

Recomendaciones a la limpieza viaria de calzadas en relación a contaminantes de las aguas de escorrentía superficial^(*)

Por ERNESTO J. HONTORIA GARCIA

Doctor Ingeniero de Caminos, Prof. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

El rendimiento de las estaciones depuradoras, de aguas residuales urbanas pueden mejorarse mediante una planificación adecuada de la limpieza viaria, que reduzca la contaminación proveniente de las aguas de escorrentía superficial, a cuyo estudio se dedica el siguiente artículo.

Actualmente se está realizando una investigación en el departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Escuela de Caminos de Madrid, dentro de la acción integrada Hispano-Británica, sobre la contaminación de las aguas de escorrentía superficial urbana.

La continua necesidad de mejorar los diseños de las estaciones depuradoras de aguas residuales, para conseguir mayores rendimientos, junto con la mejora en el conocimiento de la dilución de la contaminación de cauces, ha dado lugar a que la investigación planteada sea imprescindible, tanto si existen sistemas unitarios como separativos y en base a ello se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estudio cualitativo de las aguas.
2. Estudio cuantitativo de las cargas contaminantes.
3. Influencia de las variables.
4. Modelo de descontaminación por lavado.
5. Influencia del aporte atmosférico.
6. Planificación y recomendaciones a la limpieza viaria.
7. Estudio zonas.
8. Modelo de paso, atendiendo a distintas intensidades de lluvia.

Es evidente que al producirse una tormenta en una ciudad se lavan tejados, parques, aceras, calzadas urbanas e interurbanas.

La investigación se comenzó con el estudio de la contaminación en calzadas urbanas, ya

que la poca precipitación existente en la España seca, obligaba a la producción artificial de escorrentía superficial.

A lo largo de la investigación se realizó este lavado por riego continuo, por baldeo con camión y por último se adoptó el riego con manguera, en abanico y con un recorrido de vaivén de toda la cuenca, con el fin de asemejarlo a una precipitación.

El primer objetivo planteado, calidad de aguas, se tenía que estudiar de forma escalonada ya que la gran multitud de parámetros que influyen obligaba a ello.

El número de variables que afectan al proceso, hizo que la investigación se separara en dos grandes grupos, con el fin de ir eliminando, si esto era posible, algunas de las variables que no tuvieran gran incidencia.



Simulación de lluvia con riego.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de diciembre de 1987.

RECOMENDACIONES A LA LIMPIEZA VIARIA DE CALZADAS EN RELACION A CONTAMINANTES

Las variables consideradas fueron:

- Tipos de pavimento: once tipos.
- Zonificación.
- Tráfico.
- Pendiente de calles.
- Datos meteorológicos.
- Contaminación atmosférica.

Se eligió como ciudad del estudio Madrid y se separó en cinco zonas:

1. Verde.
2. Residencial.
3. Casco Antiguo.
4. Comercial.
5. Industrial.

Con el fin de determinar la influencia de las distintas variables se eligieron dos puntos de toma de muestra por zona, de tal forma que una comparación entre ellos, nos resolvería este tercer objetivo y una unión ponderada nos facilitaría el séptimo de los objetivos planteados, estudio zonal. Es preciso comentar que en el área comercial se eligió un tercer punto, con el fin de determinar las paradas y arrancadas de vehículos en los aparcamientos.

La elección de los puntos de toma de muestra, fue una labor difícil por la necesidad de conjugar lo anteriormente expuesto, así como que exista un imbornal, no muy separado de la boca de riego, para poder cubrir, con la manga, la cuenca y quiero recalcar que no todos los imbornales son iguales, lo que dificulta la toma de muestra, ni todas las bocas de riego tienen agua.

Los indicadores de contaminación que se estudiaron fueron:

- Potencial hidrógeno (pH).
- Sólidos totales (S.T.).
- Sólidos en suspensión (S.S.).
- Oxígeno disuelto (O.D.).
- Demanda química de oxígeno (D.Q.O.).
- Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.).
- Nitrógeno orgánico (N).
- Fósforo total (P).
- Metales pesados:
 - Pb.
 - Mn.
 - Fe.
 - Zn.

- Ni.
- Cu.
- Cd.
- Hidrocarburos:
 - Alifáticos: Serie homologada
 $(n - C_{12} \text{ a } n - C_{32})$
 Pristano y fitano.
 - Aromáticos:
 - Bifenilo.
 - 1/4 dimetil naftaleno.
 - Dihidro-antraceno.
 - Fenantreno.
 - Pireno.
 - Criseno.
 - Benzo-A-Pireno.

Algunos se descartaron a medida que avanzaba la investigación y otros como los hidrocarburos se analizaron en puntos y tomas es-

[illegible]

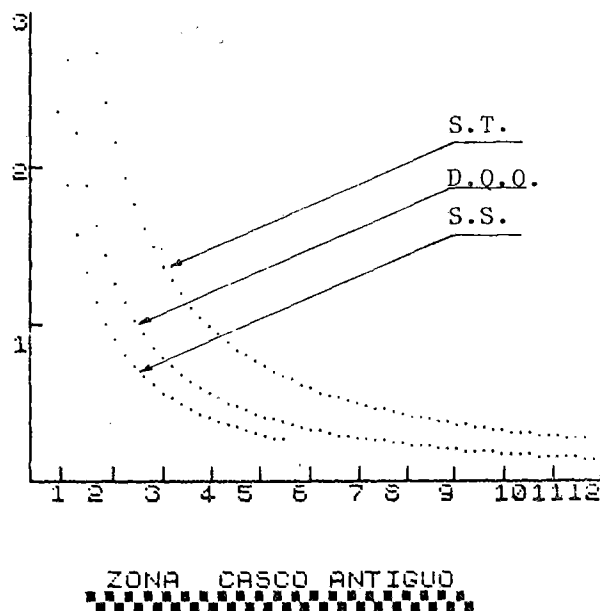
$$Y = 5.3346278 X_1^{-1.2215314}$$

CONTAMINANTE SOL. EN SUSPENSION

$$Y = 2.2993049 \times 10^{-1.2505895}$$

[illegible]

$$Y = 3.2706537 X_1 - 1.2725262$$



Gráfica 1.

RECOMENDACIONES A LA LIMPIEZA VIARIA DE CALZADAS EN RELACION A CONTAMINANTES

tudiadas, en número de once por lo complejo y costoso del análisis. Los hidrocarburos aquí mencionados, junto con los ácidos grasos, son en estos momentos objeto de una tesis doctoral.

La planificación del riego y toma de muestras se realizó de forma exhaustiva, con el fin de establecer el modelo de descontaminación por lavado. Para ello se marcaron en dos, cinco y ocho minutos, los tiempos de toma a lo largo de la producción de escorrentía e igualmente se modificó el intervalo de cinco días entre riegos, tomando como patrón, con el fin de conocer cuál era el depósito diario de contaminación, estos dos puntos resultaron imprescindibles a la hora de concretar las recomendaciones a la limpieza viaria.

Es claro que la limpieza está condicionada por todos los objetivos expuestos al comienzo del artículo, con el fin de que se entienda, se presenta en la siguiente gráfica n.º 1 el modelo de

descontaminación de Sólidos Totales, Sólidos de Suspensión y D.Q.O. en el Casco Antiguo o Edificación Cerrada; la integración de estas curvas respecto al eje de abscisas (tiempo en minutos) da la concentración total de los contaminantes de mg/m² día.

Con el fin de optimizar la limpieza viaria, se contemplaron varios apartados.

1. Para analizar la influencia de la contaminación sobre el servicio de limpieza viaria, se consideran una serie de puntos, como son:

a) Tiempo necesario de riego para eliminar la mayor cantidad de contaminación total por metro cuadrado, para un caudal de agua determinado.

b) Tiempo necesario de riego para eliminar la máxima carga puntual, buscando el menor consumo de agua.

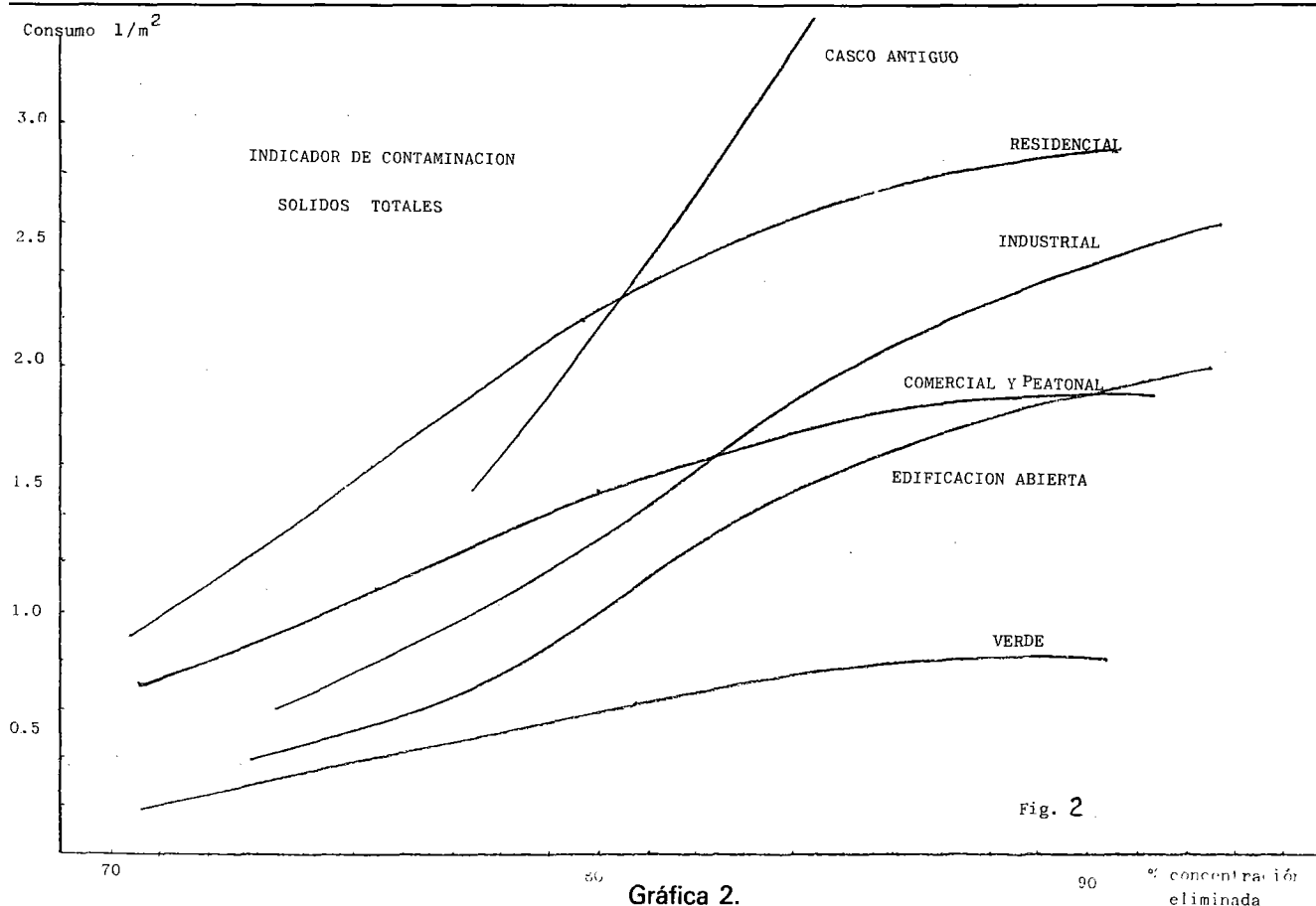
c) Tiempo máximo que podría dejarse sin limpieza las calles.

CUADRO N.º 1

PLANIFICACION DE LA LIMPIEZA VIARIA ATENDIENDO A LA CONTAMINACIÓN ELIMINADA POR TIEMPO DE RIEGO (Empleo de manga)

Zona	T _{Ren} min.	% eliminado de concentración				Consumo l/m ²	Presión riego kg/cm ² y superficie cuenca m ²
		S.T.	S.S.	D.Q.O.	Fe		
Verde	3	70,6	71,8	69,0	95,5	0,2	1,5 150
	4	75,5	76,6	74,1	97,2	0,4	
	5	80,0	80,8	78,7	98,4	0,6	
	8	90,4	90,9	89,7	100,0	0,8	
Residencial	3	70,4	76,8	76,3	96,0	0,9	4,7 120
	4	75,3	81,1	80,2	97,3	1,6	
	5	79,7	84,9	83,5	98,2	2,2	
	8	90,5	93,8	91,2	99,5	2,9	
Casco antiguo	3	77,4	80,0	78,4	94,4	1,5	4,6 100
	4	81,6	82,0	82,4	96,1	2,6	
	5	85,2	85,5	85,9	97,3	3,7	
	8	93,6	93,4	93,8	99,2	4,8	
Edificación abierta	3	72,8	81,7	80,2	94,2	0,4	5,2 150
	4	77,8	85,2	84,1	96,0	0,7	
	5	82,1	88,2	87,4	97,2	1,3	
	8	92,5	95,0	95,0	99,1	2,0	
Comercial y peatonal	3	70,6	73,2	73,4	95,0	0,7	4,5 75
	4	75,5	77,7	78,0	96,6	1,1	
	5	80,0	81,7	82,1	97,6	1,5	
	8	91,4	92,0	92,5	99,3	1,9	
Industrial	3	73,4	81,0	80,3	93,0	0,6	9,5 100
	4	78,3	84,9	84,3	95,1	1,1	
	5	82,6	88,1	87,6	96,5	1,8	
	8	92,6	95,2	95,0	98,9	2,6	

RECOMENDACIONES A LA LIMPIEZA VIARIA DE CALZADAS EN RELACION A CONTAMINANTES



Gráfica 2.

Para estudiar cualquiera de los puntos anteriores, es preciso apoyarse en los modelos de descontaminación por lavado de los distintos indicadores para las distintas zonas.

En relación con el punto a), se puede ir integrando la curva de evolución de lavado para tres, cuatro, etc... minutos y de este modo conocer la contaminación arrastrada a través del tiempo. En el cuadro n.º 1, se refleja lo comentado.

De este cuadro, en que aparecen cuatro indicadores de contaminación, se representa la gráfica n.º 2 siguiente, el tanto por ciento eliminado atendiendo al consumo de agua, para las distintas zonas del indicador de contaminación Sólidos Totales.

En relación con el punto b) y con los modelos de descontaminación, se refleja en el siguiente cuadro el tiempo de lavado y la pendiente de la curva del modelo para el indicador de contaminación, Sólidos Totales, aunque de igual forma se podría realizar para cualquier otro indicador.

CUADRO N.º 2

Zona	Pendiente	T _R	Pendiente	Zona
Verde	0,512	3	0,238	Edificación abierta
	0,251	4	0,116	
	0,148	5	0,068	
	0,098	6	0,045	
	0,069	7	0,031	
	0,051	8	0,023	
Residencial	0,409	3	0,143	Comercial y peatonal
	0,206	4	0,081	
	0,125	5	0,052	
	0,084	6	0,036	
	0,060	7	0,027	
	0,045	8	0,021	
Casco Ant.	0,894	3	0,878	Industrial
	0,413	4	0,409	
	0,234	5	0,233	
	0,149	6	0,149	
	0,102	7	0,103	
	0,074	8	0,075	

Para estudiar el punto c) es preciso decir que en el análisis de la influencia del período seco, es decir la modificación del intervalo de lavados, llevó a confirmar que la duración del período seco tiene una repercusión fundamental en la car-

RECOMENDACIONES A LA LIMPIEZA VIARIA DE CALZADAS EN RELACION A CONTAMINANTES

CUADRO N.º 3

Días	Depósito acumulado en días mg/l/m ²
2	28,30
3	33,11
4	37,02
5	40,36
6	43,31
7	45,97
8	48,41
9	50,67
10	52,78
11	54,77
12	56,64
13	58,43
14	60,13
15	61,76
16	63,32
17	64,82
18	66,27
19	67,68
20	69,03

ga contaminante, pues a la carga por metro cuadrado y día hay que multiplicarla por el número de días. Por lo tanto como resultados de este estudio se dan gráficas fig. n.º 3 de la disminución de concentración por m² y día. En dichas gráficas sobre el eje de abcisas se representan medios días y en ordenadas la concentración en mg/l/m² día.

A partir de estas gráficas (fig. 3) se puede hacer el siguiente cuadro n.º 3 para Sólidos Totales y por tanto la gráfica (fig. n.º 4) de depósito acumulado del indicador de contaminación.

2. Del análisis de la contaminación residual de la zona comercial y peatonal y de la cuenca elegida de aparcamientos que se barría diariamente antes de la toma de muestra, se comprueba que la contaminación de los distintos indicadores de contaminación es inferior al resto.

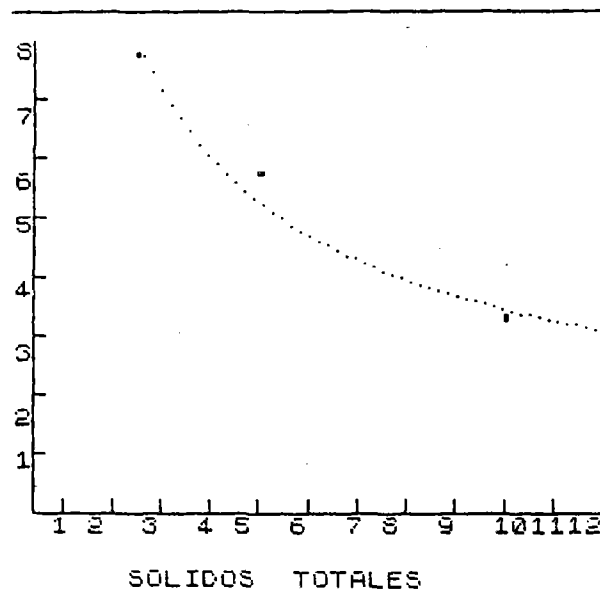
Estos resultados señalan que la eliminación del polvo mediante barrido tiene un efecto fundamental en la eliminación de carga contaminante depositada en las calles.

MEDIA DE DISMINUC. DE DEPOSITOS
CON CONTAMINACION TOTAL

$$Y = 14.151038 X^{-0.61275117}$$

COEFICIENTE DE CORRELACION

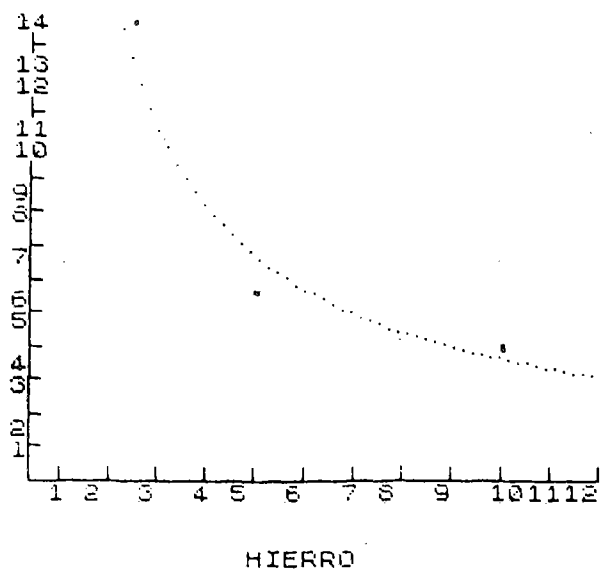
$$R_{XY} = 0.9856951$$



$$Y = 28.144266 X^{-0.88925789}$$

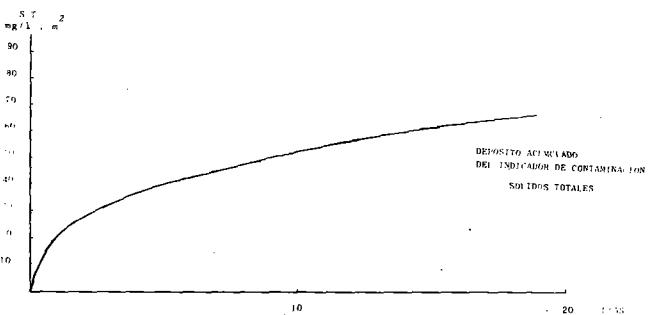
COEFICIENTE DE CORRELACION

$$R_{XY} = 0.97011255$$



Gráfica 3.

RECOMENDACIONES A LA LIMPIEZA VIARIA DE CALZADAS EN RELACION A CONTAMINANTES



Gráfica 4.

3. Del cuadro n.º 1 y figura n.º 2, y atendiendo a las características de las cuencas estudiadas y otros factores, puede deducirse la cantidad de agua, por zonas, para un rendimiento óptimo de lavado de las calles, y se refleja en el cuadro n.º 4 siguiente, con la finalidad de poder establecer en los pliegos de Condiciones de velocidad de las baldeadoras para conseguir un rendimiento eficaz, atendiendo al indicador de contaminación, Sólidos Totales.

Por tanto las recomendaciones a la limpieza viaria son:

- 1. El barrido de bordillos y centros de calzadas de doble carril, producen una gran disminución de contaminación.
- 2. Las barredoras automáticas, reducen la contaminación y disminuyen el efecto de sedimentos en E.D.A.R., pudiendo obtenerse rendimientos interesantes.
- 3. Un mojado de la calzada, puede generar una película orgánica, que disminuye el coeficiente de rozamiento, calzada-neumático, aumentando el peligro de circulación.
- 4. Se puede fijar el tiempo de lavado por manga, de calzadas en tres minutos, que alcanza una eliminación del 73 por 100 de la concentración, atendiendo a las condiciones de las zonas estudiadas.
- 5. El aumento en la eliminación de concen-

CUADRO N.º 4

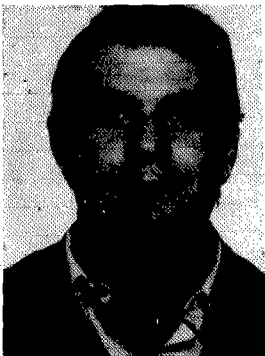
ZONA	Cantidad agua (l/m³)	
	mínimo	máximo
Verde	0,4	0,6
Residencial	1,5	1,8
Casco Antiguo o Edif. Cerrada	1,9	2,6
Edificación Abierta	0,6	0,8
Comercial y peatonal	0,9	1,2
Industrial	1,0	1,5

tración al 80 por 100 correspondiente a 5 minutos de riego implica un aumento del consumo de agua del 200 por 100 que no se justifica.

6. Puede estimarse en diez días el período máximo entre lavados, valor que depende de la calle y zona.

7. Las baldeadoras deben regular su velocidad, en función del cuadro n.º 4, a mayor velocidad producen película en calzada incrementando el peligro de circulación.

Ernesto Hontoria García



Ingeniero Técnico en Hidrología en 1977, diplomándose en ese mismo año en Seguridad e Higiene en el Trabajo; Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Escuela de Madrid en 1980. Se dedica desde ese momento a Tecnologías de Medio Ambiente, colaborando en diversas investigaciones. En 1984 obtiene el Master en Contaminación Ambiental por la O. E. I. (Universidad Iberoamericana) y en febrero de 1986 accede al grado de Doctor Ingeniero de Caminos por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.