

Establecimiento de un modelo de descontaminación por lavado en las calzadas urbanas^(*)

Por ERNESTO - J. HONTORIA GARCIA

Doctor Ingeniero de Caminos, Caneles y Puertos

El agua procedente del lavado de calzadas urbanas y de la lluvia puede producir efectos contaminantes con repercusión tanto en el funcionamiento de estaciones depuradoras como en los cauces receptores. A su estudio se dedica el artículo siguiente, en el que se exponen los resultados de las investigaciones realizadas al efecto.

Una vez subsanado el problema de contaminación de las aguas industriales y domésticas, se planteó, en diversos países industrializados, conocer la influencia que tenía un lavado de la ciudad, sobre estaciones depuradoras de aguas residuales y sobre los cauces receptores.

La respuesta a la pregunta ¿Que ocurre cuando una tormenta limpia nuestras calles?, se hizo de forma separada y escalonada.

Hasta 1950 sólo se desarrolla como solución al problema, el empleo de sistemas separativos; en la década de los cincuenta, Palmer, Aber Linch y Shingosin, realizaron los primeros análisis cuantitativos, midiendo niveles de contaminación de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos en suspensión y coliformes; Wilkinson en 1956 obtuvo correlaciones entre niveles de concentración y duración del período seco; en la década de los sesenta, Sylvesters, Weibel, Geldereich, Pravoshinsky y Gatillo midieron la composición de contaminantes sin llegar a resultados uniformes y en la segunda mitad de los sesenta, se confirmó, por Ellis y otros, la punta inicial de contaminación, antes de que se alcanzara el máximo caudal de escorrentía.

En la investigación que se realizó, en el departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Escuela de Caminos de Madrid, y que dio como resultado mi tesis doctoral, se determinó un modelo de evolución de la eliminación de los contaminantes en calzadas, que permite extraer conclusiones y recomendaciones a la limpieza viaria.

Es indudable que en la contaminación viaria influyen multitud de variables como son:

- Tipo de pavimento.
- Pendiente de calles.
- Tráfico.
- Contaminación Atmosférica.
- Meteorología.
- Estaciones del año.
- Zonificación.

El gran número de variables existentes, once dentro del tipo de pavimento, obligó a plantear una metodología que separaba la investigación en dos grandes grupos, uno de choque y otro de fondo.

Se obtuvieron conclusiones significativas, en cuanto a la influencia del tráfico, zonificación, aporte atmosférico y estaciones del año.

Pero centrándonos en el título de este artículo y punto previsto en los objetivos de la investigación se quiere recalcar que el modelo de evolución de lavado, se elaboró a partir de una media semanal, ya que se consideró una variación diaria en el depósito de la contaminación, pues las costumbres de los habitantes es distinta según el día de la semana.

Se tomaron cinco zonas de muestreo, con dos puntos de toma por zona, de tal forma que la elección de los puntos de toma de muestras se realizó de manera tal, que una comparación entre ellos diera como resultado la determinación de la influencia de las variables adoptadas.

Una vez expuesto el objetivo y consideradas las variables, enumeraré los indicadores de con-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de septiembre de 1986.

taminación que se estudiaron, para establecer el modelo, estos parámetros fueron:

- Sólidos totales, suspensión.
- Demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno.
- Nitrógeno, fósforo, azufre.
- Oxígeno disuelto.
- Potencial Hidrógeno.
- Metales: Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni y Cd.
- Coliformes totales.
- Hidrocarburos alifáticos y aromáticos.

Se quiere recalcar, que la falta de precipitaciones regulares, obligaron a una producción de escorrentía artificial, que se hizo mediante riego, pero intentando semejarlo a una precipitación. Para ello se regaba la cuenca en estudio, en abanico recorriéndola en vaivén.

Con el fin de poder deducir el modelo de descontaminación por lavado en las calzadas, se planificó la toma de muestras en distintos tiempos del riego. El grueso de las tomas se realizó a las dos, cinco y ocho minutos punto éste último en que se cortaba el riego, siendo por tanto su duración; estos intervalos se modificaron algunas veces, habiéndose realizado tomas al principio y final de escorrentía y en tres y seis minutos, cubriendo por tanto toda la duración.

Todas las muestras, para establecer el modelo, fueron tomadas con el mismo caudal, aunque también se realizaron para distintos caudales, con el fin de poder deducir la influencia de la variación de la intensidad de lluvia.

Se fijó el período entre lavados en cinco días para la mayoría de las muestras, aunque también se realizaron tomas en distintos intervalos, diez y veinte días, con el fin de conocer la evolución de los depósitos de contaminación.

El número de muestras durante la investigación fue de 592 con 5550 determinaciones. Había llegado el aumento de estudiar todos los valores, para ir descartando los que se considerarían con error, tanto de toma como de analítica, para procesar el resto y poder establecer medias.

Ya se tenían puntos en el eje de abscisa que eran los minutos en el intervalo de toma de la muestra y las concentraciones para esos pun-

tos en mg/l y $\mu\text{g/l}$.

En el ajuste de curvas de estos puntos por su forma, se probaron diversas exponenciales, y la de Pareto, al final se adoptó la exponencial del tipo $y = ax^{-b}$ para diversos indicadores, aunque otros no se ajustaron a ningún tipo de curva.

Se quiere reflejar que las tomas se realizaron en dos períodos del año bien diferenciado otoño-invierno y primavera-verano cubriendo así otra de las variables planteadas.

Con las cuencas adoptadas en este estudio se realizaron las ponderaciones que se consideraron oportunas, en base a las características y se estableció un modelo de descontaminación para seis zonas, extrapolables a cualquier ciudad con semejantes características a Madrid, que fue la ciudad estudiada.

Estas zonas son:

- Verde.
- Residencial.
- Edificación cerrada (casco antiguo).
- Edificación abierta.
- Comercial y Peatonal.
- Industrial (Sin industrias específicas).

Al final de este artículo se dará la evolución de la contaminación por lavado en estas zonas para algunos indicadores, con las presiones y superficies medias indicadas en este cuadro.

GRAFICAS DE EVOLUCION DEL LAVADO DE LOS INDICADORES DE CONTAMINACION EN LAS DISTINTAS ZONAS CON LAS SIGUIENTES PRESIONES Y SUPERFICIES

Zona	Presión media kg/cm ²	Superficie media
Verde	1,5	150
Residencial	4,7	120
Casco Antiguo	4,6	100
Edificación Abierta	5,2	150
Comercial y peatonal	4,5	75
Industrial	9,5	100

El análisis de toda la investigación sobre este punto dice que la evolución de la descontaminación por lavado de los indicadores es:

- a) Sólidos, materia orgánica y nitrógeno e hidrocarburos alifáticos y aromáticos se acoplan

al modelo comentado de curvas exponenciales. Se quiere reflejar aquí que en los hidrocarburos se hicieron sólo once determinaciones, ya que su analítica es cara y compleja, por lo que sólo podemos decir que pensamos por esos resultados, que se ajustan al modelo, pero aun no estamos en condiciones de asegurarlo; el estudio de alifáticos y aromáticos y ácidos grasos es objeto de una tesis que será leída a finales de año.

En cuanto al punto de principio de la curva, se confirma la punta comentada, por Tucker 1975, B. Ellis 1976 y Mauce y Harman 1978, pero gracias al modelo podemos enmarcarla en un espacio de tiempo de la producción de escorrentia y sobre todo cuantificarla, solamente se tuvo una cuenca (Casco Antiguo, con poca pendiente) en que no se cumplía el intervalo de principio.

Esto, junto con la evolución de las curvas a distintas intensidades de riego, hace pensar en una zona de inestabilidad, entre principio y los quince primeros segundos de escorrentia, cosa perfectamente lógica, pues se necesita un caudal mínimo para que las aguas empiecen a arrastrar los contaminantes. De aquí, se supone que la curva en este tiempo parte en un valor inferior para alcanzar el punto álgido aproximadamente entre diez y quince segundos después de empezar la escorrentia y a partir de este momento enlaza con las curvas expuestas.

Estas gráficas expresan, cómo disminuye la concentración dada en mg/l por m² y día de depósito a medida que se va lavando la calzada. Y es por tanto que la integración de la curva respecto al eje de abscisa, entre principio y final de escorrentia es prácticamente la cantidad de concentración de contaminante por metro cuadrado de calzada y por día de depósito para un intervalo de cinco días. Cantidad que va disminuyendo al aumentar este intervalo; punto de suma importancia para planificar la limpieza viaria y conocer la carga contaminante que llega a las estaciones depuradoras de agua residual o cauces receptores.

b) En cuanto al fósforo, que se comprobó en una sub-etapa de la investigación, el valor de la concentración al principio de escorrentia era muy semejante al de dos minutos, por lo

CONTAMINANTE SOLIDOS TOTALES
.....

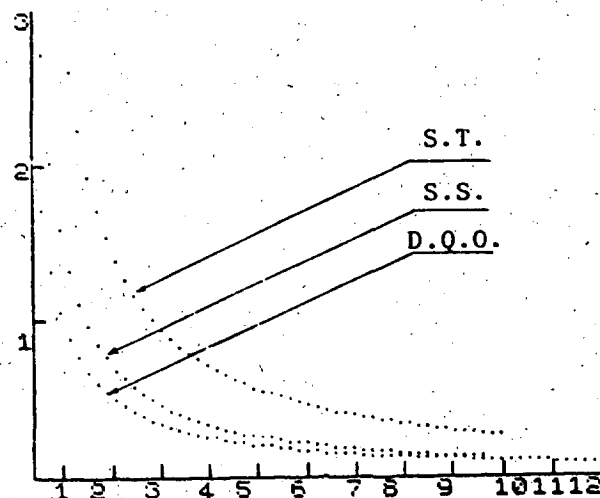
$$Y = 3.0559363 X^{1-1.056523}$$

CONTAMINANTE SOL. EN SUSPENSION
.....

$$Y = 1.5608078 X^{1-1.1036735}$$

CONTAMINANTE D.Q.O.
.....

$$Y = 1.0424033 X^{1-1.0020741}$$



ZONA VERDE
.....

que aceptando la teoría expuesta en a) se puede decir que esta zona de inestabilidad es mayor que en los indicadores antes comentados en treinta segundos.

La concentración al final, prácticamente desaparece, hecho que se da igualmente en el nitrógeno.

c) La concentración de hierro se comporta de forma similar, pero esta zona de inestabilidad comentada, aumenta hasta el minuto del comienzo de la escorrentia. Hecho este, que se considera lógico, si se tiene en cuenta su peso molecular.

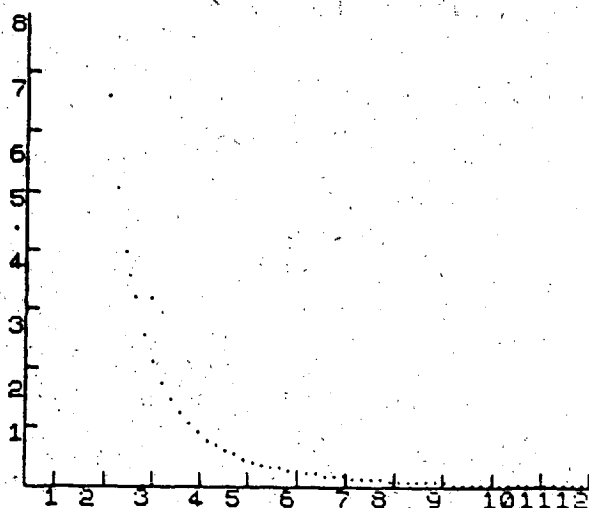
En esta gráfica los valores de las concentraciones hay que dividirlos por mil. En abscisas son minutos y en ordenadas mg/l.m² día como en las anteriores figuras.

El resto de los metales no entran dentro de las curvas exponenciales comentadas y se piensa que, al ser mayor sus pesos moleculares (Pb

MODELO DE DESCONTAMINACION POR LAVADO EN LAS CALZADAS URBANAS

CONTAMINANTE HIERRO

$$Y = 66.843815 X^{-3.1046535}$$



ZONA EDIFICACION ABIERTA

tiene 297,19 frente a los 55,84 del hierro), necesitan un mayor caudal de escorrentía para su arrastre. No pudiéndose dar la misma explicación para el Mn, ya que es de Pm semejante al hierro.

En estos histogramas las concentraciones hay que multiplicarlas por 10^{-3} .

Los vaivenes del riego hacen que se produzcan estos altibajos en los valores establecidos en las determinaciones de los metales, por lo que en una tormenta es de suponer que se produzca un arrastre continuo y por tanto que encajen en curvas más uniformes.

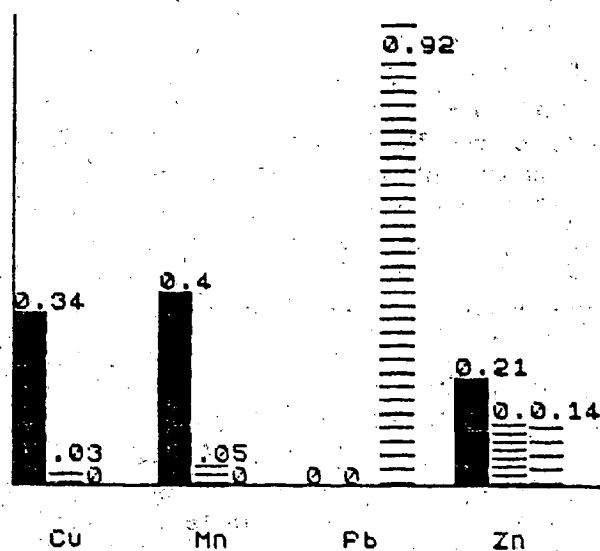
El punto final de las concentraciones de metales es nulo o casi nulo. Este resultado puede ser debido, de igual forma, al bajo caudal en la escorrentía, no produciéndose arrastre.

Se da a continuación cuadros resúmenes de los modelos de evolución para algunos indicadores de contaminación en las seis zonas consideradas, y de las cargas contaminantes.

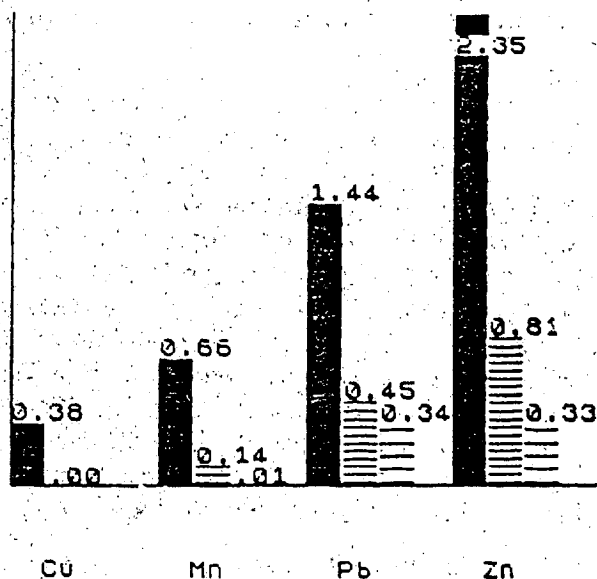
En todo lo expuesto las conclusiones a la evolución de la carga con el lavado son:

1. La evolución de la concentración según el

2 Min.
5 Min.
8 Min.
LEYENDA



ZONA VERDE



ZONA CASCO ANTIGUO

MODELO DE DESCONTAMINACION POR LAVADO EN LAS CALZADAS URBANAS

MODELOS DE EVOLUCION DEL LAVADO EN CALZADAS

Indicadores de Contaminación

Zonas	Sólidos Totales	Sólidos en Suspensión	D.Q.O.	Hierro $\times 10^{-3}$
Verde	$y = 3,057 x^{-1,059}$	$y = 1,561 x^{-1,104}$	$y = 1,042 x^{-1,002}$	$y = 45,117 x^{-3,108}$
Residencial	$y = 2,461 x^{-0,972}$	$y = 1,213 x^{-1,177}$	$y = 1,057 x^{-1,268}$	$y = 137,442 x^{-3,430}$
Edificación Cerrada	$y = 5,335 x^{-1,222}$	$y = 2,3 x^{-1,261}$	$y = 3,271 x^{-1,273}$	$y = 192,625 x^{-3,131}$
Edificación Abierta	$y = 1,417 x^{-1,074}$	$y = 0,818 x^{-1,387}$	$y = 0,933 x^{-1,340}$	$y = 66,844 x^{-3,104}$
Comercial y Peatonal	$y = 0,949 x^{-0,758}$	$y = 0,409 x^{-0,833}$	$y = 0,384 x^{-0,826}$	$y = 117,666 x^{-3,237}$
Industrial	$y = 5,237 x^{-1,20}$	$y = 3,475 x^{-1,527}$	$y = 3,526 x^{-1,487}$	$y = 151,254 x^{-2,929}$

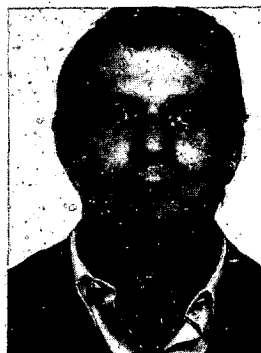
RESUMEN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LOS INDICADORES ESTUDIADOS PARA LAS ZONAS INDICADAS EN mg/l/m².día PARA INVIERNO CON 5 DIAS DE PERIODO SECO.

Zona	mg/l/m ² .día											$\mu\text{g/l/m}^2.\text{día}$
	S.T.	S.S.	D.Q.O.	$x 10^{-1}$ D.B.O.	$x 10^{-2}$		$x 10^{-3}$					$\approx$ Hidrocarburos Fase I
					N	P	Fe	Mn	Cn	Pb	Zn	
Verde	7,3	3,5	2,7	5,6	3,8	6,5	5,0	1,0	0,8	0,7	1,3	1,3
Residencial	7,0	2,6	2,1	4,6	3,8	4,3	10,5	0,9	0,4	2,2	2,0	—
Casco Antiguo	10,9	4,5	6,3	14,0	14,8	21,5	20,4	1,8	0,8	5,1	8,1	—
Edificación Abierta	3,3	1,4	1,6	3,7	2,5	5,4	7,3	0,9	0,3	3,7	4,6	5,4
Comercial y Peatonal	4,2	1,7	1,6	5,0	6,8	10,2	11,1	0,8	0,1	2,3	4,8	1,3
Industrial	9,4	4,1	4,4	12,4	6,9	20,1	20,2	2,8	2,7	2,5	11,5	20,9

tiempo de lavado de las calles se ajusta a curvas de tipo exponencial ($y = ax^{-b}$), para casi todos los indicadores. (Sólidos, materia orgánica, nutrientes, hierro e hidrocarburos).

- La evolución en la concentración de los metales, (excepto hierro), no se ajusta a curvas de tipo exponencial.
- Existe una zona de inestabilidad al principio de curva, empezando por un valor inferior, subiendo a un máximo que enlaza con las curvas comentadas. La inestabilidad depende en magnitud del tipo de indicador, siendo mayor en los metales.

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.