

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente..... Ilmo. Sr. D. Federico Rivero O'Neale, Inspector general del Cuerpo.
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Toribio Cáceres, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

REVISTA EXTRANJERA

Acerca de la sedimentación.

(CONCLUSIÓN)

Proposición décimatercera.—Supóngase que en vez de consistir el sedimento en partículas del mismo valor hidráulico esté formado por partículas que descienden en velocidades diferentes.

Si se reúnen por grupos de materias que descienden con la misma velocidad, cada grupo sigue su propia ley, sin que los demás la perturben. Exceptúanse las materias coagulantes y floculantes (1).

Si fuera factible un análisis mecánico del sedimento del agua tal como llega, se sabría el valor de t para cada uno de los grupos, y a sería el mismo para todos. Los valores de $\frac{a}{t}$ resultarían conocidos é inversamente proporcionales á los valores hidráulicos. Se podrán deducir los valores de x para los diferentes grupos, y calcular la proporción de materia que quede en suspensión después de un cierto tiempo de tratamiento.

Otro camino consiste en apreciar el tamaño de las menores partículas depositadas en determinadas condiciones, fijándose de antemano una proporción (arbitraria) de sedimentación que se considere suficiente. Difícilmente se podrá tomar menor que $\frac{1}{2}$ ni mayor que $\frac{7}{8}$. Tal vez sea conveniente fijarla en $\frac{3}{4}$.

Entonces, si se toma por unidad el diámetro de las partículas de las cuales se deposita el 75 por 100, se depositará el 50 de las de diámetro 0,78 y el 87,5 por 100 de las de diámetro 1,47. Estos números se calculan por los procedimientos reseñados y por la tabla I. Se ve que para una amplitud bastante grande en las diferencias de diámetro, no son muy grandes las variaciones, y que de este modo la proporción de depósito del tamaño admitido puede representar aproximadamente la proporción de depósito total.

Proposición décimacuarta.—Supongamos un depósito dividido por placas horizontales en dos ó más compartimientos superpuestos. Como la eficacia del depósito depende del arco y no de la profundidad, una división la duplica y dos la triplican. La cuestión de las velocidades de fondo tendrá que ser bien estudiada. La principal dificultad para aplicar esta idea estriba en la necesidad de dar facilidades para la limpia, puesto que la eficacia de la sedimentación será mayor, podrá aplicarse á mayor volumen de agua y la limpia se hará indispensable con mayor frecuencia.

(1) Esta palabra resulta en castellano algo impropia, pues pudiera entenderse en el sentido de poner ó formar *fecos*, pero no encontramos otra que exprese mejor la idea de formar *copos*.—N. del T.

Proposición décimaquinta.—Supóngase el agua turbia pasando á través de una capa de arena, y que se está sedimentando en los huecos sin sufrir ninguna otra influencia que ayude á quitar el poso. El sedimento tendrá lugar sobre las caras superiores de los granos de arena en los sitios donde la corriente no tenga velocidad bastante para arrastrar el sedimento.

Supongamos una capa filtrante de un m. de espesor, formada con granos de 0,35 mm., por la cual pasa el agua con una velocidad vertical descendente de 3 m. diarios en la parte libre sobre el filtro, ó sean 0,0347 mm. por 1". Los huecos son el 40 por 100 próximamente del volumen total. Si los canales fueran cilindros verticales, la velocidad sería $\frac{0,0347}{0,4} = 0,087$ mm. por 1". Aumentando su longitud en un 50 por 100, por no ser rectilíneos los canales, resulta una velocidad de 0,13 mm. por 1".

Experimentos hechos, haciendo atravesar por un filtro alternativamente agua dulce y salada han mostrado que una de las clases de agua aparece en una fracción del tiempo que necesitaría para aparecer si el desplazamiento fuese completo, lo que demuestra que hoy los pasos, relativamente anchos y directos, por los cuales el agua se mueve con velocidad muy superior á la media, y en otros pasa lo contrario.

Si se supone que dos tercios del agua contenida en la arena se encuentra prácticamente en reposo, la velocidad en el tercio restante será $0,13 \times 3$, próximamente 0,4 mm. por 1". Esta velocidad no es suficiente para arrastrar los sedimentos gruesos, pero éstos son detenidos en la superficie de la arena, y el agua sólo puede contener los finos, y para ellos la velocidad es excesiva, y en estos canales no habrá sedimentación, pero la habrá en los laterales donde las velocidades son menores.

El área superficial de los granos de arena del tamaño supuesto es tan grande que sorprende. Alcanza á 0,5 metros cuadrados por kilogramo de arena seca, y 8.000 metros cuadrados por metro cúbico; de modo que en la capa de 1 m. el área de los granos será 8.000 veces el área del fondo.

Supóngase $\frac{1}{6}$ de esta arena como lo bastante próxima á ser horizontal y orientada hacia arriba para permitir que sobre ella tenga lugar el depósito. Redúzcase á la mitad para tener en cuenta la ocupada por la parte que está en contacto con otros granos ó tan próxima á ellos que sea inútil. Descuéntese del resto $\frac{1}{3}$ en el cual la velocidad será excesiva, con todo lo cual

el área útil será $\frac{1}{18}$ del área total y 444 veces el área del fondo del depósito, resultando un caso equivalente al de la proposición décimacuarta con 444 tabiques horizontales.

Hemos supuesto que la velocidad vertical correspondiente al área del depósito supuesto libre era 0,0347 mm. por 1". La correspondiente al área de los granos de arena, capaz de recibir sedimento, según las cuentas anteriores, será 0,000077. Supo-

niendo en la fórmula (2) un valor $\frac{a}{t} = 1,4$ con una sedimentación de 0,75, se obtendrá para el valor hidráulico de las partículas retenidas 0,000103 que, como veremos, corresponde á partículas de 0,0003 mm. de diámetro. Se admite que el diámetro de las partículas más finas de arcilla oscila entre 0,0001 y 0,0003 de diámetro.

Considerado así un filtro, podría dejar de retener la arcilla más fina, pero no dejaría pasar ninguna de las partículas más gruesas, resultando que concuerda exactamente con los hechos (1).

Si se aumenta la velocidad de la filtración, el valor hidráulico de las partículas arrastradas aumentará proporcionalmente á ella. Si el tamaño de los granos de arena aumenta, el área de la superficie de las partículas aumentará en proporción inversa al tamaño efectivo, y el valor hidráulico de las partículas arrastradas aumentará al aumentar el tamaño de los materiales filtrantes. Suponiendo que el valor hidráulico de los sedimentos aumenta proporcionalmente al cuadrado de sus diámetros, el diámetro de las partículas arrastradas será igual á

$$c \sqrt{\text{tamaño real de la arena} \times \text{velocidad de filtración.}}$$

El valor de c es aproximadamente 0,0003.

Al considerar la ley de sedimentación en arenas y gravas, hay que tener en cuenta que en los espacios capilares de la arena toma la viscosidad del agua una importancia capital y no se pueden aplicar las leyes de movimiento de los líquidos deducidos de las experiencias en grandes masas.

Influyen probablemente en la purificación del agua en los filtros la floculación de las partículas, las atracciones superficiales, la presencia de organismos y otras acciones de las cuales nada se sabe. Es imposible determinar qué parte corresponde á la sedimentación, si corresponde alguna; pero es interesante hacer constar que los resultados calculados aplicando las fórmulas de la sedimentación, concuerdan aparentemente con los hechos observados en la filtración, de donde parece racional deducir que la sedimentación en los poros de la materia filtrante juega un papel importante en los resultados obtenidos (2):

Velocidad á la cual se depositan las partículas de sedimento en agua tranquila.—Los materiales gruesos pasan con rapidez; los finos muy despacio. Detiene el movimiento en los finos principalmente la viscosidad del agua, y en ellos el valor hidráulico es proporcional al cuadrado del diámetro. En los primeros predomina la acción del rozamiento, y el valor hidráulico es proporcional á la raíz cuadrada del diámetro; hay un espacio de transición entre 0,1 y 1,0 milímetros de diámetro (ó algo más extenso), que comprende la arena ordinaria.

(1) De donde se trata de sacar la conclusión de que el mecanismo de la filtración es el expuesto, y conduciría á admitir que una capa de arena de un metro es activa en toda su altura, y que aumentando ésta podría aumentarse la eficacia del filtro.

Esto es completamente erróneo, y puedo afirmar como resultado de experimentación personal y directa, que la eficacia de un filtro para retener la arcilla reside en una capa superficial de poca altura. El mecanismo de la filtración es muy diferente.—N. del T.

(2) La concordancia es aparente y depende de que se ha tomado una capa de 1 metro de materia filtrante. Tómese de 0,1 y desaparece por completo. Un filtro de un decímetro de arena fina, en cuanto está formado clarifica lo mismo que uno de dos metros, notándose diferencias en los resultados, sólo en el primer tiempo del funcionamiento. Las razones que mueven á aumentar el espesor de la capa fina, son otras; por ejemplo, el reservarse la posibilidad de quitar la costra superficial cuando el filtro ha perdido su permeabilidad ó cuando está convertido en un campo de cultivo de microorganismos.—N. del T.

TABLA I

Velocidades de descenso en agua tranquila.

Diámetro — Mili- metros.	Valor hidráulico — M.m por un segundo.	OBSERVACIONES
1,00.....	100	Experimentos del autor.
0,8.....	83	
0,60.....	63	
0,50.....	53	
0,40.....	42	
0,30.....	32	
0,20.....	21	
0,15.....	15	
0,10.....	8	Interpolados gráficamente.
0,08.....	6	
0,06.....	3,8	
0,05.....	2,9	
0,04.....	2,1	
0,03.....	1,3	
0,02.....	0,62	Fórmula de Wiley.
0,015.....	0,35	
0,010.....	0,154	
0,008.....	0,098	
0,006.....	0,055	
0,005.....	0,0385	
0,004.....	0,0247	
0,003.....	0,0138	
0,002.....	0,0062	
0,0015.....	0,0035	
0,0010.....	0,00154	
0,0001.....	0,000154	

No se dan estos resultados como exactos, sino como suficientemente aproximados para este propósito.

Los valores de la 2.^a columna son á 10° C.

La clasificación de las partículas por tamaños se han obtenido por los métodos usados en el análisis mecánico de la arena. El peso específico es aproximadamente 2,65. Los diámetros son los de esferas de igual volumen que el de los gramos irregulares.

La fórmula de Wiley es:

$$d = 0,0255 v^2.$$

Efectos de la temperatura.—Influye poco para las partículas gruesas; las finas posan más rápidamente á temperaturas más altas. La velocidad de sedimentación para la más finas es proporcional á $\frac{t + 10}{60}$, siendo t la temperatura en grados Fahrenheit, llegando á duplicarse la velocidad para temperaturas caniculares.

Efectos de la floculación y la coagulación.—Floculación es la tendencia de las materias en suspensión á reunirse en agregados, como sucede, más ó menos, cuando los sedimentos son arcillosos. Coagulación es la floculación artificial obtenida, añadiendo al agua productos químicos. El efecto es aumentar la velocidad de aposamiento, aumentando el tamaño de las partículas. A la floculación se debe atribuir la mayor rapidez de sedimentación de agua salada:

Comparación de diversas disposiciones en los depósitos de sedimentación.—En la tabla que se inserta á continuación se dan los valores de $\frac{a}{t}$ necesarios para conseguir la sedimentación de la mitad las tres cuartas partes, y los siete octavos de la materia en suspensión, suponiendo igual para todos el tamaño de las partículas y desentendiéndonos de las velocidades de fondo.

TABLA II

DISPOSICIÓN DE LOS DEPÓSITOS	Valores de $\frac{a}{z}$ para obtener la sedimentación de		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$
Máximo teórico, imposible de conseguir.....	0,50	0,75	0,875
Salida por la superficie, sistema Rockner-Roth..	0,54	0,98	1,37
Depósitos intermitentes, calculando el tiempo de servicio solamente.....	0,63	1,26	1,89
Depósito continuo, límite teórico.....	0,69	1,38	2,08
— aproximación al mismo.....	0,71	1,45	2,23
Depósito muy bien tabicado.....	0,73	1,52	2,37
— bien tabicado.....	0,76	1,66	2,75
Dos depósitos en tandem.....	0,82	2,00	3,70
Uno largo, bien llevado.....	0,90	2,34	4,50
Depósito intermitente, en servicio la mitad del tiempo.....	1,26	2,50	3,80
Un solo depósito continuo.....	1,00	3,00	7,00

Los números de la tabla II representan también las áreas de los depósitos, necesarios para obtener un resultado determina-

do, y obsérvese que las diferencias aumentan al aumentar la relación entre la materia sedimentada y la materia en suspensión.

Entiéndase por *tabicar* un depósito, construir en él tabiques que impidan la mayor parte de las circulaciones, que de otro modo serían posibles entre los diversos compartimientos en comunicación en que queda dividido. El número de éstos queda limitado por la consideración de las velocidades de fondo.

Obsérvese que teniendo en cuenta el tiempo perdido, un solo depósito continuo hace poco menos servicio que un juego de depósitos intermitentes, y con un tabicado rudimentario hacemos.

Se ve también la ventaja teórica de la salida por la superficie (literalmente por *espumaderos*, skimmers), pero las dificultades prácticas y el gasto de instalación limitan el empleo de este sistema.

Siguen algunos párrafos y un cuadro referentes á varias instalaciones existentes que parecen confirmar las teorías del autor, y termina con una recapitulación de todo lo dicho.

Este trabajo será puesto á discusión en Junio próximo, y esperamos que las observaciones que se le hagan han de ser interesantes.

(Extractado de la monografía de Allen Hazen.)

Información.

Saneamiento de Madrid.

El Alcalde-presidente del Ayuntamiento de esta Corte, Sr. Marqués de Lema, por su decreto de 19 de Abril último, ha resuelto recordar á todos los propietarios la obligación en que se encuentran de cumplir las disposiciones vigentes relativas á la higiene de las viviendas, y muy especialmente el bando de la Alcaldía de 5 de Octubre de 1898, en los términos establecidos en la Resolución del Gobierno civil de 30 de Julio de 1901, confirmada por sentencia de lo Contencioso de 31 de Agosto de 1903, según la cual, la obra completa del saneamiento de las casas deberá quedar terminada en el plazo total de cinco años, ó sea en 31 de Agosto de 1908.

Ferrocarril en Nicaragua.

Por orden del Gobierno de esta República se están haciendo los estudios de un trazado para la construcción de un ferrocarril desde la orilla del lago de Nicaragua á la costa del Caribe. Los informes de los Ingenieros indican que la vía no presenta grandes dificultades técnicas; por otra parte, como ha de atravesar regiones despobladas, el ferrocarril carecerá durante mucho tiempo de beneficio remunerador. Se cree que el actual Gobierno hará todo cuanto á su alcance esté para realizar la obra, por la convicción á que se ha llegado de que no hay ya esperanza ninguna de que el Canal istmico sea abierto por Nicaragua.

Protección de los conductores aéreos.

El 21 del mes próximo pasado se efectuaron las pruebas con un sistema de protección de los conductores aéreos de las redes de los tranvías eléctricos, debido al Sr. Giraud, de París, sobre la línea del tranvía que hace el servicio en el «Splendit-Hôtel, en Evian» (Francia).

El aparato es sencillo, barato y puede adaptarse á todas las líneas existentes.

Su funcionamiento es debido á la misma rotura del hilo conductor, y su acción es entonces tan rápida, que no hay peligro ninguno desde mucho antes de llegar el alambre al suelo.

Este aparato está basado en el principio de la formación de circuito corto, en caso de roturas, ya sea entre dos alambres de la fase, ya sea entre uno de éstos y otro neutro, bien con la tierra, según la disposición de las líneas, el cual circuito corto acciona á su vez un disyuntor automático de sección.

Para evitar los accidentes ocasionados por la rotura de alambres telegráficos ó telefónicos al tocar con los conductores de la línea de tranvías, hay otro aparato que establece instantáneamente una solu-

ción de continuidad entre la línea y trozos rotos antes de que éstos hayan llegado á tocar el conductor.

Los ensayos se han verificado sobre la línea á 3.000 voltios y con una telegráfica, dando resultados altamente satisfactorios.

La enseñanza electrotécnica en el extranjero.

En la *Revue pratique de l'Electricité* encontramos los siguientes datos acerca de este asunto, que tanto preocupa á los países más adelantados.

En Francia se cita como modelo la Escuela industrial de Saint-Etienne. La enseñanza dura en ella cuatro cursos, y en el tercero da comienzo la de la electricidad industrial, explicándose detalladamente los principios generales de la ciencia, acompañados de ejercicios y problemas que abrazan el estudio y empleo de las baterías, imanes, solenoides, electroimanes y generadores de electricidad; aprovechamiento industrial de la corriente; timbres eléctricos, telégrafo, teléfono, luz eléctrica, etc. Esta enseñanza teórica, ya seguida de la práctica que se da el último año, en el cual los alumnos trabajan en los talleres mecánicos y construyen con arreglo á planos preparados por la Dirección y bajo la inspección de profesores y contramaestres, aparatos eléctricos, instrumentos de medida, dinamos y motores eléctricos.

En Alemania existen 41 Escuelas de operarios para las distintas artes industriales. La Sajonia posee por sí sola 237 Escuelas industriales. Existen además en Alemania 9 Escuelas superiores técnicas, que son frecuentadas por más de 15.000 alumnos. Berlín posee una Escuela de obreros, otra de fabricantes de instrumentos y hasta una Escuela electrotécnica que prepara á los viajeros en artículos de este ramo de la industria. En el Technikum de Hamburgo hay una Escuela superior de electroquímica muy concurrida en que á la conclusión de un curso teórico completo se hacen excursiones escolares para que vean la aplicación práctica de sus conocimientos. Digna es también de mención una Escuela especial de Wurtemberg, en que se concede atención particular á los péndulos eléctricos y á la fabricación de los instrumentos de medida, lámparas, etc.

La Italia no se ha quedado atrás en este movimiento, consiguiendo reducir mucho la emigración de las clases pobres y aumentando notablemente su capacidad de producción. Las industrias mecánicas están allí muy florecientes y el año pasado se ha abierto en Milán, subvencionada por el Rey, una Escuela de electrotecnia, en que se enseñan teoría y práctica: dibujos, construcción de aparatos, explotación de centrales, etc.

En Holanda se han añadido á las Escuelas industriales talleres de