

Coeficiente de pulido acelerado. Intento de actualización del ensayo

Por Manuel López Jiménez
Licenciado en Ciencias Químicas y
Salvador Luna Blanco
Licenciado en Ciencias Físicas

En este informe, se hace un estudio comparativo de los resultados obtenidos con dos máquinas diferentes de pulimento acelerado de los áridos. También se estudia la correlación del coeficiente de pulido acelerado con el tiempo de trabajo de la máquina. Por último, se obtienen conclusiones referentes a la revisión de la norma de ensayo española y se propone un estudio interlaboratorios.

1. Introducción.

En los últimos años, los avances de la técnica en construcción de carreteras han permitido alcanzar, de forma sucesiva, mejoras en la seguridad y comodidad del usuario de la vía:

- La aparición de la potente maquinaria pesada, ha permitido el movimiento de grandes volúmenes de tierra y la excavación de túneles para construir vías de elevados radios, que evitan los efectos de la fuerza centrífuga.

- La separación de calzadas por medianas y la protección mediante barreras de seguridad.

- La señalización horizontal con buena visibilidad nocturna (retroreflexión) y vertical, tanto fija como de información variable.

- La regularidad superficial (con índices de regularidad internacional bajos).

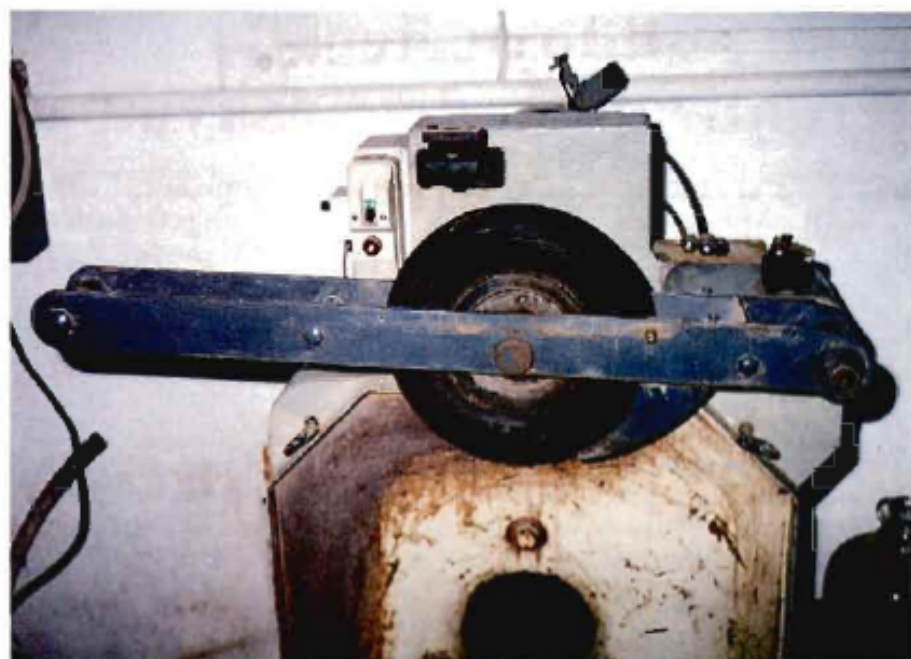
- Las capas de rodadura de elevada macrorrugosidad en mezclas densas, o macrorrugosidad negativa en mezclas drenantes que favorecen la evacuación del agua.

- La utilización de áridos en rodadura con alta microrrugosidad, que favorece la adherencia entre calzada y neumático en tiempo lluvioso.

De todas estas cualidades exigibles a una carretera de calidad



Máquina para pulido de los áridos con rueda maciza.



Máquina para pulido de los áridos con rueda neumática. Actualmente en desuso.

(elevados radios, medianas, barras de seguridad, retrorreflexión, información, regularidad superficial, drenabilidad, adherencia frente al deslizamiento...), es esta última la que está relacionada directamente con la naturaleza del árido para capas de rodadura.

Para que un árido presente buena resistencia al deslizamiento con calzada mojada, ha de poseer una microtextura que permita la ruptura de la película de agua, para que a continuación, actúen las fuerzas moleculares en contacto seco.

La forma más generalizada que tiene el técnico para valorar de forma cuantitativa la microrrugosidad del árido, es el empleo del ensayo que mide el coeficiente de pulido acelerado (C.P.A.), con el péndulo TRRL.

2. Aparatos.

En el año 1988 se recibió, en este Laboratorio de la Demarcación de Carreteras en Andalucía Oriental, una nueva máquina para el pulido acelerado de los áridos a emplear en capas de rodadura de firmes de carreteras, así como un péndulo para la medida del coeficiente de pulido acelerado (C.P.A.). Ambos aparatos fueron adquiridos por la Dirección General de Carreteras, Servicio de Tecnología de Carreteras, dentro del plan anual de renovación de equi-

pos de los laboratorios.

El nuevo equipo se adapta a la norma británica BS 812: parte 3: 1975, enmienda nº 2, efectiva desde el 31 de marzo de 1983. Dicho equipo incorpora importantes modificaciones respecto al antiguo; este último descrito en la norma vigente NLT-174/72, corresponde a la norma británica BS-812: parte 3 de 1967.

La diferencia esencial entre ambas máquinas de pulido acelerado, antigua y nueva, consiste en que la antigua dispone de un neumático que rueda sobre las probetas de la piedra a ensayar durante 3 horas con abrasivo silíceo y agua y, seguidamente, 3 horas con abrasivo de polvo de esmeril y agua, mientras que la nueva viene provista de una rueda de caucho macizo, para rodar durante 3 horas con arena silícea y agua y otra rueda idéntica a la anterior, aunque no intercambiable, para el pulimento con polvo de esmeril y agua durante 3 horas.

El péndulo para la medida del coeficiente de pulido acelerado, es exactamente igual en los dos equipos, nuevo y antiguo.

Al intentar poner a punto el ensayo con el nuevo equipo, nos encontramos con la dificultad de que la máquina de pulido acelerado, no respondía a las características descritas en la norma española (NLT-174/72) debido a la modificación de la rueda. Se nos planteaba una

duda: ¿Serían los resultados obtenidos con una máquina diferente a la descrita en la norma vigente comparables con los obtenidos con máquina de rueda neumática y, por consiguiente, compatibles con las especificaciones del artículo 542 que acababa de ser revisado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales?

Puesto que disponíamos de una máquina conforme a la norma británica, decidimos realizar el ensayo siguiendo fielmente dicha norma. Pero nos encontramos con dificultades insuperables, ya que había que utilizar una piedra patrón procedente de una cantera británica (Enderby) que se encontraba en fase de agotamiento, y en el año en que se editó la norma, estaba previsto cambiar la procedencia del patrón. Asimismo, había que emplear la piedra de otra cantera (Criggion) para el acondicionamiento de las zapatas de goma del péndulo de fricción.



3. Plan de trabajo

Para salir de dudas, nos propusimos realizar un estudio con el siguiente plan de trabajo:

a) Fase previa

- Revisión y puesta a punto de la máquina de pulido antigua, con el fin de realizar ensayos paralelos con las dos máquinas.

- Visita de técnicos de este Laboratorio, al Laboratorio de la Demarcación de Carreteras de Madrid.

- Elección de una piedra patrón para la medida del coeficiente de pulido acelerado, y otra piedra para el acondicionamiento de las zapatas de goma del péndulo de fricción.

- Petición de un durómetro y un resiliómetro para comprobar las características del caucho de las zapatas.

b) Trabajo experimental.

- Estudio estadístico de la población de resultados obtenidos con la piedra patrón elegida, sometida a pulido acelerado en la máquina de ruedas de caucho macizo.

- Análisis de regresión de dos poblaciones de resultados obtenidos por duplicado en las dos máquinas, con muestras de diferentes procedencia y composiciones minerales.

- Estudio del acondicionamiento de zapatas de goma, sobre una única probeta de un árido elegido para tal fin.

4. Resultados

a) Fase previa.

La máquina de pulido acelerado antigua, fue revisada para conseguir la alineación de las ruedas; se pusieron a punto los dosificadores de abrasivo y agua y se mejoró el sistema eléctrico.

En junio de 1988, tres técnicos

**“
P ara que un árido presente buena resistencia al deslizamiento con calzada mojada, ha de poseer una microtextura que permita la ruptura de la película de agua, para que a continuación actúen las fuerzas moleculares en contacto seco.”**

de este Laboratorio se desplazaron al Laboratorio de la Demarcación de Carreteras de Madrid, para observar y contrastar la técnica operativa del ensayo.

Decidimos utilizar como piedra patrón la misma que el Laboratorio de la Demarcación de Carreteras de Madrid. Se trata de una roca ígnea tipo Andesita.

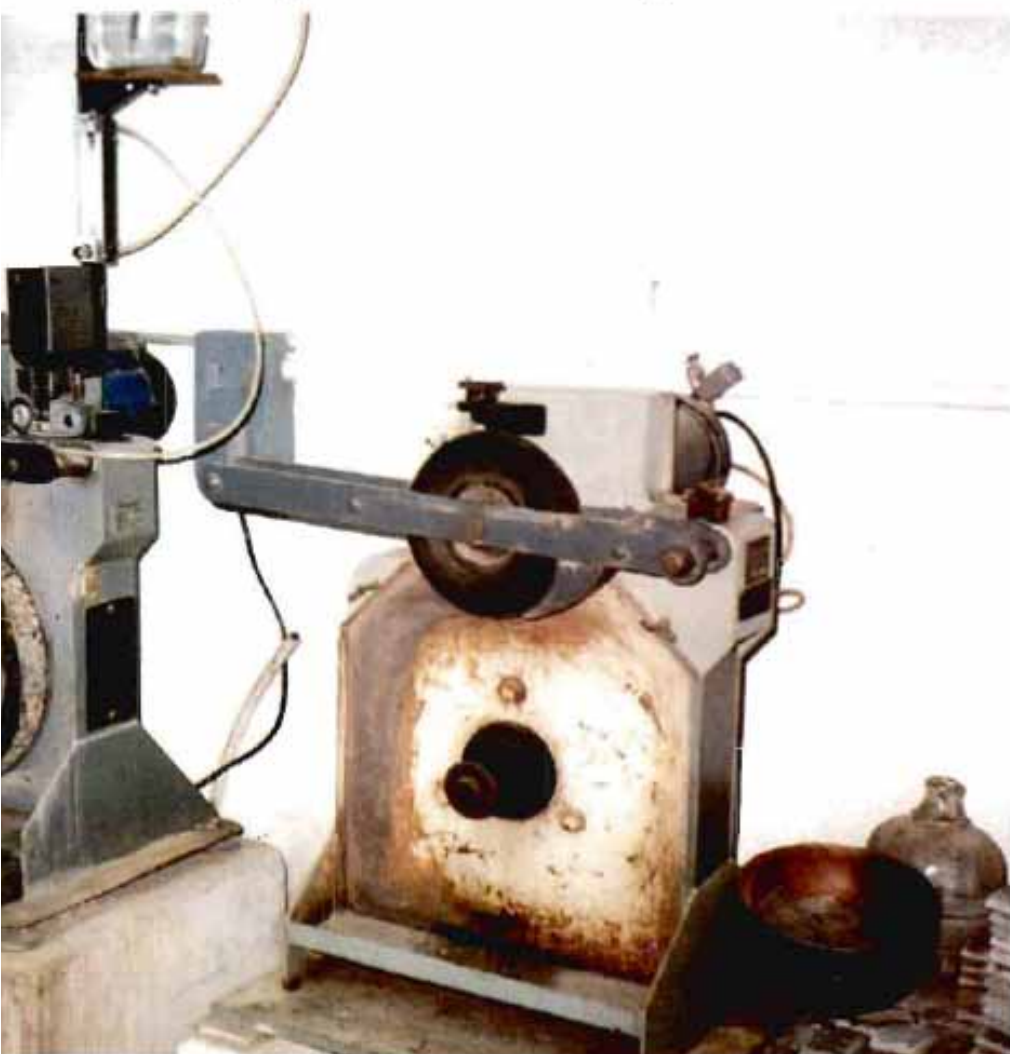
En la petición anual de material solicitamos un durómetro y un resiliómetro. Actualmente, ya hemos recibido ambos aparatos.

b) Trabajo experimental.

A partir de septiembre de 1988, se emplearon todas las muestras recibidas para ensayo de C.P.A., procedentes de obras de la Demarcación de Carreteras, de la Junta de Andalucía y de laboratorios privados, en ensayos duplicados en ambas máquinas, antigua y nueva. En cada ensayo, se disponían en la "rueda de ensayo" 12 probetas correspondientes a 4 muestras, reservando las probetas 13 y 14 para la piedra patrón. Idéntica disposición se repetía en otra "rueda de ensayo". Una de las dos ruedas así preparadas, se sometía al pulido acelerado con rueda de neumático y la otra con ruedas de caucho macizo.

Se realizaron 20 ensayos con cada máquina, correspondientes a 80 muestras y 240 probetas.

Además, se ensayaron 20 muestras de piedra patrón en cada máquina, con un total de 80 probetas. Posteriormente, se ha seguido ensayando la piedra patrón en la má-



Vista conjunta de las máquinas con rueda maciza y neumática.

“**E**n cuanto al acondicionamiento de zapatas de goma para el péndulo de deslizamiento, seguimos el criterio de la norma británica, pero eligiendo una roca ígnea, tipo Ofita, de Archidona (Málaga) para fabricar una única probeta.”

quina, de ruedas de caucho macizo, hasta completar 40 ensayos.

La *tabla nº 1* resume en cifras todo el trabajo realizado.

En la *tabla nº 2* reunimos los resultados, “n” y “m”, obtenidos durante la comparación de ambas máquinas. En ella registramos el tiempo “t”, que ha trabajado la rueda correspondiente, el ensayo “i” y la muestra “j”, que está incluida en el ensayo “i”.

Los resultados n_{ij} y m_{ij} , de la *tabla nº 2*, cuyos subíndices i y j, son iguales, corresponden a resultados obtenidos en ambas máquinas con la misma muestra.

Los resultados con subíndices j = 5, corresponden al árido patrón. Cada resultado de árido patrón es la media de dos probetas, con una aproximación de 0.005.

En la *tabla nº 3* se dan los resultados m_{ij} , correspondientes a los ensayos 21 a 39 de la piedra patrón en máquina con ruedas de caucho macizo. No se recogen los resultados de otras muestras por no considerarlos de interés, ya que no se han podido obtener resultados paralelos en la máquina de neumático.

En el *gráfico nº 1* se dibujan los resultados obtenidos en ambas máquinas con la piedra patrón, en función del tiempo de trabajo de la rueda.

En cuanto al acondicionamiento de zapatas de goma para el péndulo de deslizamiento, seguimos el criterio de la norma británica, pero eligiendo una roca ígnea, tipo Ofita, de Archidona (Málaga) para fabricar una única probeta sobre la cual se han acondicionado 105 za-

Tabla nº 1. Número de muestras y probetas ensayadas.

	Arido patrón		Aridos para ensayar	
	Muestras	Probetas	Muestras	Probetas
Máquina con neumático	20	40	79	237
Máquina con rueda maciza	39	78	154	462
Total	59	118	233	699

TABLA Nº 2. Resultados de la comparación entre las dos máquinas.

Máquina con rueda neumática				Máquina con rueda maciza			
Horas de trabajo de la rueda, t	Ensayo	Muestra	C.P.A.	Horas de trabajo de la rueda, t	Ensayo	Muestra	C.P.A.
	i	j	n_{ij}		i	j	m_{ij}
36	1	1	0.73	6	1	1	0.70
		2	0.62			2	0.63
		3	0.60			3	0.58
		4	0.61			4	0.60
		5	0.690			5	0.690
42	2	1	0.35	9	2	1	0.35
		2	0.61			2	0.69
		3	0.61			3	0.61
		4	0.55			4	0.70
		5	0.613			5	0.640
48	3	1	0.45	12	3	1	0.46
		2	0.68			2	0.70
		3	0.37			3	0.33
		4	0.56			4	0.63
		5	0.633			5	0.630
54	4	1	0.69	15	4	1	0.66
		2	0.62			2	0.68
		3	0.55			3	0.64
		4	0.53			4	0.53
		5	0.650			5	0.645
60	5	1	0.57	18	5	1	0.58
		2	0.58			2	0.57
		3	0.61			3	0.59
		4	0.48			4	0.48
		5	0.585			5	0.600
66	6	1	0.51	21	6	1	0.51
		2	0.37			2	0.40
		3	0.53			3	0.51
		4	0.37			4	0.35
		5	0.585			5	0.595
72	7	1	0.48	24	7	1	0.53
		2	0.33			2	0.38
		3	0.34			3	0.38
		4	0.50			4	0.57
		5	0.55			5	0.595
78	8	1	0.33	27	8	1	0.42
		2	0.36			2	0.47
		3	0.29			3	0.34
		4	0.28			4	0.35
		5	0.570			5	0.610
84	9	1	0.35	30	9	1	0.41
		2	0.35			2	0.39
		3	0.31			3	0.35
		4	0.32			4	0.36
		5	0.525			5	0.545
90	10	1	0.40	33	10	1	0.50
		2	0.41			2	0.48
		3	0.27			3	0.35
		4	0.47			4	0.53
		5	0.460			5	0.540

TABLA N° 2. (Continuación) Resultados de la comparación entre las dos máquinas.

Máquina con rueda neumática				Máquina con rueda maciza			
Horas de trabajo de la rueda, t	Ensayo	Muestra	C.P.A.	Horas de trabajo de la rueda, t	Ensayo	Muestra	C.P.A.
	i	j	m_{ij}		i	j	m_{ij}
6	11	1	0.55	36	11	1	0.61
		2	0.34			2	0.42
		3	0.49			3	0.53
		4	0.38			4	0.48
		5	0.560			5	0.585
12	12	1	0.38	39	12	1	0.42
		2	0.63			2	0.60
		3	0.42			3	0.46
		4	0.44			4	0.44
		5	0.540			5	0.525
18	13	1	0.37	42	13	1	0.37
		2	0.33			2	0.33
		3	0.34			3	0.33
		4	0.34			4	0.36
		5	0.600			5	0.590
24	14	1	0.57	45	14	1	0.56
		2	0.63			2	0.65
		3	0.47			3	0.49
		4	0.44			4	0.45
		5	0.580			5	0.575
30	15	1	0.40	48	15	1	0.43
		2	0.39			2	0.39
		3	0.52			3	0.55
		4	0.54			4	0.54
		5	0.640			5	0.645
36	16	1	0.29	51	16	1	0.37
		2	0.34			2	0.41
		3	0.36			3	0.43
		4	0.57			4	0.57
		5	0.590			5	0.580
42	17	1	0.49	54	17	1	0.51
		2	0.36			2	0.39
		3	0.59			3	0.55
		4	0.60			4	0.60
		5	0.600			5	0.600
48	18	1	0.51	57	18	1	0.57
		2	0.34			2	0.56
		3	0.35			3	0.42
		4	0.44			4	0.52
		5	0.500			5	0.585
54	19	1	0.50	60	19	1	0.49
		2	0.51			2	0.51
		3	0.46			3	0.50
		4	0.49			4	0.55
		5	0.520			5	0.525
60	20	1	0.40	63	20	1	0.40
		2	0.53			2	0.55
		3	0.36			3	0.41
		4	—			4	—
		5	0.570			5	0.550

Tabla n° 3. Resultados del árido patrón en máquina de rueda de caucho macizo desde t = 66 a t = 120.

t	i	m_{is}
66	21	0.535
69	22	0.620
72	23	0.565
75	24	0.580
78	25	0.595
81	26	0.575
84	27	0.565
87	28	0.595
90	29	0.535
93	30	0.540
96	31	0.540
99	32	0.535
102	33	0.505
105	34	0.505
108	35	0.530
111	36	0.535
114	37	0.585
117	38	0.570
120	39	0.545

patas por ambos bordes, siguiendo este procedimiento: se dan 5 pasadas en seco y luego 20 pasadas en húmedo, anotando la media de las 10 últimas lecturas como resultado.

En el gráfico n° 2 (página siguiente) se dibuja la nube de puntos que representan lecturas en el péndulo de deslizamiento, en función del número de acondicionamientos realizados.

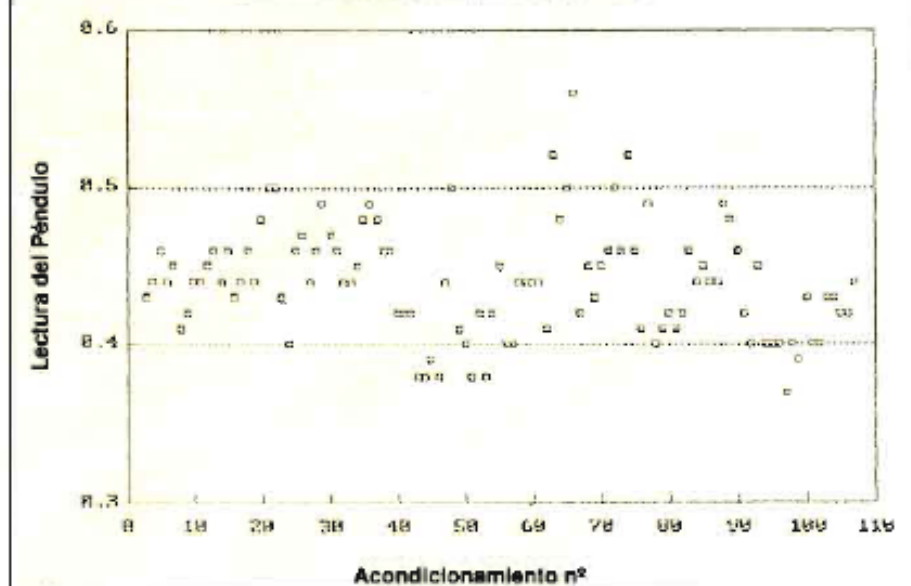
5. Análisis de resultados.

a) En la determinación de la población de resultados del coeficiente de pulido acelerado de la muestra patrón n_{is} , obtenidos con la máquina de rueda neumática, y m_{is} , obtenidos con máquina de rueda maciza, no se puede hacer un estudio estadístico de estimación de medias y varianzas, puesto que la población no representa sólo una variable aleatoria sino que además, es función del tiempo de funcionamiento de la rueda. Así

Gráfico n° 1. C.P.A. árido patrón tiempo de trabajo de la rueda.



Gráfico nº 2. Lecturas del péndulo frente al número de acondicionamientos



pues, ni podemos asignar la media como valor del C.P.A., del árido patrón, ni hacer contraste de hipótesis de comparación de parámetros, obtenidos con el mismo árido en ambas máquinas.

Un análisis de regresión de la población de resultados m_{15} , correspondiente a la máquina de caucho macizo, en función del tiempo

de funcionamiento, nos da una curva potencial de ecuación:

$$m = 0.758 t^{0.070}$$

donde: m = coeficiente de pulido acelerado (C.P.A.)

t = tiempo en horas

con un coeficiente de correlación $r^2 = 0.85$ después de eliminar los resultados que consideramos alejados (dispersión mayor que 0.04).

Para la población de resultados n_{15} , obtenidos con la máquina de neumático, los resultados de subíndice $i = 1$ a 10, corresponden a una rueda y los resultados con subíndice $i = 11$ a 20, corresponden a otra rueda.

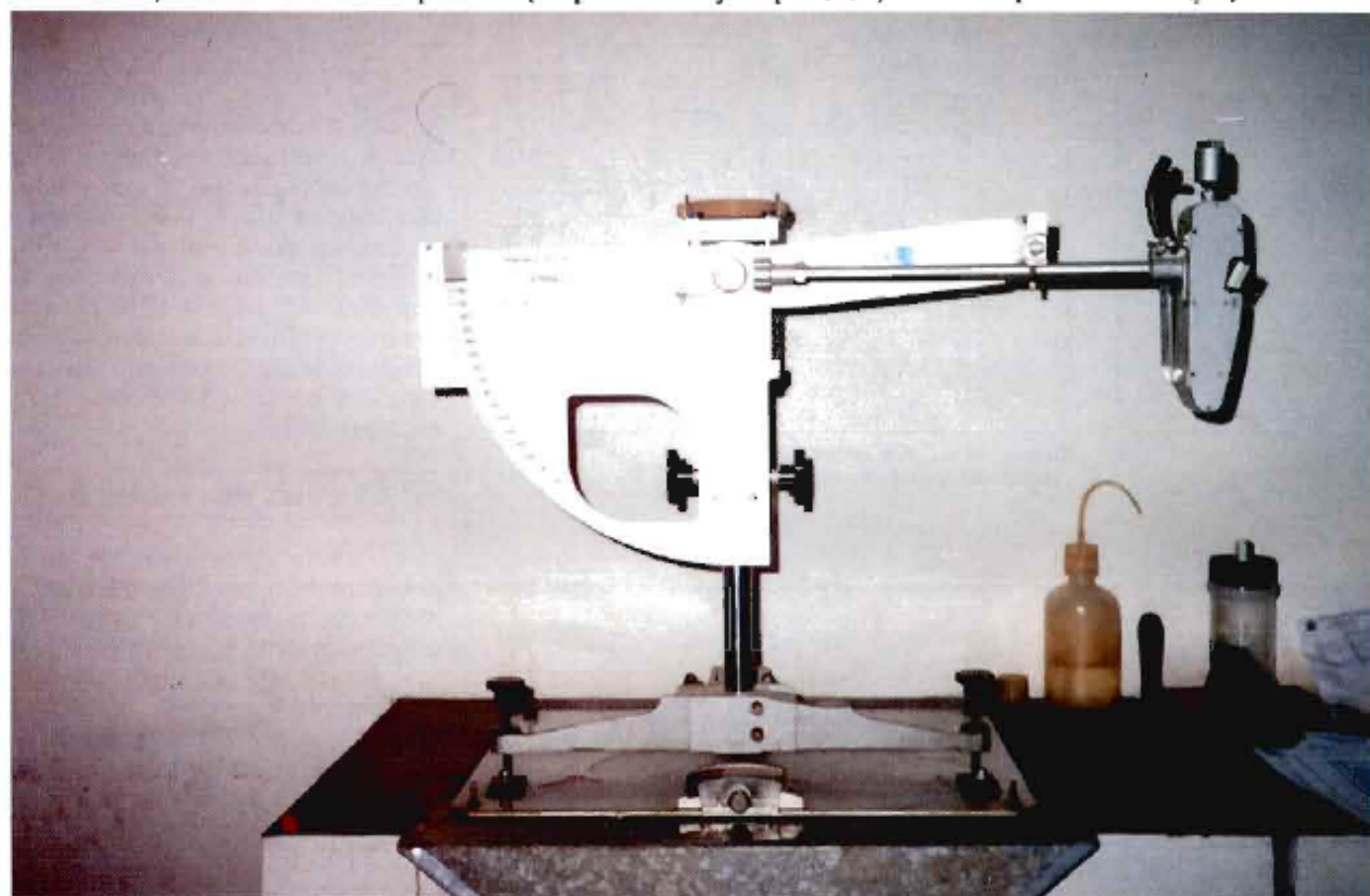
Para la primera rueda se obtiene una regresión lineal cuya ecuación es:

$$n = 0.798 - 0.0034 t$$

con n = coeficiente de pulido acelerado y t = tiempo en horas, con coeficiente de correlación $r^2 = 0.85$.

Para la segunda rueda no se obtiene correlación de ningún tipo. Creemos que puede deberse a rueda defectuosa o deterioro de la máquina en general y por esa razón, no hemos continuado ensayando en esa máquina.

Puesta en evidencia la dependencia del C.P.A., del tiempo de funcionamiento, tanto en una máquina como en otra, nos vemos en la necesidad de asignar un valor de referencia al árido patrón. Para ello elegimos un valor medio de la zona, de mínima pendiente de la curva potencial del gráfico nº 1.



Péndulo para medida del coeficiente de rozamiento.

Tabla nº 4. Corrección del valor medido del C.P.A.

Valor árido patrón	.535	.54	.545	.55	.555	.56	.565	.57	.575	.58	.585	.59	.595	.60	.605	.61	.615	.62	.625	.63	.635	.64	.645
Valor medio medido	Valor real del Coeficiente de Pulido Acelerado																						
.25	.26	.26	.26	.25	.25	.25	.25	.25	.24	.24	.24	.24	.24	.23	.23	.23	.23	.23	.22	.22	.22	.22	.22
.26	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.25	.25	.25	.25	.24	.24	.24	.24	.24	.24	.23	.23	.23	.23	.23
.27	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.25	.25	.25	.25	.25	.24	.24	.24	.24	.24	.23
.28	.29	.29	.29	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.25	.25	.25	.25	.24	.24
.29	.30	.30	.30	.30	.29	.29	.29	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.25	.25
.30	.31	.31	.31	.31	.30	.30	.30	.30	.29	.29	.29	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26
.31	.32	.32	.32	.32	.31	.31	.31	.30	.30	.30	.30	.29	.29	.29	.29	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
.32	.34	.33	.33	.33	.32	.32	.32	.31	.31	.31	.31	.30	.30	.30	.30	.29	.29	.29	.29	.28	.28	.28	.28
.33	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.31	.31	.31	.30	.30	.30	.30	.30	.29	.29	.29	.29
.34	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.33	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.32	.31	.31	.31	.30	.30	.30	.30	.30
.35	.37	.36	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.31	.31	.31	.31	.30
.36	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.32	.31
.37	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.33	.33	.32	.32
.38	.40	.39	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.35	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.34	.33	.33
.39	.41	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.34
.40	.42	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.36	.35	.35	.35
.41	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36	.36	.36	.36
.42	.44	.44	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.37	.36
.43	.45	.45	.44	.44	.43	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.40	.40	.40	.40	.39	.39	.38	.38	.38	.38	.37
.44	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.44	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.38
.45	.47	.47	.46	.46	.45	.45	.45	.44	.44	.43	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.39	.39
.46	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.44	.43	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41	.40	.40
.47	.49	.49	.48	.48	.47	.47	.47	.46	.46	.45	.45	.45	.44	.44	.44	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.41
.48	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.44	.43	.43	.43	.42	.42	.42
.49	.51	.51	.50	.50	.49	.49	.49	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.45	.45	.44	.44	.44	.43	.43	.42
.50	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.44	.43
.51	.53	.53	.52	.52	.52	.51	.50	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.45	.45	.44
.52	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.47	.46	.46	.46	.45
.53	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.52	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46
.54	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48	.47	.47
.55	.58	.57	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.48
.56	.59	.58	.58	.57	.56	.56	.55	.54	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.51	.51	.51	.50	.50	.49	.49	.49	.49
.57	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.52	.51	.51	.50	.50	.50
.58	.61	.60	.60	.59	.58	.58	.58	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.52	.51	.51	.50
.59	.62	.61	.61	.60	.60	.59	.58	.58	.58	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.53	.52	.52	.52	.51
.60	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.60	.59	.58	.58	.57	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.53	.52	.52
.61	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54	.53	.53
.62	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.57	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.54
.63	.66	.65	.65	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.57	.56	.56	.55	.55	.55
.64	.67	.66	.66	.65	.65	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.57	.56	.56	.56
.65	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57	.57	.56
.66	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.65	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60	.59	.59	.58	.58	.57
.67	.70	.69	.69	.68	.68	.67	.66	.66	.65	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.62	.61	.60	.60	.59	.59	.58
.68	.71	.70	.70	.69	.69	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60	.60	.59
.69	.72	.72	.71	.70	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.61	.60	.60
.70	.73	.73	.72	.71	.71	.70	.69	.69	.68	.68	.67	.66	.66	.65	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62	.61	.61
.71	.74	.74	.73	.72	.72	.71	.70	.70	.69	.69	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.65	.64	.64	.63	.63	.62	.62
.72	.75	.75	.74	.73	.73	.72	.71	.71	.70	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.64	.64	.63	.62
.73	.76	.76	.75	.74	.74	.73	.72	.72	.71	.70	.70	.69	.69	.68	.68	.67	.66	.66	.65	.65	.64	.64	.63
.74	.77	.77	.76	.75	.75	.74	.73	.73	.72	.71	.71	.70	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.65	.64
.75	.78	.78	.77	.76	.76	.75	.74	.74	.73	.72	.72	.71	.71	.70	.69	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.66	.65
.76	.80	.79	.78	.77	.77	.76	.75	.75	.74	.73	.73	.72	.72	.71	.70	.70	.69	.69	.68	.68	.67	.66	.66

Tabla n° 5. Resultados corregidos conforme a la tabla n° 4.

Ensayo i	Muestra j	Resultado corregido de m_{ij} RC_n	Resultado corregido de m_{ij} RC_m	Ensayo i	Muestra j	Resultado corregido de m_{ij} RC_n	Resultado corregido de m_{ij} RC_m
1	1	0.59	0.57	11	1	0.55	0.59
	2	0.50	0.51		2	0.34	0.40
	3	0.49	0.47		3	0.49	0.51
	4	0.50	0.49		4	0.38	0.46
2	1	0.52	0.51	12	1	0.39	0.45
	2	0.56	0.60		2	0.65	0.64
	3	0.56	0.53		3	0.43	0.49
	4	0.50	0.61		4	0.45	0.47
3	1	0.40	0.41	13	1	0.35	0.35
	2	0.60	0.62		2	0.31	0.31
	3	0.33	0.29		3	-	-
	4	0.49	0.56		4	0.32	0.34
4	1	0.59	0.57	14	1	0.55	0.55
	2	0.53	0.59		2	0.61	0.63
	3	0.47	0.56		3	0.46	0.48
	4	0.46	0.46		4	0.43	0.44
5	1	0.55	0.54	15	1	0.35	0.37
	2	0.56	0.53		2	0.34	0.34
	3	0.58	0.55		3	0.46	0.48
	4	0.46	0.45		4	0.47	0.47
6	1	0.49	0.48	16	1	0.28	0.36
	2	0.35	0.38		2	0.32	0.40
	3	0.51	0.48		3	0.34	0.42
	4	0.35	0.33		4	0.54	0.55
7	1	0.49	0.50	17	1	0.46	0.48
	2	0.34	0.36		2	0.34	0.37
	3	0.35	0.36		3	0.55	0.52
	4	0.51	0.54		4	0.56	0.56
8	1	0.32	0.39	18	1	0.57	0.55
	2	0.39	0.43		2	0.38	0.35
	3	0.28	0.31		3	0.39	0.40
	4	0.28	0.32		4	0.49	0.50
9	1	0.37	0.42	19	1	0.54	0.52
	2	0.59	0.61		2	0.55	0.54
	3	0.33	0.36		3	0.50	0.53
	4	0.34	0.37		4	0.53	0.59
10	1	0.49	0.52	20	1	0.39	0.41
	2	0.50	0.50		2	0.52	0.56
	3	0.33	0.36		3	0.35	0.42
	4	0.57	0.55		4	-	-

Asignamos al patrón un C.P.A., de referencia igual a 0.56. Observamos que en un 70% de la vida de la rueda, los resultados diferirán con el valor 0.56 menos de 0.02, independientemente de las dispersiones de carácter aleatorio.

Cuando en un ensayo i, obtenemos un C.P.A., del patrón m_{i5} diferente de 0.56, los otros resultados del mismo ensayo (m_{i1} , m_{i2} , m_{i3} , m_{i4}) deben ser corregidos siguiendo el criterio de la norma británica.

Para efectuar la corrección, utilizamos la expresión:

$$RC = 0.56 R/P$$

donde: RC = resultado corregido

R = resultado del valor medio de las medidas en la muestra

P = resultado del valor medio de las medidas en el patrón.

Esta expresión es aplicable tanto a resultados obtenidos mediante pulido acelerado en máquina de ruedas de caucho macizo, como a los obtenidos mediante pulido acelerado en máquina de rueda neumática. Igualmente, es aplicable para obtener la tabla de corrección.

Tabla n° 6. Algunos valores teóricos de la correlación $RC_m - RC_n$

RC_n	RC_m
0.30	0.33
0.40	0.42
0.50	0.51
0.60	0.60
0.70	0.69

“**E**xiste una excelente correlación entre los resultados obtenidos con máquina de pulido acelerado provista de rueda neumática y máquina de pulido acelerado, provista de rueda de caucho macizo, siempre que se apliquen las correcciones oportunas, en función del valor obtenido para el árido patrón.”

nes de la norma británica, como para construir la tabla de correcciones que damos en la *tabla n° 4* para el patrón elegido.

b) Análisis de regresión lineal de las poblaciones m_{ij} y n_{ij} .

Disponemos de las poblaciones de resultados de C.P.A., m_{ij} y n_{ij} , donde m = C.P.A., medido tras pulido acelerado con ruedas de caucho macizo, n = C.P.A., medido tras pulido acelerado con rueda de neumática, i varía de 1 a 20 ensayos y, j varía de 1 a 4 muestras por ensayo.

En cada ensayo i , procedemos a efectuar la corrección de los resultados de las muestras ($j = 1, 2, 3, 4$) según el resultado del patrón ($j = 5$) utilizando la *tabla n° 4*. Damos los resultados corregidos en la *tabla n° 5*.

El análisis de regresión, da una línea recta de ecuación:

$$RC_m = 0.88 RC_n + 0.07$$

donde: RC_m = Resultado corregido de la muestra sometida a puli-



Probetas de árido preparadas para ensayo.

do acelerado en la máquina de rueda de caucho macizo.

RC_m = Resultado corregido de la muestra sometida a pulido acelerado en la máquina de rueda neumática, siendo el coeficiente de correlación $r^2 = 0.88$.

Algunos valores teóricos de RC_m pueden verse en la tabla nº 6.

Observamos que en el margen de valores, objeto de prescripción en el artículo 542 del Pliego General de Condiciones, las diferencias son mínimas.

c) Acondicionamiento de zapatas de goma.

El acondicionamiento de zapatas de goma sobre una probeta de piedra de Archidona (Málaga), según el método descrito en la parte experimental, produce una nube de puntos, en el gráfico lectura del péndulo frente al número de acondicionamientos, que parece asemejarse a una senoide con ciclos de valores, que se repiten por encima y por debajo de una recta de ligera pendiente negativa (gráfico nº 2).

6. Conclusiones.

Existe una excelente correlación entre los resultados obtenidos con máquina de pulido acelerado provista de rueda neumática y máquina de pulido acelerado, provista de rueda de caucho macizo, siempre que se apliquen las correcciones oportunas, en función del valor obtenido para el árido patrón.

Estimamos adecuados como límites de aceptación de resultados del C.P.A., del árido patrón, los recogidos en la tabla nº 4. Ello, implica limitar la vida útil de las ruedas.

La norma actual debe modificarse en los siguientes puntos:

- Descripción de la máquina.
- Especificación de un árido patrón y su valor del C.P.A.
- Especificación de un árido para acondicionamiento de zapatas de goma.
- Utilización de una tabla de

correcciones para los resultados, en función del resultado del árido patrón.

- Limitación de la vida útil de las ruedas de caucho macizo.
- Limitación de los valores extremos del árido patrón en la tabla de correcciones.

Se debe realizar un estudio interlaboratorios para comprobar y, en caso afirmativo, generalizar nuestras conclusiones, estableciendo las condiciones de repetibilidad y reproductibilidad. ■

Los autores del artículo, Manuel López Jiménez y Salvador Luna Blanco son, respectivamente, Director y Director Adjunto del Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental (MOPT).

El Comité de Redacción aclara que la norma británica BS-812: parte 3: 1975 ha sido sustituida por la parte 114: 1989 que modifica algunos aspectos del procedimiento de ensayo.