{\text{ensayo}} \text{ (m)}$	$K_{\text{masa}}$	$K_{\text{surco}}$
Al-AM-60min	901,5	0,0003	0,0003
Al-NH3-60min	952,3	0,0003	0,0004
Al-NH3-30min	929,8	0,0003	0,0004

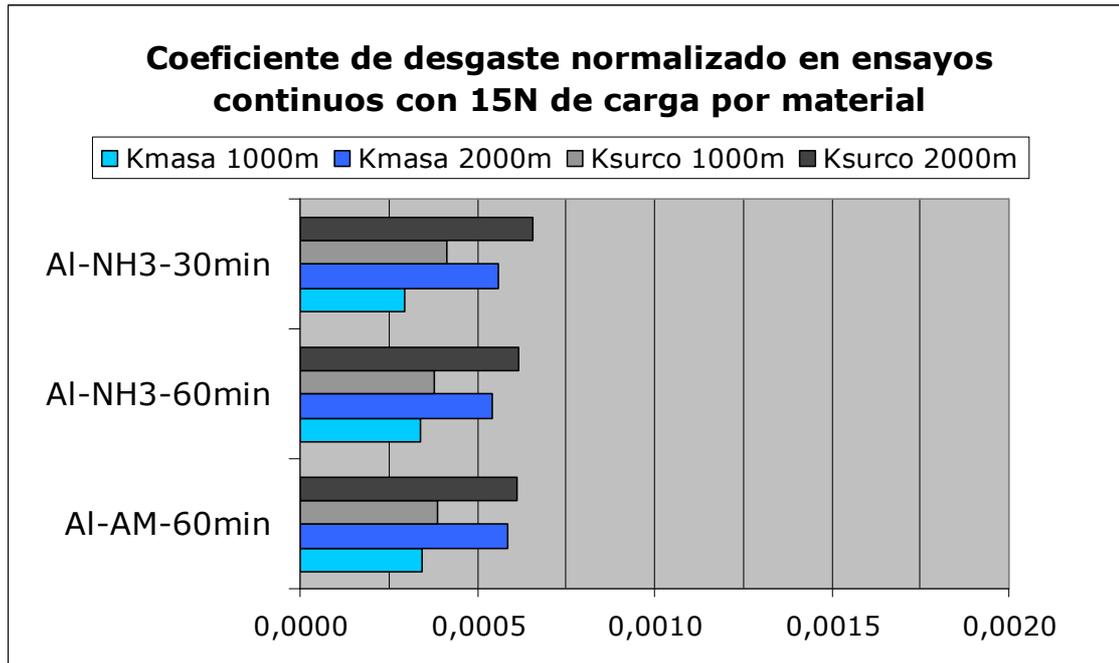
Tabla V - 51 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 15N y 1Km

Ensayos continuos de 2Km			
	$d_{\text{ensayo}} \text{ (m)}$	$K_{\text{masa}}$	$K_{\text{surco}}$
Al-AM-60min	1901,5	0,0006	0,0006
Al-NH3-60min	1952,3	0,0005	0,0006
Al-NH3-30min	1929,8	0,0006	0,0007

Tabla V - 52 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 15N y 2Km



Gráfica V - 81 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 15N de carga



Gráfica V - 82 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 15N de carga por material

#### V.3.12.2. Coeficiente de desgaste (K) a partir de la masa perdida y por ancho del surco en ensayos con paradas

Para el cálculo de estos coeficientes se tomaron los datos del volumen perdido, con referencia al primer valor, y se fueron calculando los coeficientes de desgaste acumulando volumen perdido y distancia recorrida, dado que se espera una relación lineal los valores se encuentran en torno a un valor promedio que es con el que se calcula posteriormente el coeficiente de desgaste normalizado.

Además, se han representado las gráficas con los valores de (K) para ensayos continuos de 1Km, como referencia.

En todas las gráficas comparativas hay un comportamiento típico, y es que hay un aumento sensible del coeficiente de desgaste (K) normalizado. La explicación a este evento se puede tener varios mecanismos:

- Variación de la temperatura debido a las pausas realizadas cada 100m en los ensayos de paradas, que pueden causar acritud en el material por la contracción al disminuir la temperatura, sobretodo, en la superficie dañada de la muestra. De este mecanismo puede resultar un incremento de volumen perdido.
- El ajuste de la muestra puede no ser perfecto, dado que al centrar la muestra con el centro del indentador siempre se comete errores, luego el surco es excéntrico respecto a la circunferencia que forma el perímetro de la muestra, un error en la posición de la muestra para los siguientes 100m puede resultar un surco excéntrico respecto al anterior, recorriendo nuevas trayectorias con el correspondiente comportamiento no lineal. Este mecanismo puede ocurrir en mayor o menos medida.

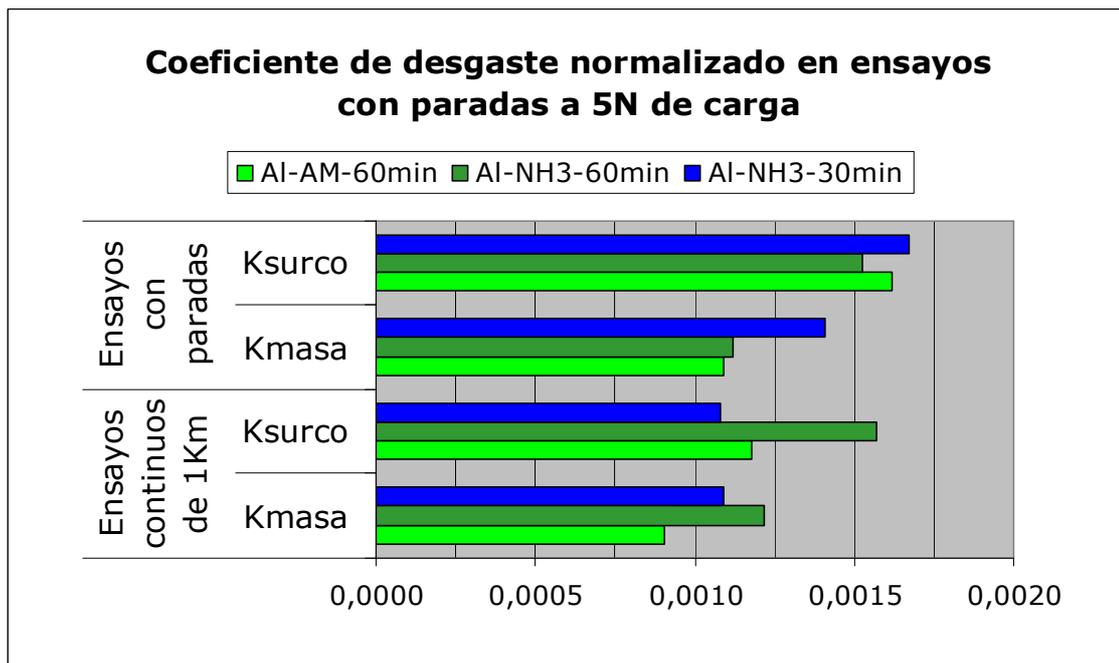
V.3.12.2.1. Ensayos con 5N de carga

Coeficiente de desgaste normalizado a partir de la masa perdida										
	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	Promedio
Al-AM-60min	0,0010	0,0010	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	<b>0,0011</b>
Al-NH3-60min	0,0011	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	<b>0,0011</b>
Al-NH3-30min	0,0012	0,0013	0,0014	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	<b>0,0014</b>

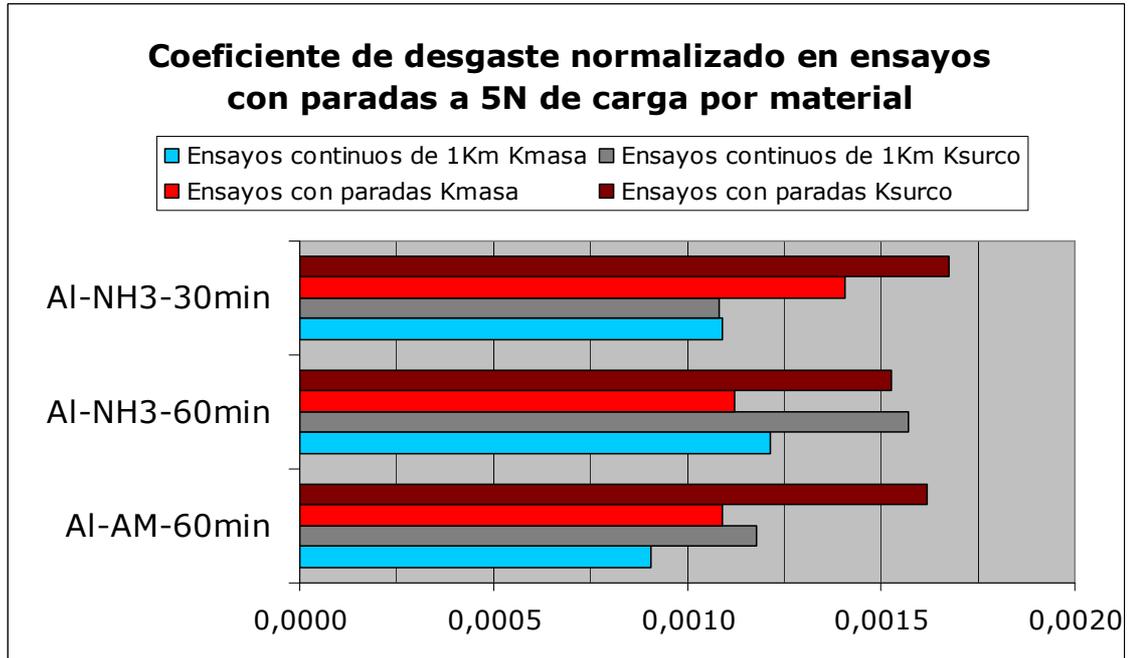
Tabla V - 53 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 5N a partir de la masa

Coeficiente de desgaste normalizado a partir del ancho de surco										
	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	Promedio
Al-AM-60min	0,0017	0,0016	0,0015	0,0015	0,0017	0,0018	0,0015	0,0017	0,0016	<b>0,0016</b>
Al-NH3-60min	0,0020	0,0017	0,0014	0,0015	0,0014	0,0014	0,0015	0,0015	0,0015	<b>0,0015</b>
Al-NH3-30min	0,0013	0,0011	0,0014	0,0013	0,0015	0,0016	0,0022	0,0023	0,0022	<b>0,0017</b>

Tabla V - 54 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 5N a partir del surco



Gráfica V - 83 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 5N de carga



Gráfica V - 84 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 5N de carga por material

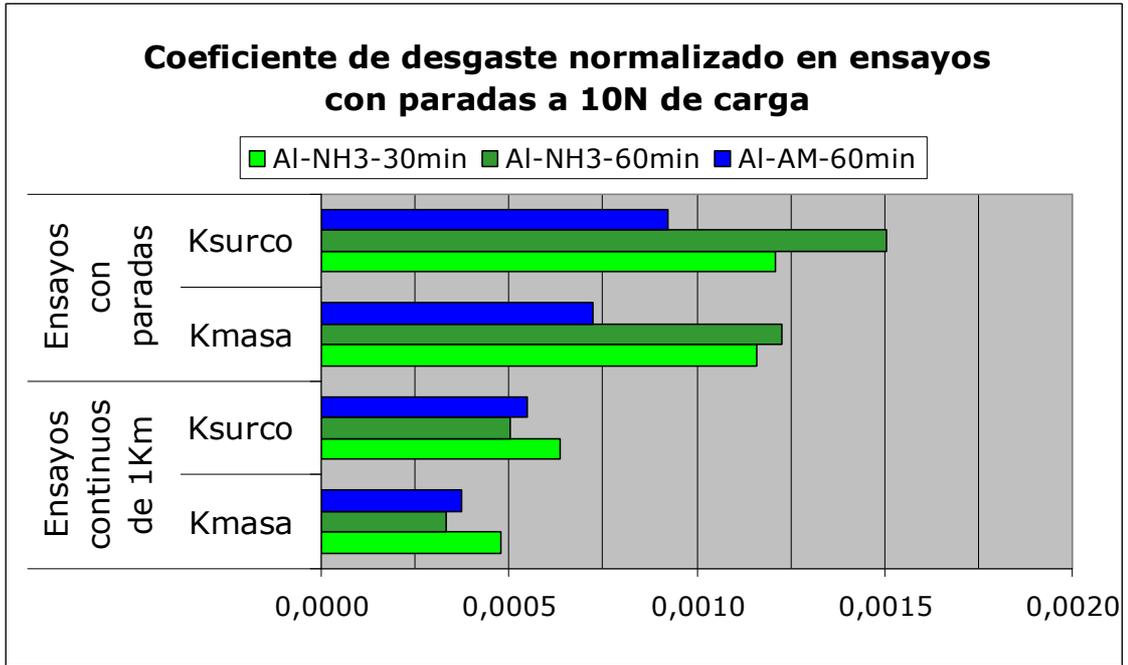
V.3.12.2.2. Ensayos con 10N de carga

	Coeficiente de desgaste normalizado a partir de la masa perdida									
	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	Promedio
Al-AM-60min	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007
Al-NH3-60min	0,0011	0,0013	0,0011	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0013	0,0012
Al-NH3-30min	0,0016	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	0,0011	0,0011	0,0010	0,0011	0,0012

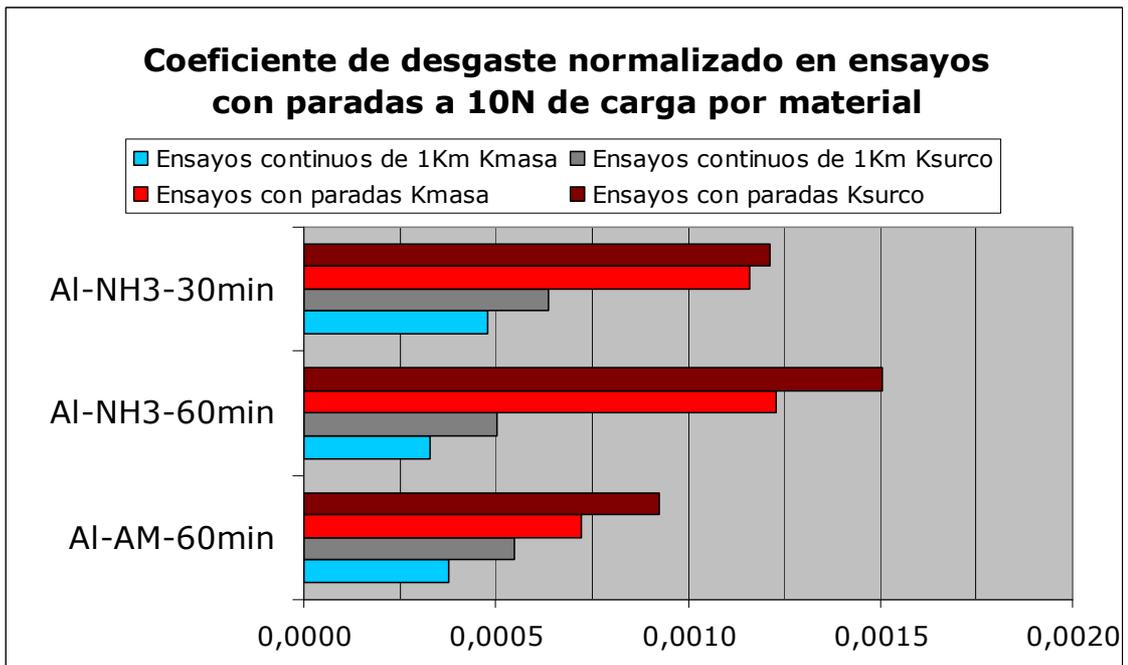
Tabla V - 55 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 10N a partir de la masa

	Coeficiente de desgaste normalizado a partir del ancho de surco									
	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	Promedio
Al-AM-60min	0,0010	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0011	0,0010	0,0009	0,0010	0,0009
Al-NH3-60min	0,0017	0,0015	0,0013	0,0015	0,0014	0,0016	0,0015	0,0016	0,0015	0,0015
Al-NH3-30min	0,0011	0,0012	0,0010	0,0011	0,0009	0,0015	0,0014	0,0014	0,0014	0,0012

Tabla V - 56 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 10N a partir del surco



Gráfica V - 85 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 10N de carga

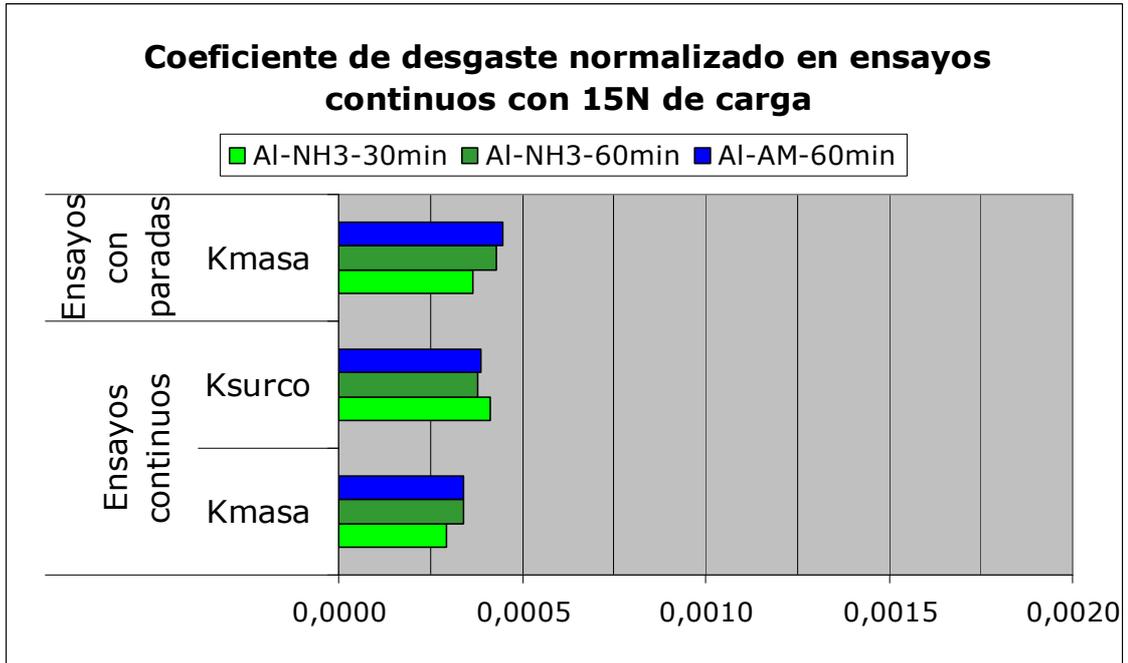


Gráfica V - 86 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 10N de carga por material

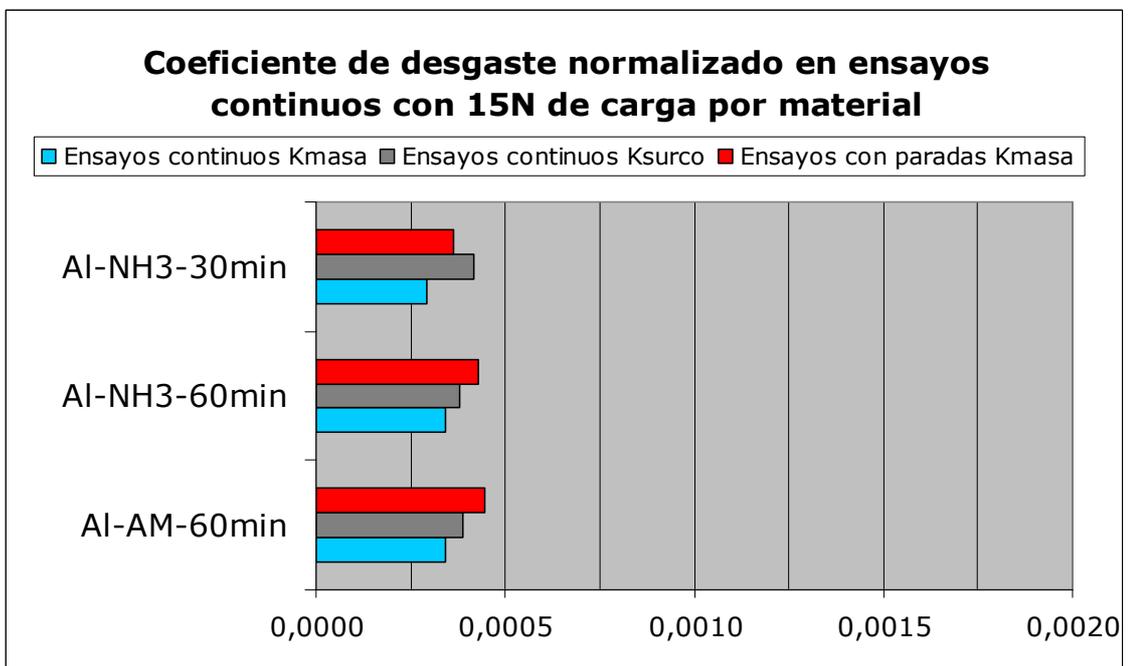
V.3.12.2.3. Ensayos con 15N de carga

	Coeficiente de desgaste normalizado a partir de la masa perdida									
	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	Promedio
Al-AM-60min	0,0009	0,0006	0,0011	0,0009	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Al-NH3-60min	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004
Al-NH3-30min	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004

Tabla V - 57 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 15N a partir de la masa



Gráfica V - 87 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 15N de carga



Gráfica V - 88 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 15N de carga por material

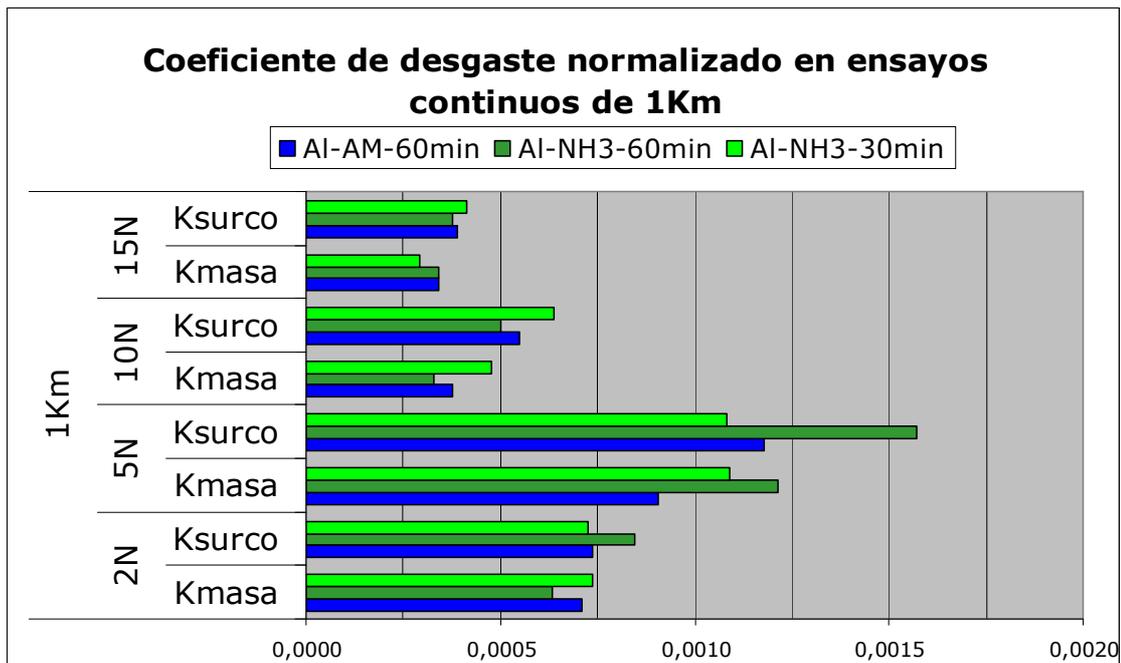
**V.3.13. Gráficas comparativas del coeficiente de desgaste normalizado**

En este apartado se exponen las gráficas con los datos de los coeficientes de desgaste normalizados pero representando los resultados para distintas cargas.

V.3.13.1. Comparación de ensayos continuos por carga

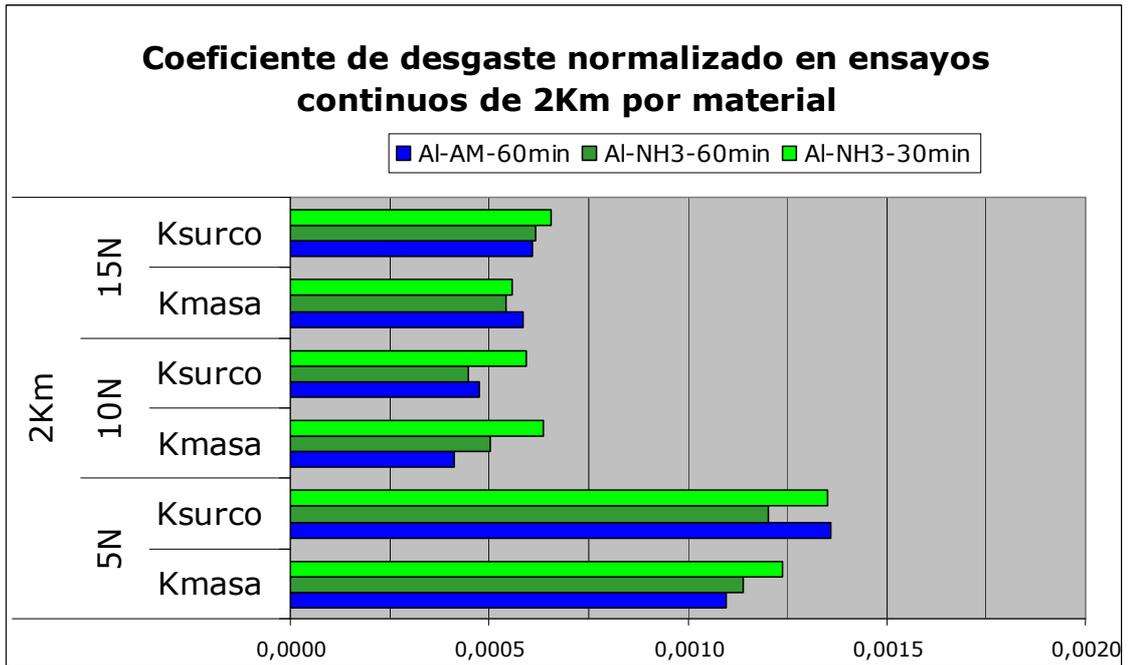
Los resultados de comparar el coeficiente de desgaste normalizado por carga refleja una variación en el mecanismo de desgaste principal, se advierte un incremento considerable del coeficiente pasando de 2N a 5N, y para los casos de mayor carga se puede ver un decremento del coeficiente. Dado que la carga se encuentra en el denominador de la ecuación que define este coeficiente se puede decir que aparece al menos un nuevo mecanismo de desgaste tras atravesar el umbral de 5N y el incremento del volumen perdido no es proporcional al incremento de carga. Por ello vemos cómo a cada aumento de carga se reduce este coeficiente

V.3.13.1.1. Ensayos de 1Km



Gráfica V - 89 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km por carga

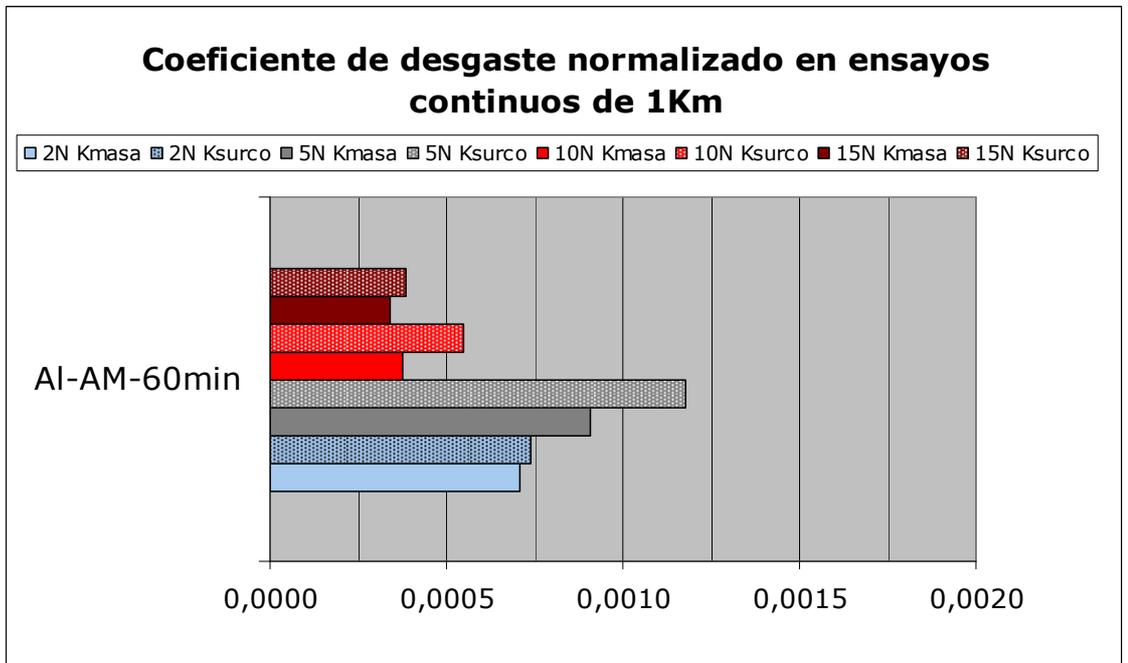
V.3.13.1.2. Ensayos de 2Km



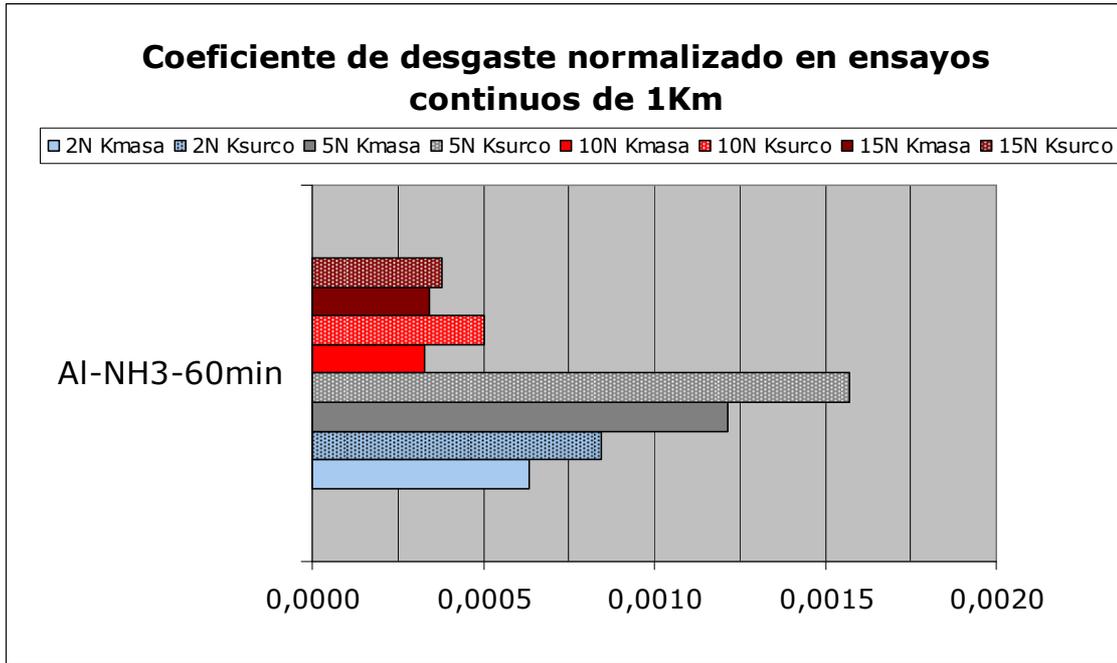
Gráfica V - 90 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km por carga

V.3.13.2. Comparación de ensayos continuos por material

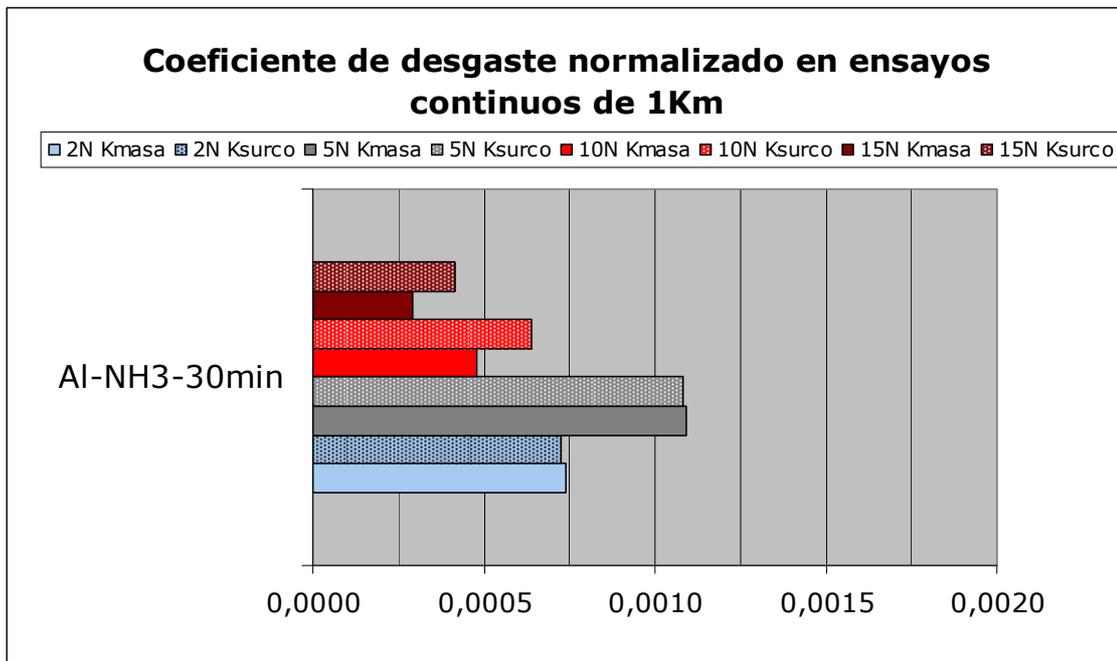
V.3.13.2.1. Ensayos de 1Km



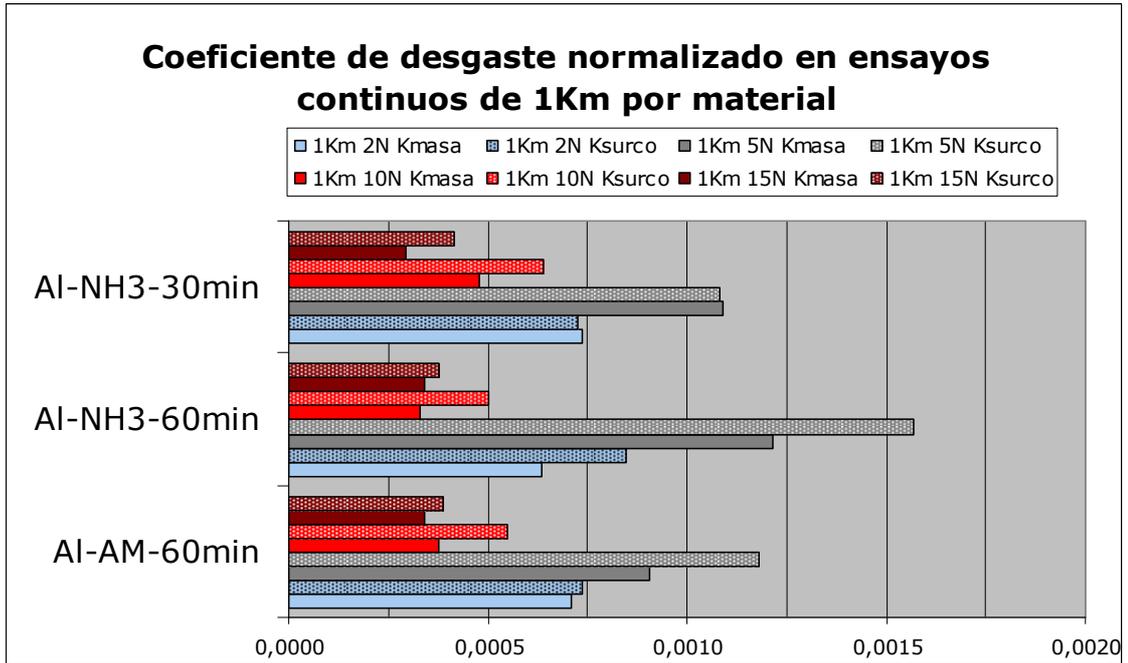
Gráfica V - 91 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-AM-60min



Gráfica V - 92 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-NH3-60min

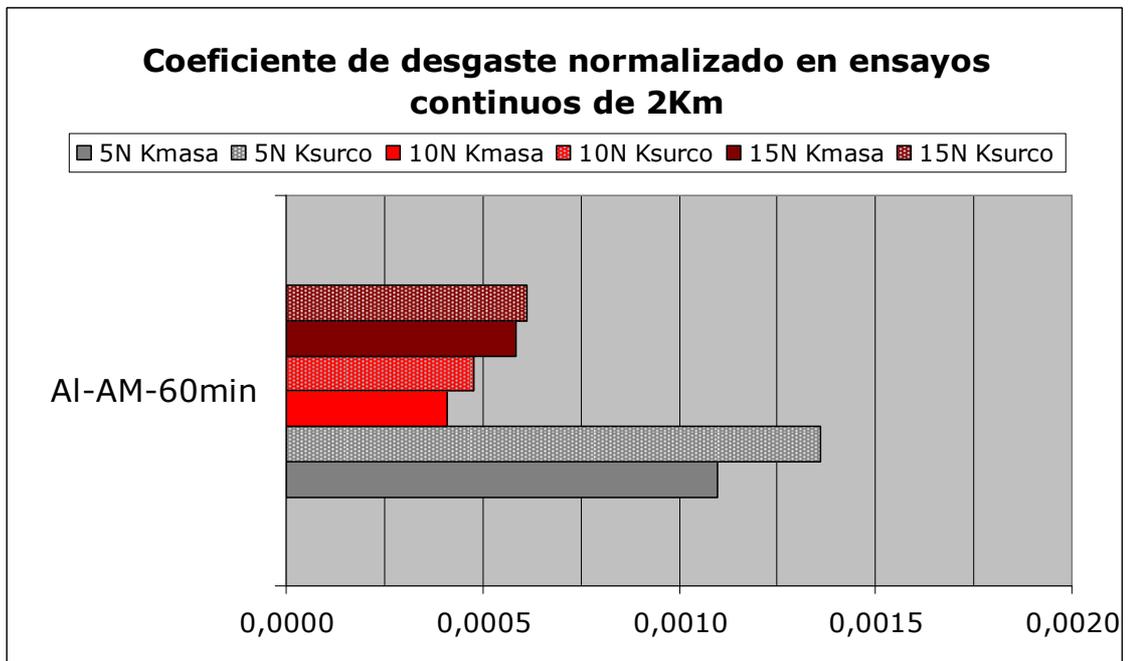


Gráfica V - 93 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-NH3-30min

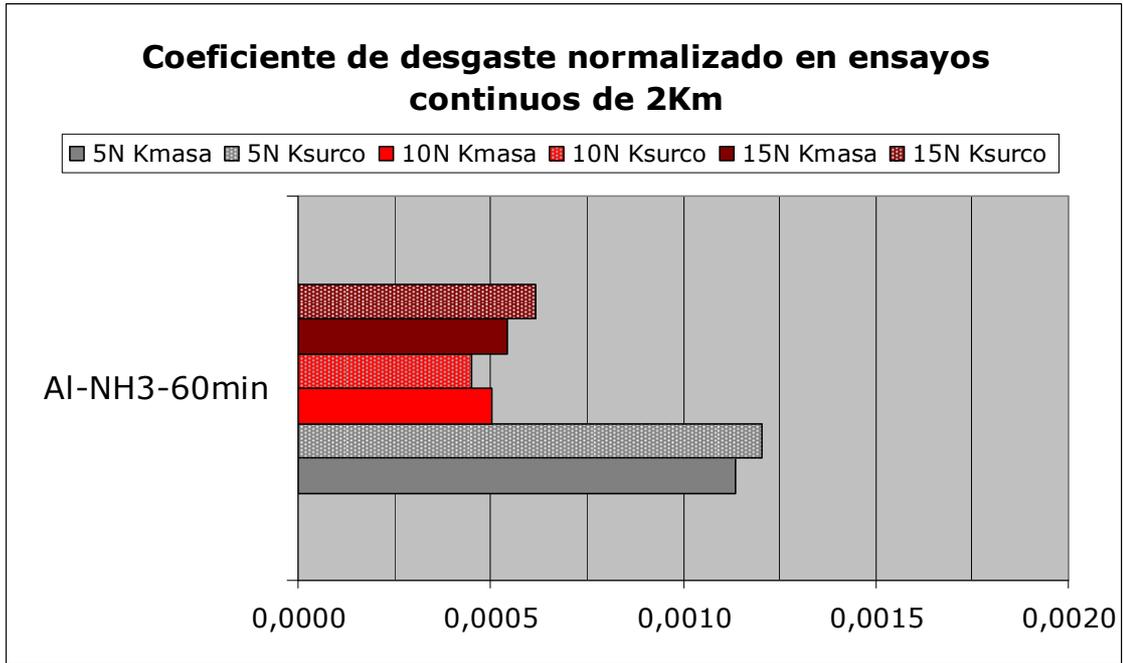


Gráfica V - 94 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km

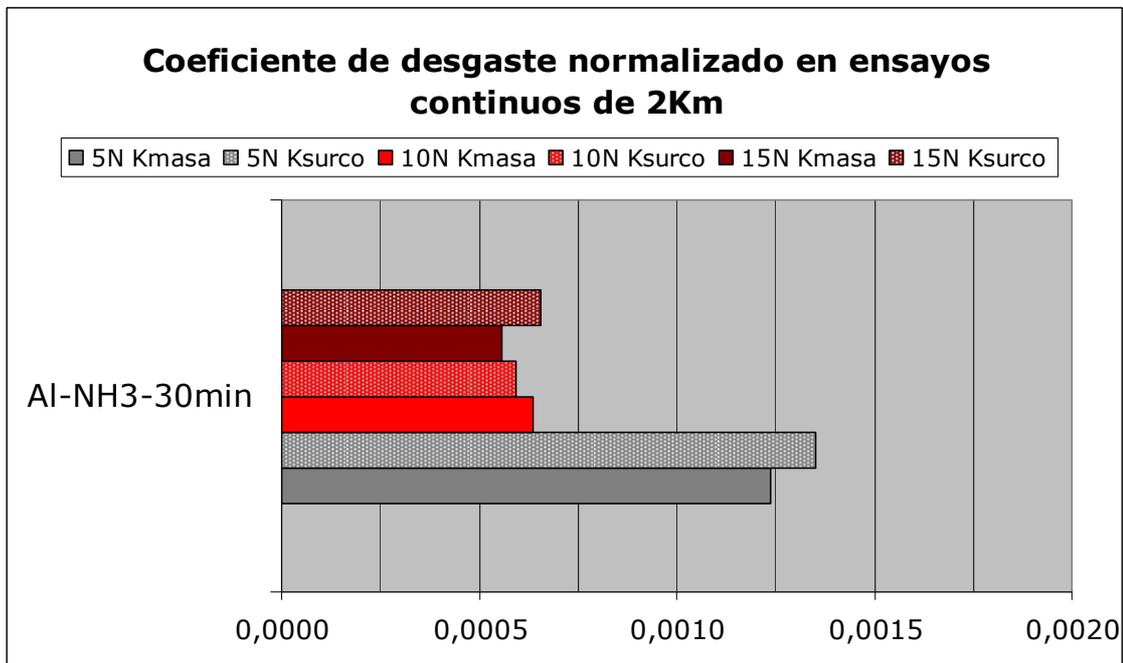
V.3.13.2.2. Ensayos de 2Km



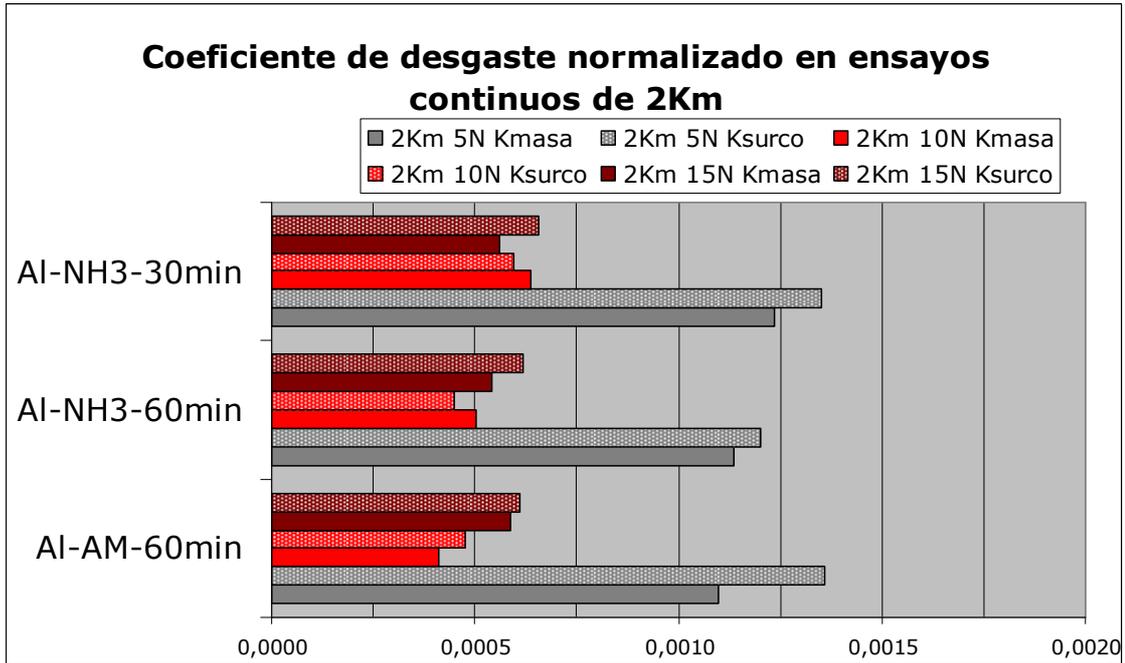
Gráfica V - 95 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-AM-60min



Gráfica V - 96 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-60min



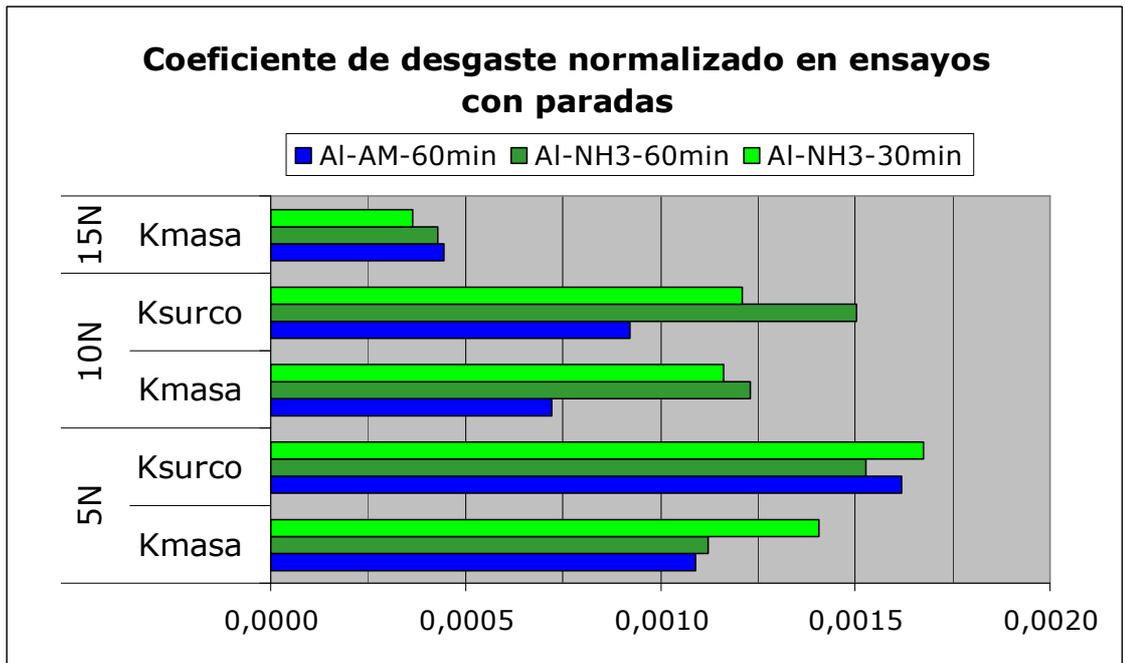
Gráfica V - 97 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-30min



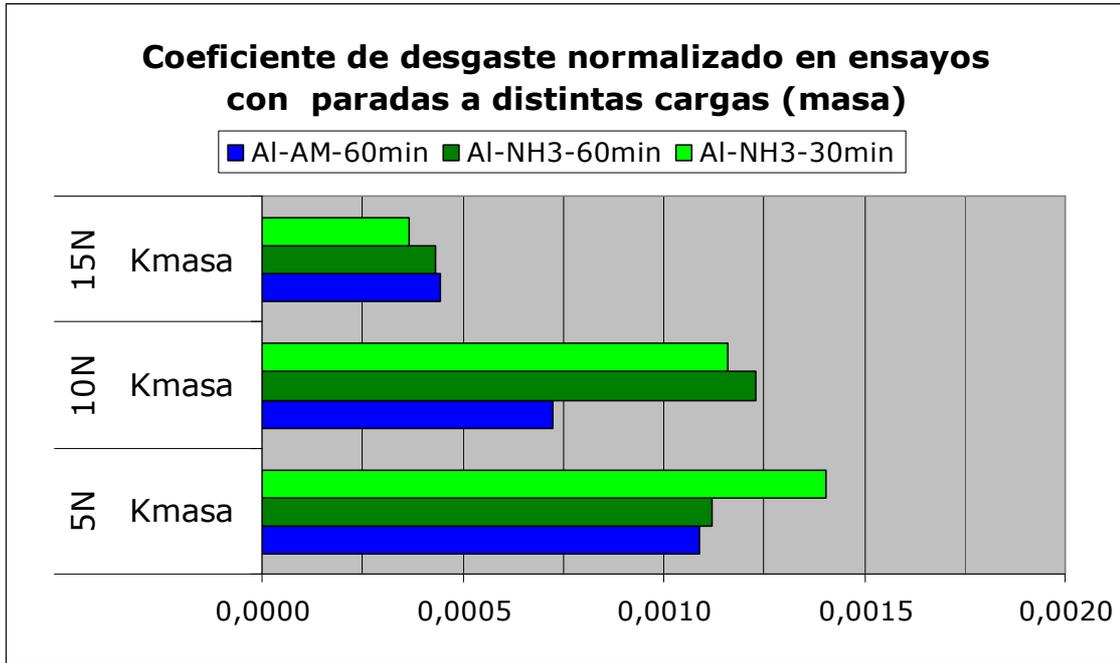
Gráfica V - 98 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-30min

V.3.13.3. Comparación de ensayos con paradas por carga

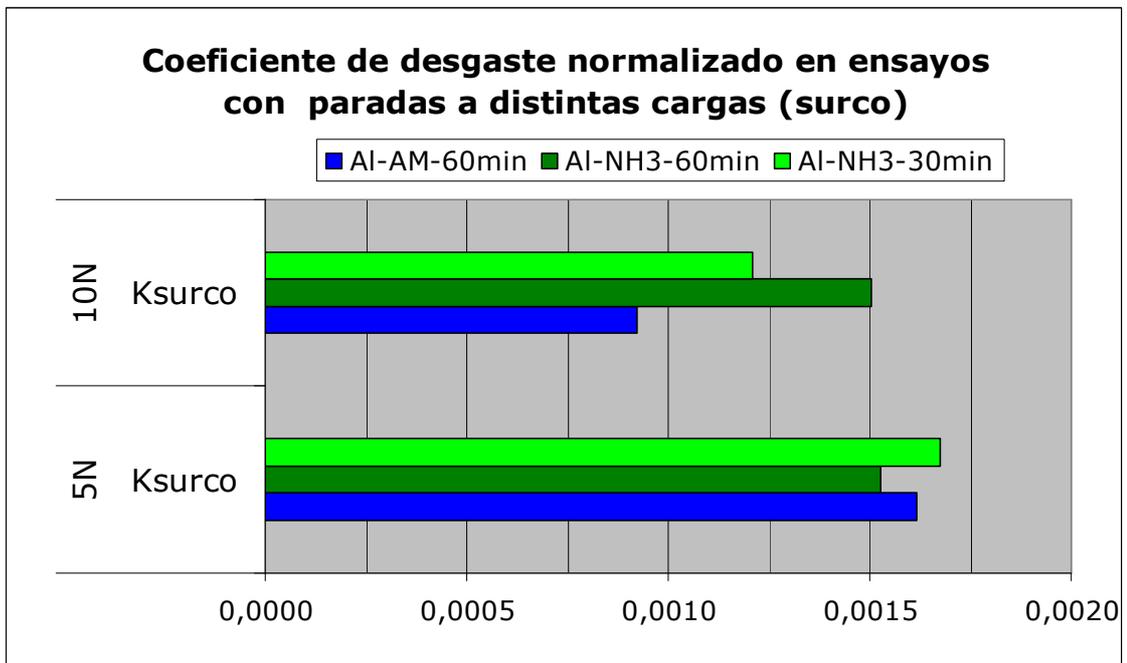
Evaluando el coeficiente de desgaste en los ensayos de paradas, aunque a otra escala, llegamos a la misma conclusión respecto a los ensayos continuos. El volumen perdido aumenta menos que proporcional respecto al nivel de carga.



Gráfica V - 99 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a partir de la masa y el surco por carga

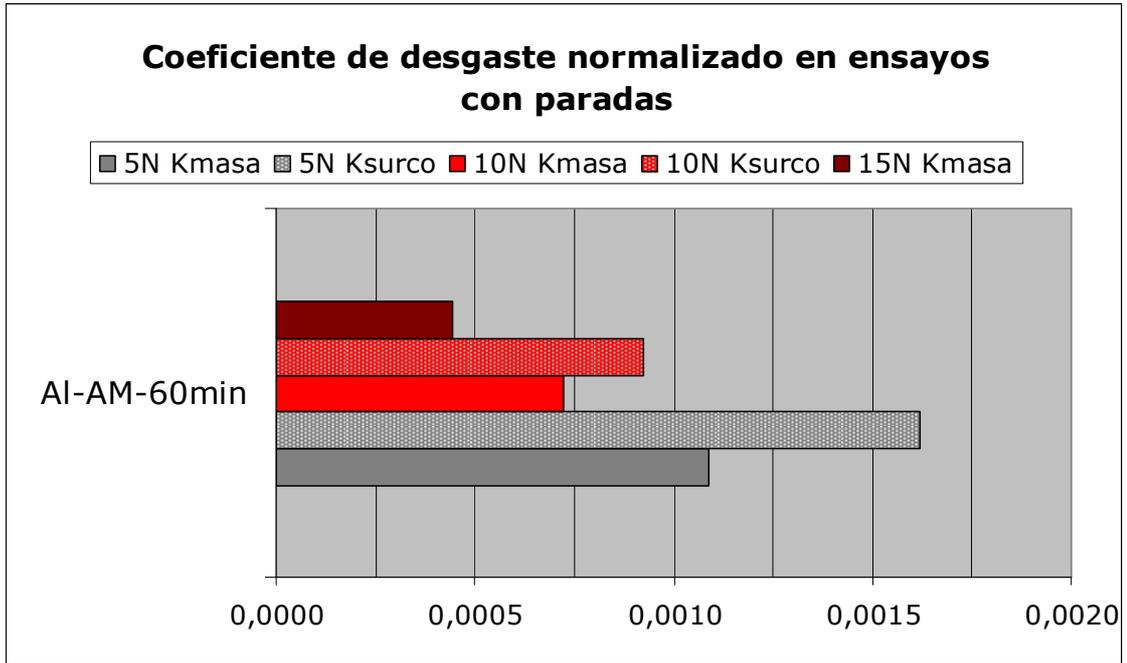


Gráfica V - 100 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de 1Km a partir de la masa por carga

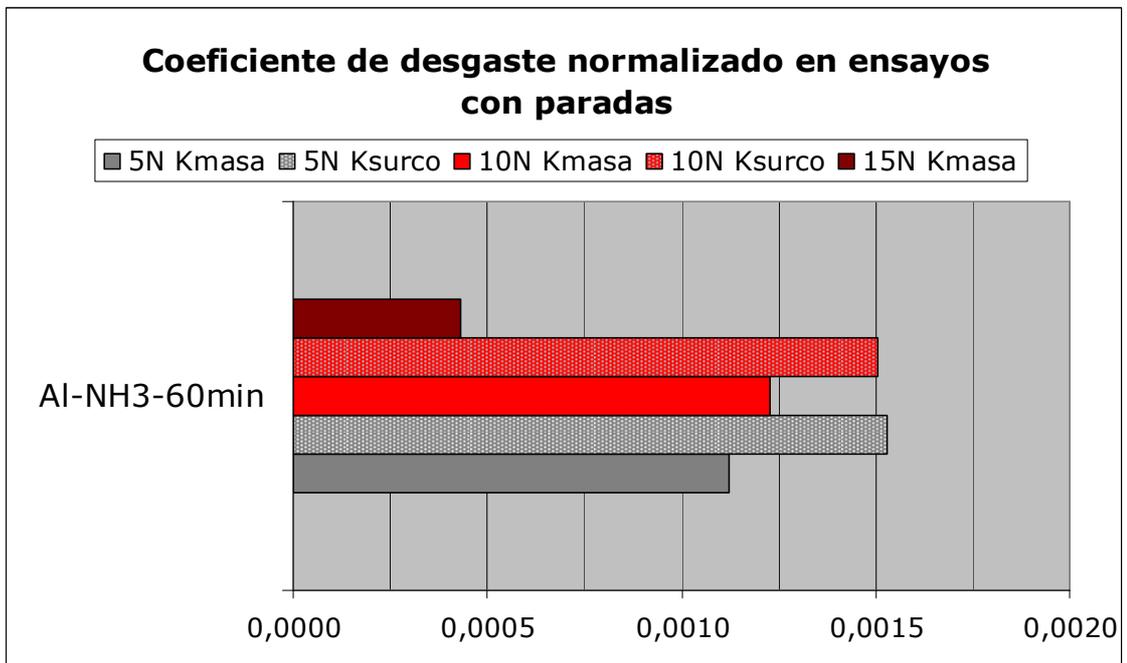


Gráfica V - 101 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de 1Km a partir del surco por carga

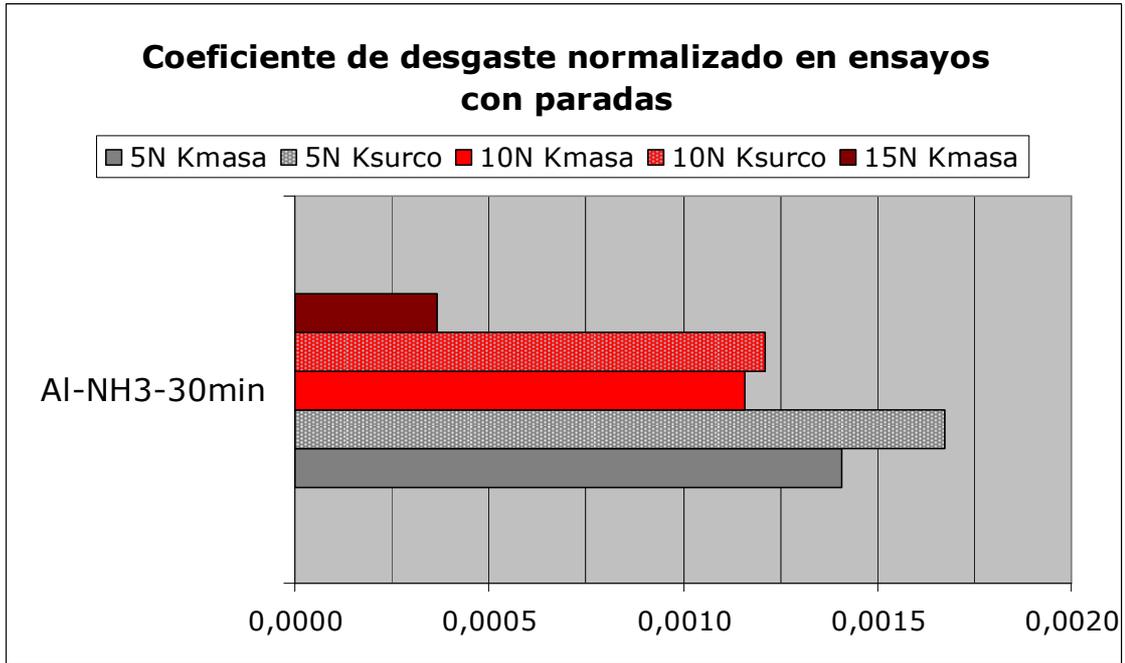
V.3.13.4. Comparación de ensayos con paradas por material



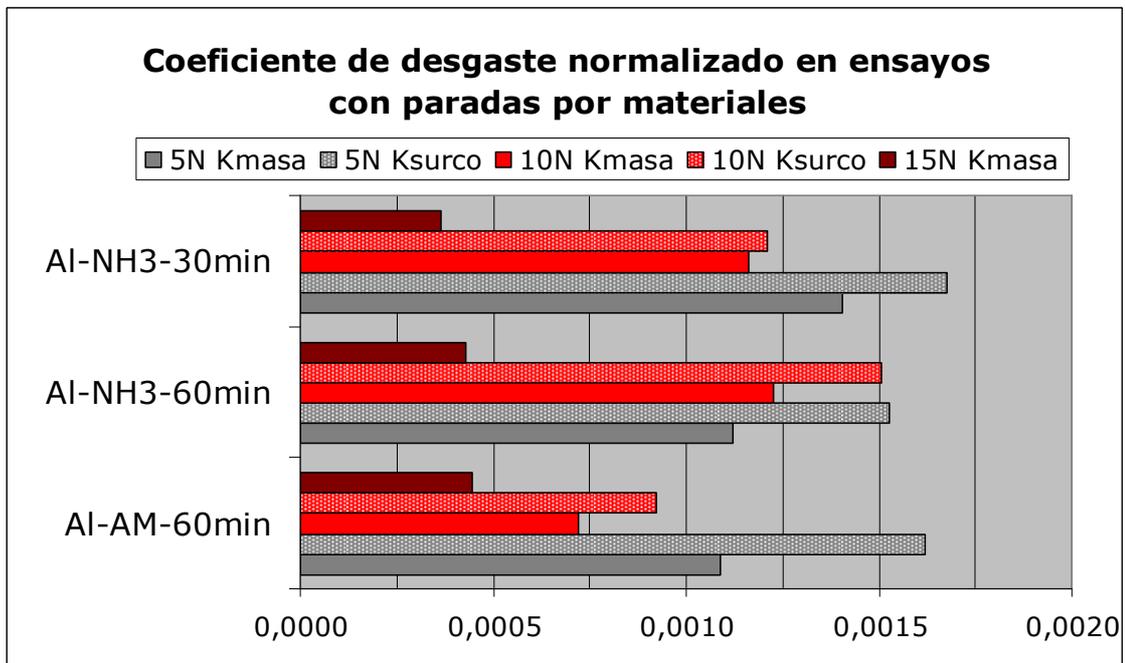
Gráfica V - 102 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de Al-AM-60min a partir de la masa y el surco



Gráfica V - 103 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de Al-NH3-60min a partir de la masa y el surco



Gráfica V - 104 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de Al-NH3-30min a partir de la masa y el surco



Gráfica V - 105 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas por material

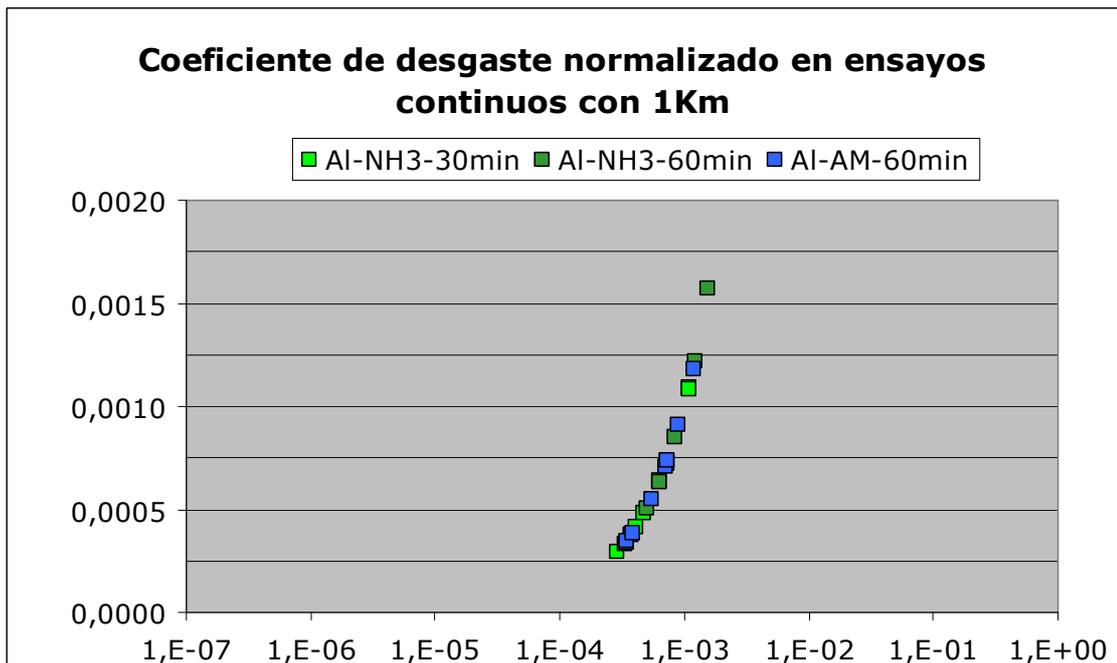
### V.3.14. Relación entre el coeficiente de desgaste normalizado vs tipo y mecanismo de desgaste

Se han obtenido imágenes de las muestras al final de cada ensayo, a partir de estas imágenes, que se exponen a continuación, se tomaron las medidas oportunas para la evaluación del volumen perdido por el ancho de surco. Además, se han obtenido imágenes por microscopía SEM que permiten una definición del daño más precisa, a la hora de identificar el tipo y mecanismo de desgaste.

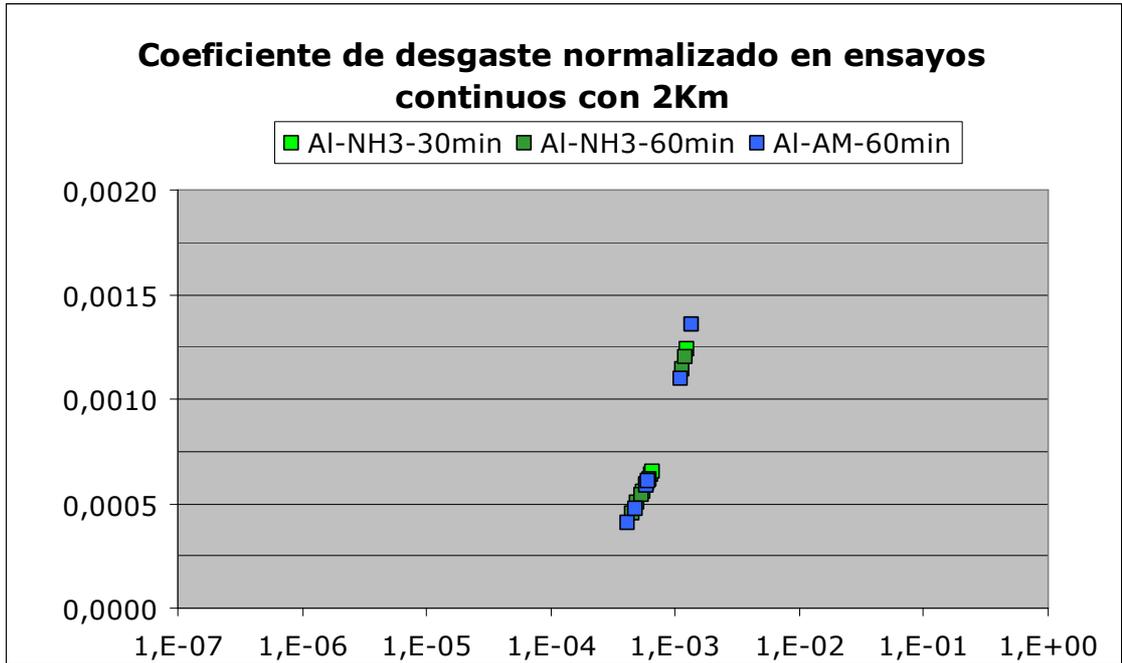
Acompañando esta identificación, a nivel microscópico, con el coeficiente de desgaste normalizado se puede llegar a otro nivel de evaluación, comparándolo con el coeficiente de desgaste absoluto.

En las Gráfica V - 106, Gráfica V - 107 y Gráfica V - 108 se observa que todos los valores entran en un rango entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$ , donde, los ensayos continuos de 5N y la gran mayoría de los ensayos con paradas, son los que se encuentran en  $10^{-3}$ . Según la Gráfica V - 109, a los materiales ensayados le pueden corresponder los siguientes tipos de desgaste:

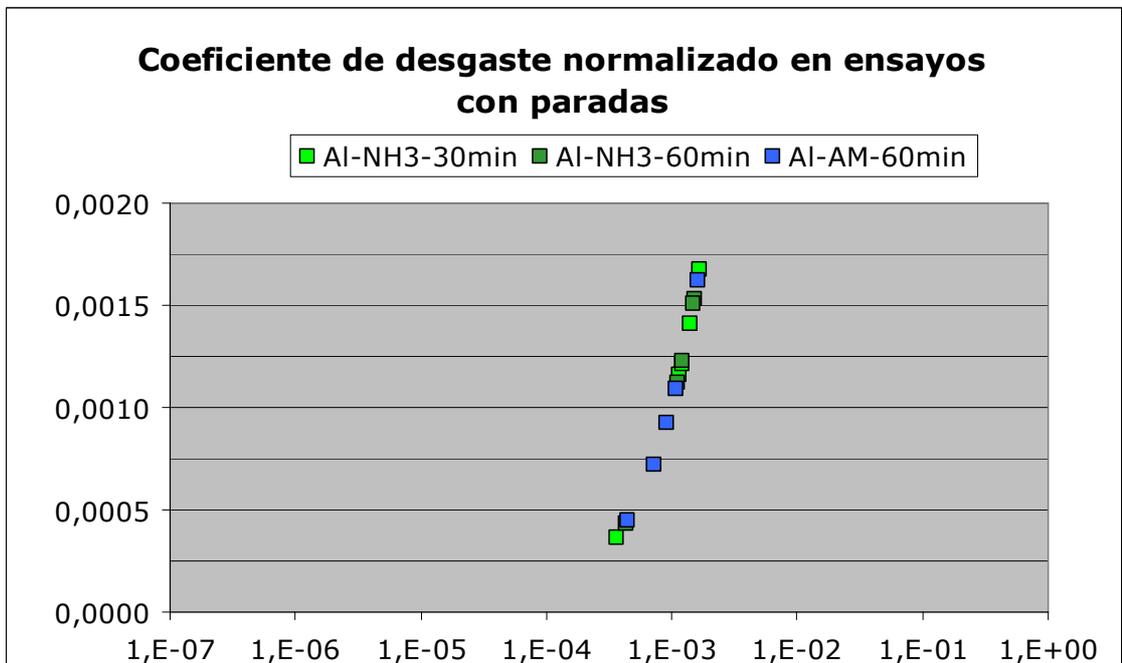
- Desgaste adhesivo
- Fatiga superficial
- Fatiga térmica



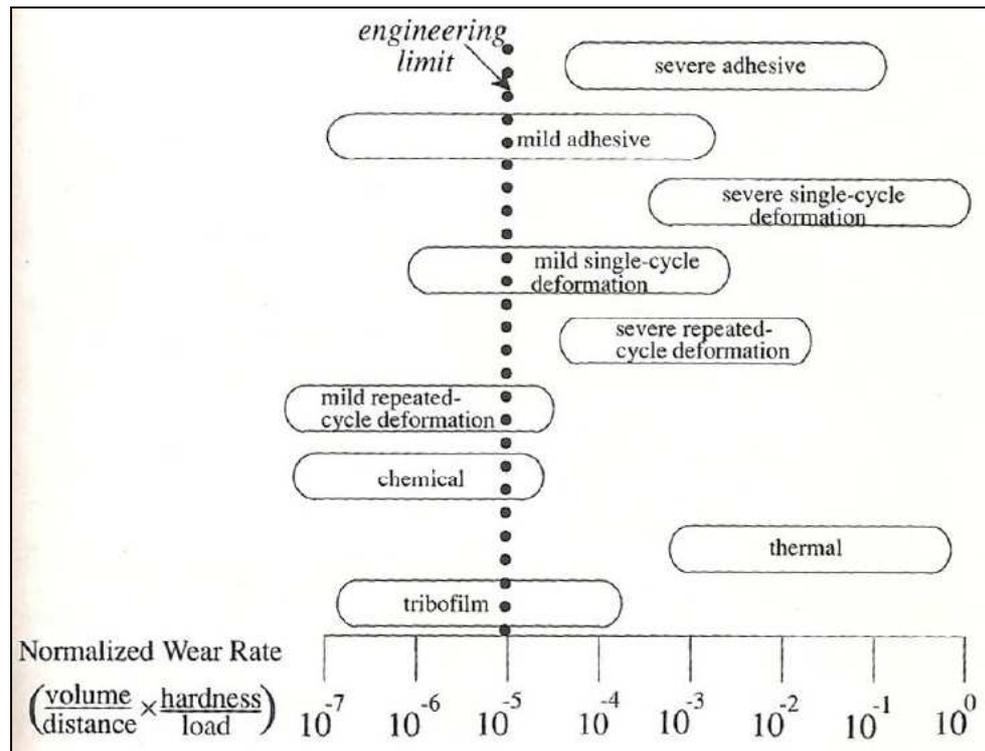
Gráfica V - 106 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos continuos de 1Km



Gráfica V - 107 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos continuos de 2Km



Gráfica V - 108 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos con paradas



Gráfica V - 109 Relación entre tipo de desgaste y valor del coeficiente de desgaste normalizado

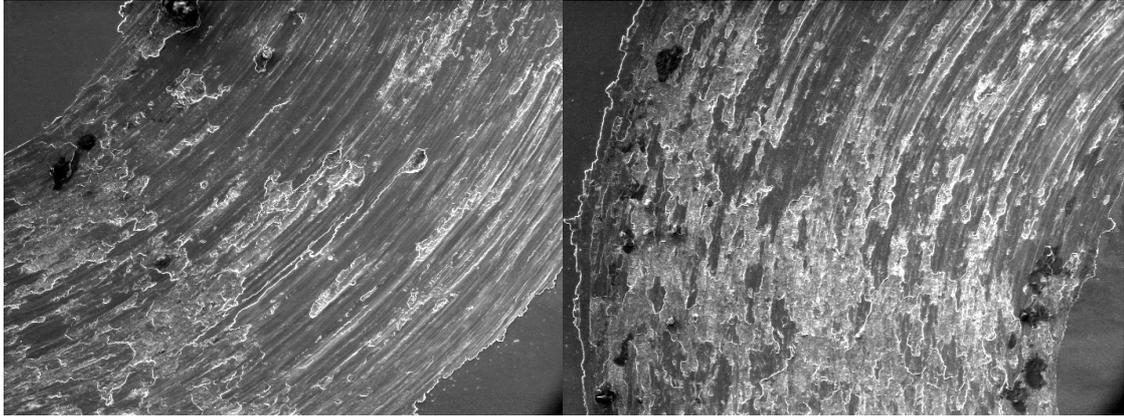
#### V.3.14.1. Influencia de la carga sobre los compactos

##### Al-AM-60min

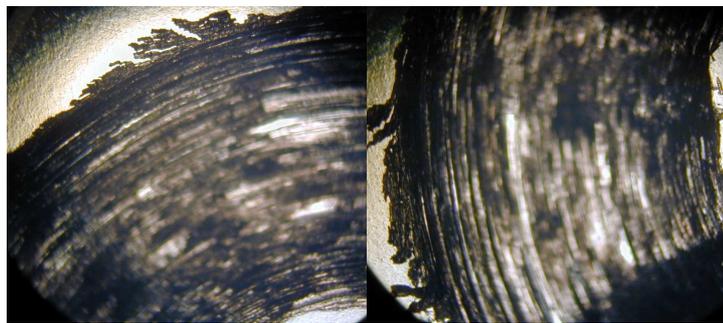
Este material presenta, para 2N, en un primer acercamiento desgaste adhesivo/abrasivo observando las imágenes de microscopía óptica, Figura V - 5. Al observar imágenes realizadas por SEM (Figura V - 6), se observa un claro desgaste adhesivo mediante un mecanismo principal de ludimiento, o adhesión parcial; acompañado de desgaste abrasivo, dados los pequeños surcos que se pueden ver en todas las imágenes. Para un siguiente nivel de carga (5N), sólo observando las imágenes ópticas (Figura V - 7) se aprecia un mayor nivel de daño, mediante SEM se puede decir que aparece *pitting* en el surco ensayado, lo cual indica un nivel más severo de desgaste adhesivo. Para 10N de carga desaparece el *pitting* para dar lugar a un efecto de ludimiento de mayor extensión (Figura V - 9 y Figura V - 10).



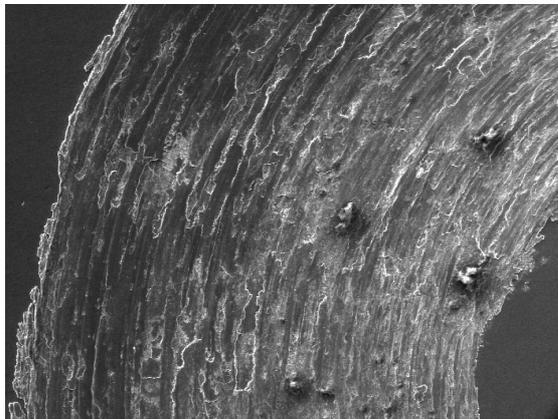
Figura V - 5 Imagen por microscopía óptica de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga



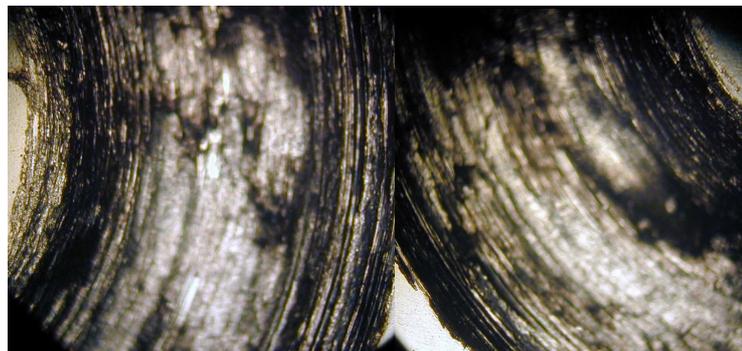
**Figura V - 6** Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga



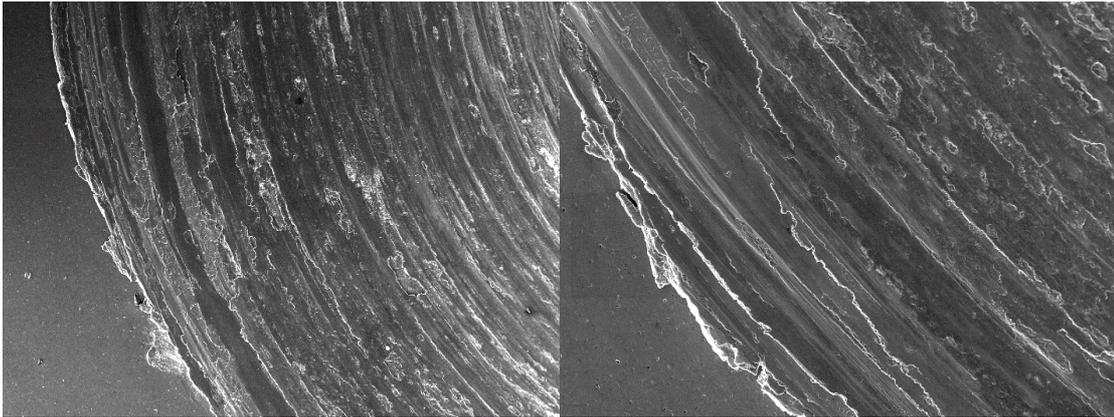
**Figura V - 7** Imágenes por microscopía óptica de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga



**Figura V - 8** Imagen con zoom 100x por SEM de Al-AM-60min para ensayo continuo de 1Km a 5N de carga



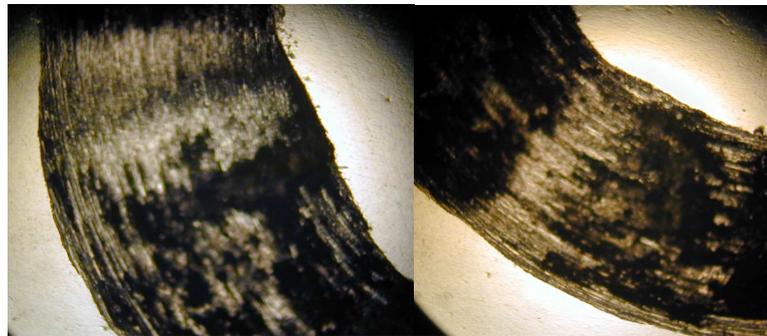
**Figura V - 9** Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga



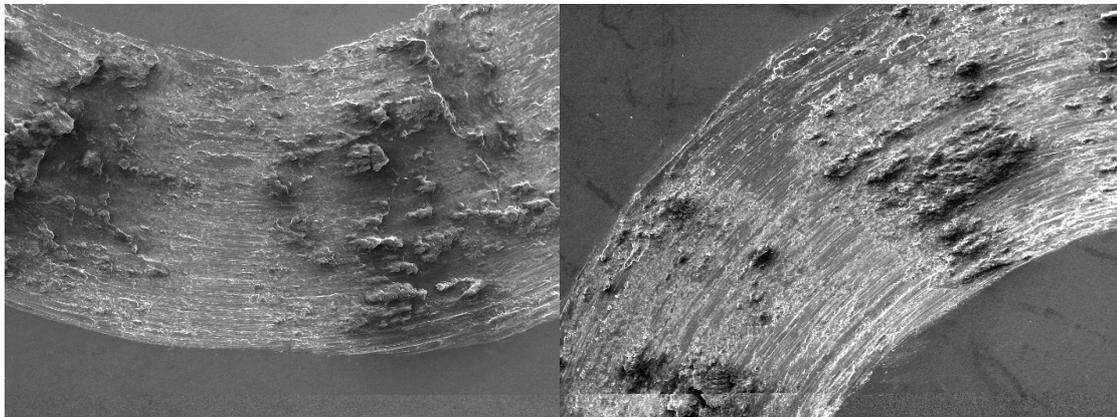
**Figura V - 10** Imágenes con zoom 100x y 125x por SEM de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga

#### *Al-NH3-60min*

Este material nitrurado presenta desgaste adhesivo/abrasivo (Figura V - 11) para una carga de 2N, en concreto se aprecian zonas de material adherido, además de un efecto global de ludimiento, Figura V - 12. Para 5 N se observa un protagonismo de adhesión, mediante el mecanismo de ludimiento (Figura V - 14). Al pasar a 10N se puede evaluar el daño entre adhesión, en este caso un nivel severo de adhesión dadas las pequeñas grietas que se pueden ver, acompañadas de *pitting*; y fatiga térmica, se aprecian zonas de material deformado plásticamente por la temperatura (Figura V - 16).



**Figura V - 11** Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga



**Figura V - 12** Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga

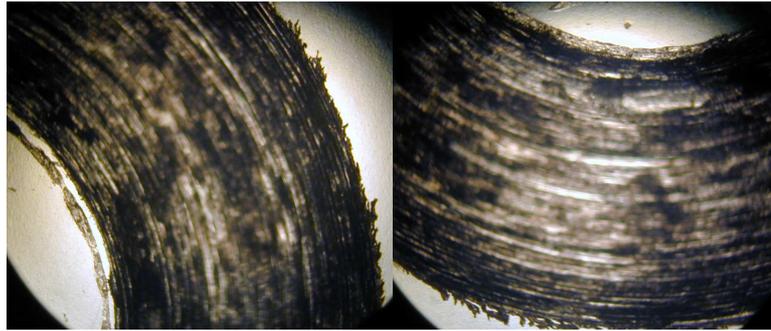


Figura V - 13 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga

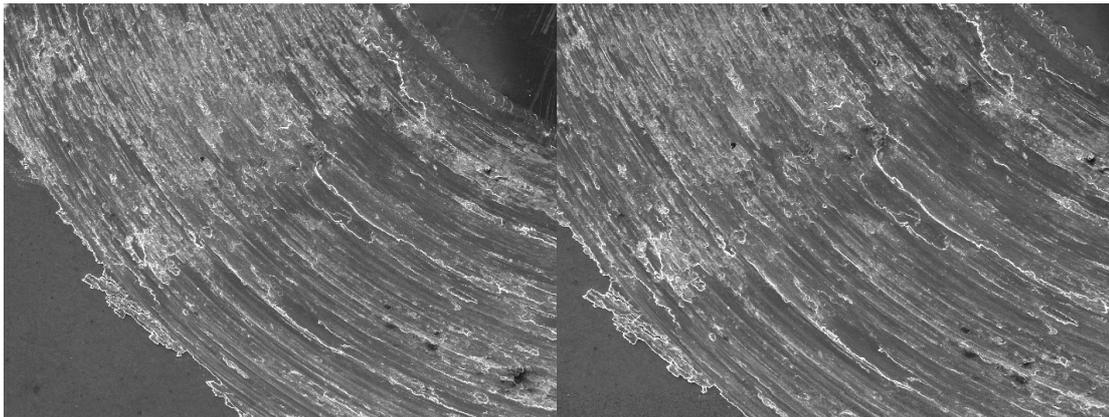


Figura V - 14 Imagen de surco con zoom 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga

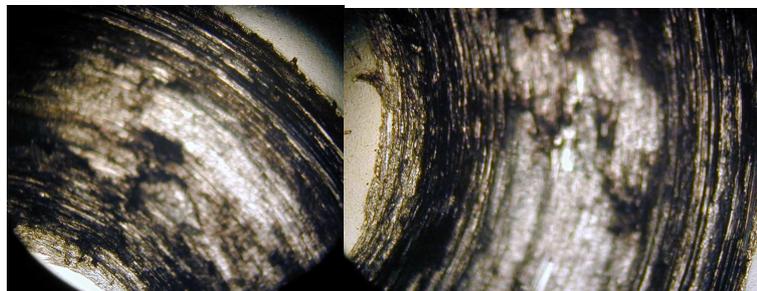


Figura V - 15 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga

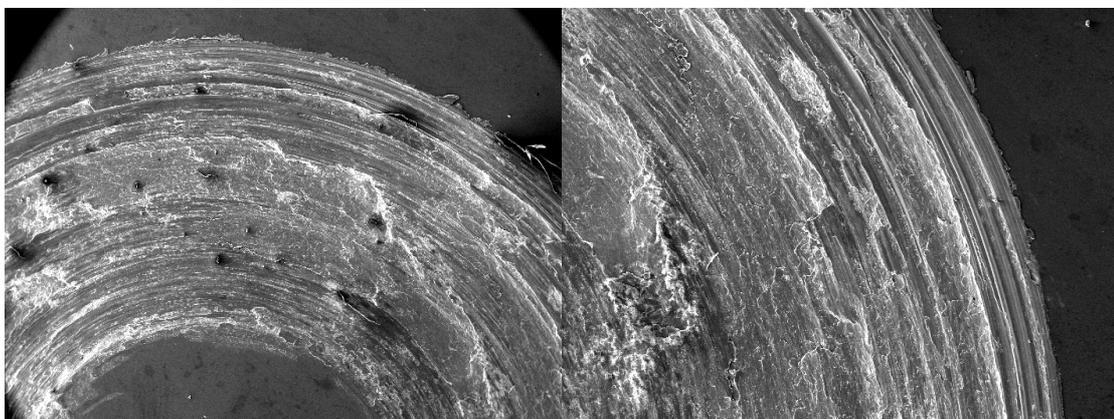


Figura V - 16 Imágenes con zoom 100x y 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga

*Al-NH3-30min*

Esta variante nitrurada presenta desgaste adhesivo/abrasivo para 2N de carga, en la Figura V - 18 se aprecia efectos de ludimiento de bajo nivel como efecto global. Al ensayarlo con 5N (Figura V - 20), se observa un incremento en el nivel de adhesión, dada la aparición de pitting y el incremento de área afectada por ludimiento. Al pasar a 10N de carga (Figura V - 22), se observan cambios en cuanto a tipos y mecanismos de desgaste. Por un lado, además de aumentar el área de ludimiento y aparecer grietas por niveles altos de adhesión, aparece desgaste del tipo fatiga superficial, en concreto con el mecanismo de delaminación, y además, un cierto nivel de fatiga térmica, que se presenta como deformación plástica.

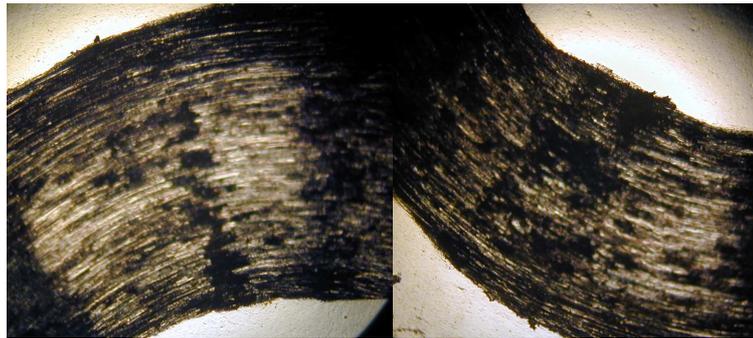


Figura V - 17 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga

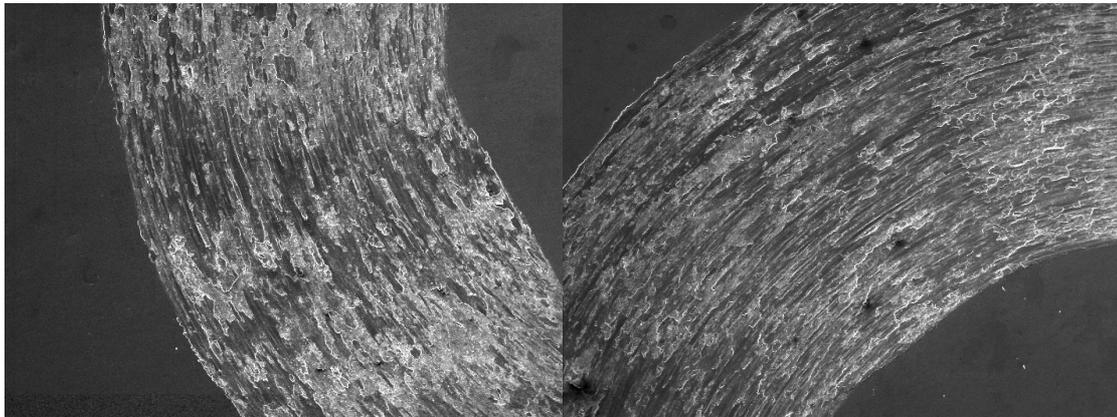


Figura V - 18 Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga

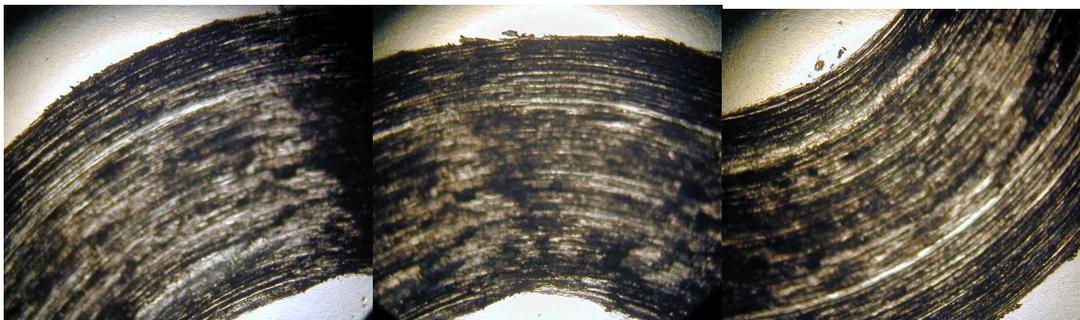
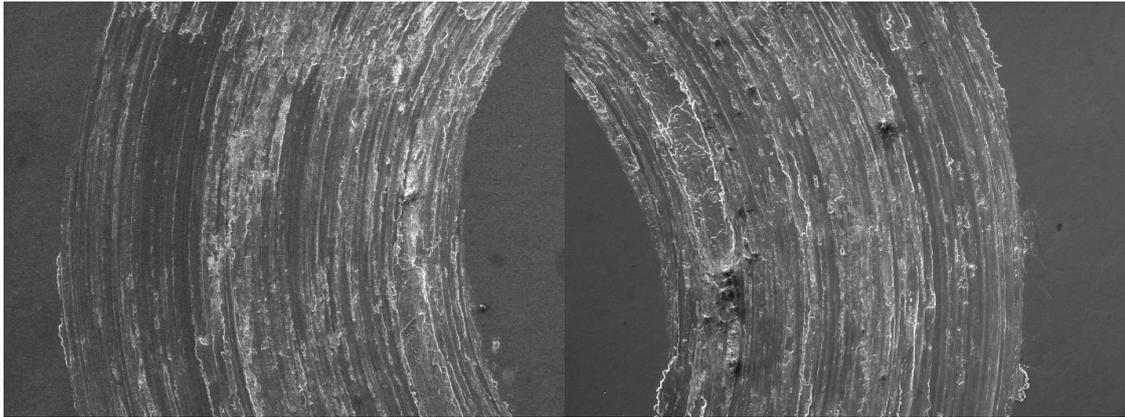
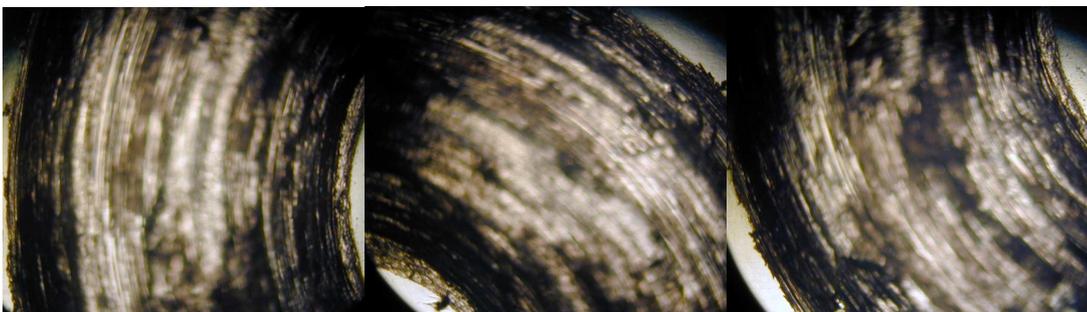


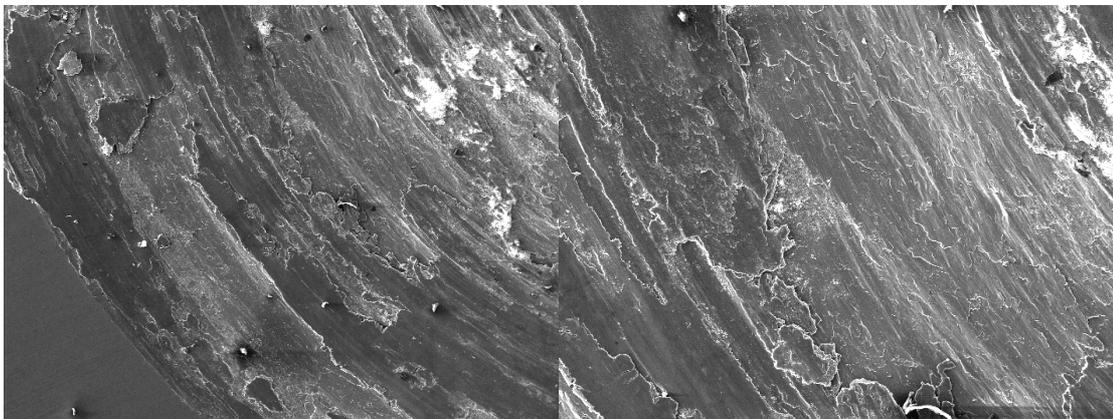
Figura V - 19 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga



**Figura V - 20** Imagen de surco con zoom 100x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga



**Figura V - 21** Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga



**Figura V - 22** Imágenes con zoom 100x y 250x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga

#### V.3.14.2. Influencia del material

Para los ensayos de 2 N y 5N, todos los materiales se comportan de manera similar y los tipos/mecanismos de desgaste globales son similares. Pero, al compararse los materiales en ensayos de 10N aparecen diferencias claras en cuanto a desgaste.

##### *Ensayos de 10N*

En este nivel de carga aparecen diferencias entre los materiales nitrurados y el material no nitrurado. En concreto, el Al-AM-60min continua con un desgaste

adhesivo con mecanismo principal de ludimiento, esto se puede deber a un incremento de la temperatura, con lo que la ductilidad del material aumenta y deriva en un ludimiento a gran escala.

En el caso de los materiales nitrurados, cambian sus tipos de desgaste principales, pasan a niveles de adhesión altos pero compartido con fatiga térmica, para ambos nitrurados, y superficial, para el caso del Al-NH<sub>3</sub>-30min.

## V.4. Conclusiones y trabajos futuros

En el Grupo de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, se avanza en la investigación de materiales pulvimetalúrgicos, en concreto del aluminio. Con la idea de aportar nuevas líneas de investigación se realizaron compactos nitrurados de aluminio pulvimetalúrgico.

El aluminio presenta debilidades mecánicas en servicio debido a la pérdida de propiedades conforme aumenta su temperatura. Este material, que se está tratando de mejorar debido a la reducción de peso que supone y la resistencia a la corrosión, se quiere destinar a sustituir elementos de acero, tanto en aviones como en el sector del transporte. Las condiciones de servicio en estos ámbitos implican exposición a la corrosión, sollicitaciones mecánicas a altas temperaturas y condiciones de fricción. Por ello, para mejorar las propiedades mecánicas se realiza el procesado pulvimetalúrgico del metal.

En este proyecto se tiene como objetivo completar la caracterización tribomecánica de estos nuevos materiales y describir las diferencias respecto a los aluminios pulvimetalúrgicos, que no han sido tratados con nitruración.

En cuanto al **comportamiento mecánico** se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se determina que la *densidad* medida por el método de Arquímedes es más preciso, además, se obtienen niveles de porosidad casi nulos en los aluminios **nitrurados**.
- Los ensayos de *microdureza* reflejan un incremento sustancial de la dureza de los compactos nitrurados. El aluminio **nitrurado** de menor tiempo de sinterizado presenta un leve incremento en los niveles de dureza.

- La determinación del *módulo de Young dinámico* por ultrasonidos presenta un incremento de éste para los aluminios **nitrrados**, se puede decir que el nitrrado de mayor tiempo de sinterización incrementa levemente su módulo de Young respecto a la otra variante.
- Los *ensayos biaxiales* determinan que el aluminio **no nitrrado** presenta un comportamiento dúctil y las dos variantes **nitrradas** rompen frágilmente. En concreto se comprueba que el aluminio nitrrado de mayor tiempo sinterizado es el que soporta una mayor tensión biaxial.

En lo referente al **comportamiento tribológico**, se exponen las conclusiones:

- El coeficiente de rozamiento se mantiene entre los valores 0,37 y 0,50. Sin aparente dependencia con el nivel de carga, ni la distancia recorrida.
- El comportamiento de los valores de penetración (LVDT) obtenidos difieren al comparar los aluminios nitrrados con el de referencia.
  - Para los ensayos de 1Km no se detecta un patrón claro de comportamiento.
  - En los ensayos de 2Km se desmarca el aluminio no nitrrado con los mayores valores de LVDT.
- El volumen perdido a partir del ancho del surco es siempre mayor, esto se debe a que no contamos con la deformación plástica que sufre el material, resultando un flujo lateral de material que hace que el ancho del surco no sea completamente referente a material perdido, sino deformado, en parte.
  - En todos los ensayos continuos, es el aluminio **no nitrrado** es el de mayor volumen perdido.
  - Existe una desproporción entre el volumen perdido en los ensayos de 1Km y 2Km, siendo este último más que proporcional, respecto a la pérdida de volumen de 1Km para los tres materiales.

La evolución del volumen perdido en los ensayos con paradas toma tendencias propias, y hay ciertas diferencias con su análogo de 1Km continuo:

- Para los aluminios **nitrrados** muestra diferencias en su tendencia, respecto a los ensayos continuos, en cuanto al incremento de la carga, el volumen perdido para los ensayos de 10N obtiene los valores más altos.
- En el caso del aluminio **no nitrrado** se obtiene un volumen perdido superior al resto en todos los casos, excepto para 10N, donde todos los materiales tienen un valor similar.

Estas diferencias se pueden deber al efecto de la temperatura, dado que cada 100 metros se para el ensayo y la muestra se enfría, con lo cual hay una

ciclo térmico con los consiguientes efectos de contracción y tensión superficial para el nuevo ensayo. Además, debido a pequeños errores a la hora de volver a situar la muestra en el mismo punto puede haber tramos en los que el surco no se genera en la misma trayectoria con el consiguiente tramo de ajuste similar al de rodaje.

Se puede decir que, este cambio en las condiciones de operación afecta a los materiales nitrurados, especialmente para 10N de carga.

- El coeficiente de desgaste absoluto sigue las mismas tendencias que el volumen perdido, ya que las distancias lineales son todas muy parecidas. Es importante recordar, que para ensayos de 2Km, se pierde la linealidad. Estos ratios de pérdida de volumen son mayores en ensayos de 2Km.
- El coeficiente de desgaste normalizado permite acotar los posibles tipos y mecanismos de desgaste. Se comprueba que, acompañados con imágenes SEM, se logra identificar el tipo y mecanismo de desgaste global.
  - Ensayos continuos: Todos los ensayos de 1 Km coinciden en que los valores críticos se encuentran a 5 N de carga, en concreto el **Al-NH3-60min** es el más afectado para este nivel de carga. A partir de este valor de la carga su valor disminuye. Los ensayos de 2Km muestran a 15 N un incremento del coeficiente, siendo, en todos los casos mayores que en los ensayos de 1 Km.
  - Ensayos paradas: Estos ensayos obtienen valores mayores que los continuos y no lleva la misma tendencia que los ensayos de 1Km o de 2 KM, aparece un valor umbral de 10N de carga, donde hay un máximo de nivel de desgaste.
- Las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) muestran una serie de cambios en función de la carga y el material.
  - Para el aluminio **no nitrurado** se advierte, para 2N de carga, mecanismos de ludimiento (adhesivo) y microcortes (abrasivo); con 5N de carga, aparece un nuevo mecanismo de “pitting” en el surco, además de los anteriores; para el caso de 10N, hay una disminución microcortes y casi todo el desgaste es adhesivo por ludimiento.
  - Para los aluminios **nitrurados**, con 2N y 5N son similares al no nitrurado, aunque disminuido, pero se denota un cambio de mecanismos de desgaste al llegar a los 10N, en el que se puede ver, además de desgaste abrasivo un desgaste adhesivo, mediante ludimiento y grietas, propias de un efecto adhesivo severo. En concreto, para el caso nitrurado de 30 minutos de sinterizado se advierten zonas delaminadas, con lo que además se cuenta con desgaste por fatiga superficial.
- El coeficiente de desgaste normalizado con interpretación del daño en cada material tras ensayar, y esto lo aplicamos a la **¡Error! No se encuentra el**

**origen de la referencia.**, podemos verificar los tipos de desgaste. El coeficiente de desgaste normalizado, tomando como referencia los ensayos continuos de 1Km, están entre  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ . Para este rango de desgaste tenemos diferentes tipos de desgaste posibles, que se identificará con las imágenes de microscopía electrónica:

- **Al-AM-60min:** Este material presenta un incremento de la severidad de desgaste adhesivo con la carga, con lo que se puede decir que pasa de desgaste adhesivo suave a severo con la carga
- **Al-NH3-60min:** En este caso hay un umbral de comportamiento frente a desgaste de 10N, en el que cambia el comportamiento. Aparecen pequeñas grietas sobre el surco que son producto de un desgaste por fatiga superficial. Además hay evidencias de desgaste por fatiga térmica, mediante un mecanismo de deformación plástica en diversas zonas.
- **Al-NH3-30min:** La evolución del comportamiento frente a desgaste con la carga en este material es análogo al anterior, con la salvedad, de que en este material aparecen claramente zonas superficiales ya desprendidas del surco. Para este material también se observa fatiga térmica mediante deformación plástica.

Este cambio de tipo de desgaste en los materiales **nitruados** es una evidencia por la cual se comportan mejor frente a desgaste, si comparamos los coeficientes de desgaste absolutos o tasa de desgaste, otra razón es, evidentemente, la mayor dureza obtenida en los materiales **nitruados**. Por otro lado, la razón por la que en Al-NH3-60min que se mantiene en una fase más leve de desgaste por fatiga superficial puede delegarse en que posee una mayor tenacidad que Al-NH3-30min, esto se puede observar en las curvas de ensayos biaxiales, donde se observa un comportamiento más frágil en el caso de Al-NH3-30min.

Como estudios futuros a este proyecto final de carrera se proponen las siguientes líneas de investigación, con la idea de caracterizar completamente el comportamiento de estos nuevos materiales:

- a) Realizar un mayor número de ensayos para obtener un estudio estadístico de los parámetros que se comparan en esta memoria. Como la distancia de rodaje, el LVDT o el coeficiente de rozamiento.
- b) En el caso de los aluminios nitruados realizar ensayos de desgaste para localizar la carga de transición, que provoca salto a fatiga superficial de desgaste, entre 5N y 10N.
- c) Realizar estudios sobre imágenes SEM sobre muestras ensayadas de 15N, para ver qué tipo de desgaste gobierna el comportamiento frente a desgaste de los materiales de este proyecto.
- d) Realizar ensayos de microdureza para obtener el grado de acritud en los surcos resultantes de los ensayos, y así evaluar posibles razones en las diferencias del volumen perdido de los ensayos de paradas, con respecto a los continuos.
- e) Completar la caracterización tribológica con ensayos de rallado (scracht) y rebote.

- f) Realizar los ensayos con control de temperatura para poder evaluar las condiciones reales de contacto.

**Índice del capítulo V: Resultados y discusión**

<b>V.1. Propiedades básicas de los compactos obtenidos.....</b>	<b>82</b>
<i>V.1.1. Obtención experimental de la densidad de cada material.....</i>	82
<i>V.1.2. Ensayos de microdureza convencional.....</i>	83
<b>V.2. Comportamiento mecánico.....</b>	<b>85</b>
<i>V.2.1. Ensayos por ultrasonidos para la obtención del Módulo de Young dinámico.....</i>	85
<i>V.2.2. Ensayos biaxiales.....</i>	85
V.2.2.1. Ensayo de Al-AM-60min.....	86
V.2.2.2. Ensayo de Al-NH3-60min.....	86
V.2.2.3. Ensayo de Al-NH3-30min.....	88
<b>V.3. Comportamiento tribológico.....</b>	<b>89</b>
<i>V.3.1. Datos tribológicos de los ensayos continuos.....</i>	89
V.3.1.1. Ensayos continuos de 1Km.....	89
V.3.1.1.1. Ensayos a 2N.....	89
V.3.1.1.2. Ensayos a 5N.....	91
V.3.1.1.3. Ensayos a 10N.....	93
V.3.1.1.4. Ensayos a 15N.....	95
V.3.1.2. Ensayos continuos de 2Km.....	97
V.3.1.2.1. Ensayos a 5N.....	97
V.3.1.2.2. Ensayos a 10N.....	98
V.3.1.2.3. Ensayos a 15N.....	99
V.3.1.3. Comparativas del coeficiente de rozamiento y LVDT final.....	100
V.3.1.4. Datos tribológicos de los ensayos con paradas.....	104
V.3.1.4.1. Ensayos a 5N.....	105
V.3.1.4.2. Ensayos a 10N.....	106
V.3.1.4.3. Ensayos a 15N.....	107
<i>V.3.2. Medidas de la masa inicial y final para los ensayos continuos.....</i>	108
V.3.2.1. Ensayos continuos con 2N de carga.....	108
V.3.2.2. Ensayos continuos con 5N de carga.....	108
V.3.2.3. Ensayos continuos con 10N de carga.....	108
V.3.2.4. Ensayos continuos con 15N de carga.....	108
<i>V.3.3. Cálculo de la masa de rodaje (mr).....</i>	109
V.3.3.1. Cálculo de la masa promedio (mp) a partir de la masa perdida en los ensayos de paradas.....	109
V.3.3.1.1. Ensayos con 5N de carga.....	109
V.3.3.1.2. Ensayos con 10N de carga.....	110
V.3.3.1.3. Ensayos con 15N de carga.....	111
V.3.3.2. Estimación de la distancia lineal (dl) para cada ensayo continuo y cálculo de la masa lineal (ml), a partir de la masa promedio (mp).....	112
V.3.3.3. Cálculo de la masa de rodaje (mr) y volumen de rodaje (vr).....	113
<i>V.3.4. Determinación del volumen perdido a partir del ancho del surco medido con microscopía óptica en ensayos continuos.....</i>	113
V.3.4.1. Ensayos de 2N de carga.....	113
V.3.4.2. Ensayos de 5N de carga.....	113
V.3.4.3. Ensayos de 10N de carga.....	114
V.3.4.4. Ensayos de 15N de carga.....	114

<b>V.3.5. Determinación del volumen perdido a partir de la pérdida de masa en los ensayos continuos.....</b>	<b>114</b>
V.3.5.1. Ensayos continuos de 2N.....	115
V.3.5.2. Ensayos continuos de 5N.....	116
V.3.5.3. Ensayos continuos de 10N.....	117
V.3.5.4. Ensayos continuos de 15N.....	118
<b>V.3.6. Gráficas comparativas del volumen perdido en ensayos continuos en función de la carga aplicada.....</b>	<b>119</b>
V.3.6.1. Ensayos de 1Km por masa.....	119
V.3.6.2. Ensayos de 1Km por surco.....	120
V.3.6.3. Ensayos de 2Km por masa.....	121
V.3.6.4. Ensayos de 2Km por surco.....	122
V.3.6.5. Gráficas comparativas del volumen perdido.....	123
<b>V.3.7. Evolución del volumen perdido en los ensayos con paradas.....</b>	<b>124</b>
V.3.7.1. Ensayos con 5N de carga.....	124
V.3.7.2. Ensayos con 10N de carga.....	125
V.3.7.3. Ensayos con 15N de carga.....	126
<b>V.3.8. Gráficas comparativas del volumen perdido en los ensayos con paradas por material para diferentes cargas.....</b>	<b>126</b>
<b>V.3.9. Coeficiente de desgaste absoluto (Kabs).....</b>	<b>129</b>
<b>V.3.10. Determinación del coeficiente de desgaste normalizado (K).....</b>	<b>133</b>
V.3.10.1. Coeficiente de desgaste (K) a partir de la masa perdida y por ancho del surco en ensayos continuos.....	133
V.3.10.1.1. Ensayos con 2N de carga.....	133
V.3.10.1.2. Ensayos con 5N de carga.....	134
V.3.10.1.3. Ensayos con 10N de carga.....	135
V.3.10.1.4. Ensayos con 15N de carga.....	137
V.3.10.2. Coeficiente de desgaste (K) a partir de la masa perdida y por ancho del surco en ensayos con paradas.....	138
V.3.10.2.1. Ensayos con 5N de carga.....	139
V.3.10.2.2. Ensayos con 10N de carga.....	140
V.3.10.2.3. Ensayos con 15N de carga.....	141
<b>V.3.11. Gráficas comparativas del coeficiente de desgaste normalizado</b>	<b>143</b>
V.3.11.1. Comparación de ensayos continuos por carga.....	143
V.3.11.1.1. Ensayos de 1Km.....	143
V.3.11.1.2. Ensayos de 2Km.....	144
V.3.11.2. Comparación de ensayos continuos por material.....	144
V.3.11.2.1. Ensayos de 1Km.....	144
V.3.11.2.2. Ensayos de 2Km.....	146
V.3.11.3. Comparación de ensayos con paradas por carga.....	148
V.3.11.4. Comparación de ensayos con paradas por material.....	150
<b>V.3.12. Relación entre el coeficiente de desgaste normalizado vs tipo y mecanismo de desgaste.....</b>	<b>152</b>
V.3.12.1. Influencia de la carga sobre los compactos.....	154
V.3.12.2. Influencia del material.....	159
<b>V.4. Conclusiones y trabajos futuros.....</b>	<b>161</b>

## **Índice de tablas del capítulo V: Resultados y discusión**

Tabla V - 1 Resultados del método geométrico para medir la densidad experimental ..	82
Tabla V - 2 Densidad y porosidad experimental obtenida a partir del método geométrico .....	82
Tabla V - 3 Resultados y densidad experimental obtenida a partir del método ASTM .	83
Tabla V - 4 Porosidad interconectada y total.....	83
Tabla V - 5 Diagonal resultante medida por medios ópticos con zoom 60x para cada material y carga.....	83
Tabla V - 6 Dureza Vickers (HV) resultante en los ensayos de microdureza convencional para cada material y carga .....	83
Tabla V - 7 Módulo de Young dinámico a partir de las velocidades longitudinales y transversales.....	85
Tabla V - 8 Tensión teórica máxima en los ensayos biaxiales a partir de los datos de adquisición .....	85
Tabla V - 9 Coeficiente de rozamiento en ensayos continuos .....	100
Tabla V - 10 Profundidad de penetración (LVDT) en ensayos continuos.....	102
Tabla V - 11 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km con 2N.....	108
Tabla V - 12 de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 5N .....	108
Tabla V - 13 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 10N.....	108
Tabla V - 14 Medidas de la masa inicial y final en los ensayos de 1 Km y 2 Km con 15N.....	108
Tabla V - 15 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 5N .....	109
Tabla V - 16 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 5N.....	109
Tabla V - 17 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 5N.....	110
Tabla V - 18 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 10N .....	110
Tabla V - 19 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 10N.....	110
Tabla V - 20 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 10N.....	111
Tabla V - 21 Pérdida de masa de Al-AM-60min en ensayo con paradas a 15N .....	111
Tabla V - 22 Pérdida de masa de Al-NH3-60min en ensayo con paradas a 15N.....	111
Tabla V - 23 Pérdida de masa de Al-NH3-30min en ensayo con paradas a 15N.....	112
Tabla V - 24 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 5N .....	112
Tabla V - 25 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 10N .....	112
Tabla V - 26 Distancia lineal de los ensayos continuos de a 15N .....	112
Tabla V - 27 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 5N.....	113
Tabla V - 28 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 10N.....	113
Tabla V - 29 Masa de rodaje ( $m_r$ ) y ( $v_r$ ) en ensayos continuos de a 15N.....	113
Tabla V - 30 Ancho del surco para ensayos continuos con 2N de carga.....	113
Tabla V - 31 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 5N de carga.....	113
Tabla V - 32 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 5N de carga.....	114
Tabla V - 33 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 10N de carga.....	114
Tabla V - 34 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 10N de carga.....	114
Tabla V - 35 Ancho del surco para ensayos continuos de 1Km con 15N de carga.....	114

Tabla V - 36 Ancho del surco para ensayos continuos de 2Km con 15N de carga.....	114
Tabla V - 37 Volumen perdido a partir de la masa para ensayos continuos de 2N.....	115
Tabla V - 38 Volumen perdido en ensayos continuos a 5N a partir de la pérdida de masa .....	116
Tabla V - 39 Volumen perdido en ensayos continuos a 10N a partir de la pérdida de masa .....	117
Tabla V - 40 Volumen perdido en ensayos continuos a 15N a partir de la pérdida de masa .....	118
Tabla V - 41 Distancia lineal de ensayos continuos .....	129
Tabla V - 42 Coeficiente de desgaste absoluto para ensayos continuos de 1 Km.....	129
Tabla V - 43 Coeficiente de desgaste absoluto para ensayos de 2Km .....	130
Tabla V - 44 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos de paradas .....	132
Tabla V - 45 Dureza de los materiales ensayados .....	133
Tabla V - 46 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 2N	133
Tabla V - 47 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 5N y 1Km .....	134
Tabla V - 48 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 5N y 2Km .....	134
Tabla V - 49 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 10N y 1Km .....	135
Tabla V - 50 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 10N y 2Km .....	136
Tabla V - 51 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 15N y 1Km .....	137
Tabla V - 52 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos continuos de 15N y 2Km .....	137
Tabla V - 53 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 5N a partir de la masa.....	139
Tabla V - 54 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 5N a partir del surco .....	139
Tabla V - 55 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 10N a partir de la masa .....	140
Tabla V - 56 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 10N a partir del surco .....	140
Tabla V - 57 Coeficiente de desgaste normalizado (K) para ensayos con paradas de 15N a partir de la masa .....	141

### **Índice de figuras del capítulo V: Resultados y discusión**

Figura V - 1 Imágenes resultantes del ensayo biaxial en Al-NH3-60min.....	87
Figura V - 2 Imagen de detalle en los puntos de apoyo, en el material Al-NH3-60min	87
Figura V - 3 Resultante del ensayo biaxial en al-NH3-30min.....	88
Figura V - 4 Imagen de detalle en los puntos de apoyo, en el material Al-NH3-30min	88

Figura V - 5 Imagen por microscopía óptica de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga.....	154
Figura V - 6 Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga .....	155
Figura V - 7 Imágenes por microscopía óptica de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga.....	155
Figura V - 8 Imagen con zoom 100x por SEM de Al-AM-60min para ensayo continuo de 1Km a 5N de carga.....	155
Figura V - 9 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	155
Figura V - 10 Imágenes con zoom 100x y 125x por SEM de Al-AM-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	156
Figura V - 11 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga .....	156
Figura V - 12 Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga .....	156
Figura V - 13 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga .....	157
Figura V - 14 Imagen de surco con zoom 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga .....	157
Figura V - 15 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	157
Figura V - 16 Imágenes con zoom 100x y 125x por SEM de Al-NH3-60min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	157
Figura V - 17 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga .....	158
Figura V - 18 Imágenes con zoom 125x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 2N de carga .....	158
Figura V - 19 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga .....	158
Figura V - 20 Imagen de surco con zoom 100x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 5N de carga .....	159
Figura V - 21 Imágenes por microscopía óptica de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	159
Figura V - 22 Imágenes con zoom 100x y 250x por SEM de Al-NH3-30min para ensayos continuos de 1Km a 10N de carga .....	159

## **Índice de gráficas del capítulo V: Resultados y discusión**

Gráfica V - 1 Comparativa de la dureza HV (Vickers) por cada nivel de carga .....	84
Gráfica V - 2 Comparativa de la dureza HV (Vickers) para cada material .....	84
Gráfica V - 3 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-AM-60min frente a desplazamiento .....	86

Gráfica V - 4 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-NH3-60min frente a desplazamiento .....	87
Gráfica V - 5 Evolución de la tensión teórica máxima en ensayo biaxial para Al-NH3-30min frente a desplazamiento .....	88
Gráfica V - 6 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 2N .....	90
Gráfica V - 7 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 2N .....	90
Gráfica V - 8 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N .....	91
Gráfica V - 9 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N .....	91
Gráfica V - 10 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 5N ...	92
Gráfica V - 11 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 5N .....	92
Gráfica V - 12 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 10N ....	93
Gráfica V - 13 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 5N .....	93
Gráfica V - 14 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 10N .	94
Gráfica V - 15 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 10N .....	94
Gráfica V - 16 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 15N ....	95
Gráfica V - 17 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 1Km con carga de 15N .....	95
Gráfica V - 18 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 15N .	96
Gráfica V - 19 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km/2 con carga de 15N .....	96
Gráfica V - 20 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 5N .....	97
Gráfica V - 21 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 5N .....	97
Gráfica V - 22 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 10N ....	98
Gráfica V - 23 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 10N .....	98
Gráfica V - 24 LVDT frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 15N ....	99
Gráfica V - 25 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo continuo de 2Km con carga de 15N .....	99
Gráfica V - 26 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por carga. Ensayos continuos de 1Km .....	100
Gráfica V - 27 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por material. Ensayos continuos de 1Km .....	101
Gráfica V - 28 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por carga. Ensayos continuos de 2Km .....	101
Gráfica V - 29 Comparativa del coeficiente de rozamiento final por material. Ensayos continuos de 2Km .....	102
Gráfica V - 30 Comparativa del LVDT final por carga. Ensayos continuos de 1Km ..	103

Gráfica V - 31 Comparativa del LVDT final por material. Ensayos continuos de 1Km .....	103
Gráfica V - 32 Comparativa del LVDT final por carga. Ensayos continuos de 2Km..	104
Gráfica V - 33 Comparativa del LVDT final por material. Ensayos continuos de 2Km .....	104
Gráfica V - 34 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 5N.....	105
Gráfica V - 35 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 5N.....	105
Gráfica V - 36 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 10N.....	106
Gráfica V - 37 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 10N.....	106
Gráfica V - 38 LVDT frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 15N.....	107
Gráfica V - 39 Coeficiente de rozamiento frente distancia. Ensayo con paradas y carga de 15N.....	107
Gráfica V - 40 Volumen perdido en ensayos continuos con 2N de carga .....	115
Gráfica V - 41 Volumen perdido en ensayos continuos con 2N de carga por material	115
Gráfica V - 42 Volumen perdido en ensayos continuos con 5N de carga .....	116
Gráfica V - 43 Volumen perdido en ensayos continuos con 5N de carga por material	116
Gráfica V - 44 Volumen perdido en ensayos continuos con 10N de carga .....	117
Gráfica V - 45 Volumen perdido en ensayos continuos con 10N de carga por material .....	117
Gráfica V - 46 Volumen perdido en ensayos continuos con 15N de carga .....	118
Gráfica V - 47 Volumen perdido en ensayos continuos con 15N de carga por material .....	118
Gráfica V - 48 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos de 1Km por carga .....	119
Gráfica V - 49 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos de 1Km por material .....	119
Gráfica V - 50 Comparativa del volumen perdido a partir del surco ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos continuos de 1Km por carga .....	120
Gráfica V - 51 Comparativa del volumen perdido a partir del surco ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos continuos de 1Km por material.....	120
Gráfica V - 52 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos de 2Km por carga .....	121
Gráfica V - 531 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos de 2Km por material .....	121
Gráfica V - 54 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos continuos de 2Km por carga .....	122
Gráfica V - 55 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos de 2Km por material .....	122
Gráfica V - 56 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{masa}}$ ) en ensayos continuos por material.....	123
Gráfica V - 57 Comparativa del volumen perdido a partir de la masa ( $V_{\text{surco}}$ ) en ensayos continuos por material.....	123

Gráfica V - 58 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas a 5N de carga .....	124
Gráfica V - 59 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas a 5N de carga .....	124
Gráfica V - 60 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas a 10N de carga .....	125
Gráfica V - 61 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas a 10N de carga .....	125
Gráfica V - 62 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas a 15N de carga .....	126
Gráfica V - 63 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas del Al-AM-60min por carga .....	126
Gráfica V - 64 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas del Al-AM-60min por carga .....	127
Gráfica V - 65 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-60min por carga .....	127
Gráfica V - 66 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-60min por carga .....	128
Gráfica V - 67 Volumen perdido a partir de la masa ( $V_{masa}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-30min por carga .....	128
Gráfica V - 68 Volumen perdido a partir del surco ( $V_{surco}$ ) en ensayos con paradas del Al-NH3-30min por carga .....	129
Gráfica V - 69 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 1Km .....	130
Gráfica V - 70 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 1Km por material .....	130
Gráfica V - 71 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 2Km .....	131
Gráfica V - 72 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos continuos de 2Km por material .....	131
Gráfica V - 73 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos con paradas .....	132
Gráfica V - 74 Coeficiente de desgaste absoluto en ensayos con paradas por material .....	132
Gráfica V - 75 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 2N de carga .....	133
Gráfica V - 76 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 2N de carga por material .....	134
Gráfica V - 77 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 5N de carga .....	135
Gráfica V - 78 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 5N de carga por material .....	135
Gráfica V - 79 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 10N de carga .....	136
Gráfica V - 80 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 10N de carga por material .....	136
Gráfica V - 81 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 15N de carga .....	137

Gráfica V - 82 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos con 15N de carga por material.....	138
Gráfica V - 83 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 5N de carga.....	139
Gráfica V - 84 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 5N de carga por material .....	140
Gráfica V - 85 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 10N de carga .....	141
Gráfica V - 86 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 10N de carga por material.....	141
Gráfica V - 87 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 15N de carga .....	142
Gráfica V - 88 Coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a 15N de carga por material.....	142
Gráfica V - 89 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km por carga .....	143
Gráfica V - 90 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km por carga .....	144
Gráfica V - 91 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-AM-60min.....	144
Gráfica V - 92 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-NH3-60min.....	145
Gráfica V - 93 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km para Al-NH3-30min.....	145
Gráfica V - 94 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 1Km .....	146
Gráfica V - 95 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-AM-60min.....	146
Gráfica V - 96 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-60min.....	147
Gráfica V - 97 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-30min.....	147
Gráfica V - 98 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos continuos de 2Km para Al-NH3-30min.....	148
Gráfica V - 99 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas a partir de la masa y el surco por carga .....	148
Gráfica V - 100 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de 1Km a partir de la masa por carga .....	149
Gráfica V - 101 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de 1Km a partir del surco por carga.....	149
Gráfica V - 102 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de Al-AM-60min a partir de la masa y el surco .....	150
Gráfica V - 103 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado (K) en ensayos con paradas de Al-NH3-60min a partir de la masa y el surco .....	150

Gráfica V - 104 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado ( $K$ ) en ensayos con paradas de Al-NH <sub>3</sub> -30min a partir de la masa y el surco .....	151
Gráfica V - 105 Comparativa del coeficiente de desgaste normalizado ( $K$ ) en ensayos con paradas por material .....	151
Gráfica V - 106 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos continuos de 1Km .....	152
Gráfica V - 107 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos continuos de 2Km .....	153
Gráfica V - 108 Comparativa de coeficientes de desgaste normalizado para ensayos con paradas .....	153
Gráfica V - 109 Relación entre tipo de desgaste y valor del coeficiente de desgaste normalizado .....	154