



Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 3, año 2007 ISSN 0718-378X
PP

LA EVALUACIÓN DE INSTALACIONES EXISTENTES COMO BASE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE AMPLIACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS: UN CASO PRÁCTICO

THE EVALUATION OF EXISTING UNITS AS A START POINT FOR OPTIMIZATION
OF WATER TREATMENT PLANT ENLARGEMENT: A REAL CASE

Ríos, Danilo
Manion, Ingrid
Pintos, Margarita
Azuriz, Karina
Michelena, Alberto
Martínez, Milton

ABSTRACT

Filtration units for potabilization of surface water should be designed with special attention in three parameters: filtration rate, thickness of the filtration bed and size of the granular media.

The size of the filtration plant, and therefore the cost of construction, is basically determined by the first two parameters listed above. Depending on the water quality, the filtration rate could be between 10 to 20 m³/m²/h, and the determination of this parameter is essential for a proper design of large plants.

Nowadays, any rational design of filtration units should be based on the results of a pilot plant as a way to determine the design parameters. An inadequate selection would lead to serious problems in filter operation or to an unnecessary expensive plant. The cost of a pilot plant is always lower than the higher cost that would bring a selection of a very low rate.

This paper shows how to determine the design rate, thickness of the bed filter and type of the granular media for a declining rate filtration unit to be constructed at the the Aguas Corrientes treatment plant. This new plant will increase in 10.000 m³/h the filtration capacity of the Aguas Corrientes treatment plant, which supplies the city of Montevideo with potable water.

Key words: parameters design, filtration plant

LA EVALUACIÓN DE INSTALACIONES EXISTENTES COMO BASE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE AMPLIACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS: UN CASO PRÁCTICO

Ríos, Danilo ⁽¹⁾

Ing. Civil Hidráulico Sanitario, Master en Ing. Ambiental de la Universidad de la República Oriental del Uruguay (UDELAR). Gerente de Producción de Obras Sanitarias del Estado de Uruguay (OSE). Profesor adjunto de la Facultad de Ingeniería de la UDELAR, coordinador del curso Tratamiento de Agua Potable.



Manion, Ingrid

Ing. Civil Hidráulico Sanitaria de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Jefe de tratamiento de la Planta de Aguas Corrientes (OSE) desde el 2002 a la fecha.

Pintos, Margarita

Ing. Civil Hidráulico Sanitaria de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Proyectista y contraparte de los proyectos de rehabilitación de la Usina de Aguas Corrientes. Profesor adjunto de la Facultad de Ingeniería de la UDELAR

Azuriz, Karina

Ing. Civil Hidráulico Sanitaria de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Proyectista y contraparte técnica de los proyectos de rehabilitación de la Usina de Aguas Corrientes

Michelena, Alberto

Operador de Tratamiento de la Planta de Aguas Corrientes entre los años 1971 y 1993. Encargado de Tratamiento de la Planta de Aguas Corrientes desde 1993 hasta la fecha

Martínez, Milton

Encargado de Tratamiento de la Planta de Aguas Corrientes entre los años 1968 y 2005, y actualmente se desempeña como supervisor de Producción.

Dirección (1): Carlos Roxlo 1275 - Montevideo - Código Postal 11.200 - Uruguay - Tel.: 598 (2) 1952 int. 1948 - e-Mail: drrios@ose.com.uy

RESUMEN

La Planta de Aguas Corrientes, que abastece de agua potable a la Región Metropolitana, cuenta en el sistema denominado “Planta Vieja”, con dos floculadores mecánicos de flujo axial, compuestos cada uno por 7 celdas en serie, que pueden operar con distintos gradientes de velocidad. Actualmente, dichas unidades procesan

en su conjunto, un caudal máximo de 15.000 m³/h, con un tiempo de retención de 30 minutos.

El presente trabajo consiste en evaluar la capacidad real de los floculadores, focalizando los estudios sobre dos aspectos: la capacidad hidráulica de los mismos, y la eficiencia del proceso de floculación para caudales de hasta 23.000 m³/h. El trabajo fue utilizado como sustento para la toma de decisiones, a la hora de proyectar las obras necesarias para ampliar la capacidad de producción de la planta de Aguas Corrientes.

PALABRAS CLAVE

Floculador, gradiente, tiempo de retención

INTRODUCCIÓN

Generalmente se encaran soluciones a problemas de producción de agua potable, ampliando las plantas potabilizadoras, y/o construyendo nuevas instalaciones, sin evaluar efectivamente la potencialidad de las infraestructuras existentes. El caso de reducción de fugas es un ejemplo claro, ya que se pueden evitar o reducir muchas inversiones en producción, llevando adelante verdaderos planes y programas de reducción de pérdidas físicas en redes de distribución. El contar con metodologías apropiadas para evaluar sistemas de potabilización existentes, y llevarlas adelante, es una herramienta fundamental para evitar inversiones innecesarias, y gastar los escasos fondos con los que habitualmente se cuenta, en aquellas obras que son efectivamente necesarias.

Los estudios llevados a cabo por el consorcio SOGREAH – SAFEGE – CSI en el “Plan Director de Agua Potable para la ciudad de Montevideo”, estimaron que la planta de Aguas Corrientes debería potabilizar un caudal de 33.000 m³/h de agua al final del período de previsión fijado en el año 2035.

Con el objetivo de aumentar la capacidad de tratamiento en el sistema “Planta Vieja”, dicho Plan Director preveía la construcción de un nuevo floculador mecánico, y un sedimentador de flujo laminar, y elaboró en consecuencia los anteproyectos avanzados de esas unidades, a los efectos de contar con las bases para los proyectos ejecutivos.

Durante el año 2003, tomando como punto de partida las conclusiones llevadas a cabo por el Plan Director, técnicos de OSE evaluaron, con el fin de optimizar las inversiones, la posibilidad de que los floculadores existentes, pudieran procesar la totalidad del caudal, estimado en un máximo de 23.000 m³/h en el sistema “Planta Vieja” para el año 2035.

Al aumentar más de un 50% el caudal de los floculadores, bajaría su tiempo de retención a 20 minutos, situación que debería ser previamente evaluada para confirmar el correcto desarrollo del proceso, y definir en consecuencia la necesidad real de construir una unidad de floculación adicional.

OBJETIVOS Y METAS

El objetivo del trabajo realizado fue demostrar que los floculadores existentes pueden funcionar adecuadamente con un tiempo de retención de 20 minutos, como consecuencia de aumentar el caudal a 23.000 m³/h en el sistema “Planta Vieja”, y por lo tanto tratar con la eficiencia requerida, el caudal demandado hasta el final del período de previsión, sin la necesidad de construir unidades de floculación adicionales. El trabajo de evaluación realizado se sustenta en fuertes razones de orden económico, dado que la diferencia de costos entre las alternativas es considerable, en función del elevado caudal que procesa la planta de Aguas Corrientes.

METODOLOGIA

La metodología consistió en evaluar el sistema de floculación actual desde dos puntos de vista: estimar su capacidad de transporte hidráulico, y determinar si al duplicar el caudal, el proceso de floculación se desarrollaría con efectividad, para todos los tipos de calidad de agua bruta que procesa la planta.

Evaluación de la capacidad hidráulica de los floculadores

Para determinar la capacidad hidráulica de los floculadores existentes, se derivó un caudal de 12.000 m³/h hacia una de las dos unidades, y se determinaron las pérdidas de carga en pasajes, compuertas y canales, estimándose que con obras menores como sobreelevar las paredes del canal de agua coagulada, se podrían procesar hasta 23.000 m³/h en el sistema “Planta Vieja”. O sea que desde el punto de vista hidráulico, no existirían impedimentos para que se procesara la totalidad del caudal con los floculadores existentes.



Imagen N° 1: Floculador mecánico existente, y vista de canal de agua coagulada durante la prueba hidráulica ($Q = 12.000 \text{ m}^3/\text{h}$)

Caracterización del agua bruta

Dado que el agua bruta del río Santa Lucía presenta variaciones importantes de carácter estacional, se elaboraron curvas de frecuencia de los distintos parámetros físico químicos que la caracterizan, utilizando una base de datos de 10 años de monitoreo, para otorgarle “peso” a los ensayos que iban a realizarse, en función de su representatividad ligada a la calidad del agua bruta con que fueran efectuados.

En cuanto a la turbiedad del agua bruta, para el período de 10 años analizado, se obtuvo que el 50 % del tiempo fue inferior a 20 NTU y el 90 % del tiempo inferior a 48 NTU, por lo que puede considerarse como una fuente de agua bruta de media a baja turbiedad. En cambio, el 50 % del tiempo el color verdadero del agua bruta fue superior a 70 unidades de Pt-Co, por lo que la fuente se clasifica como de color “moderadamente elevado”.

Por lo tanto, la mayoría de los ensayos fueron realizados con agua de baja turbiedad.

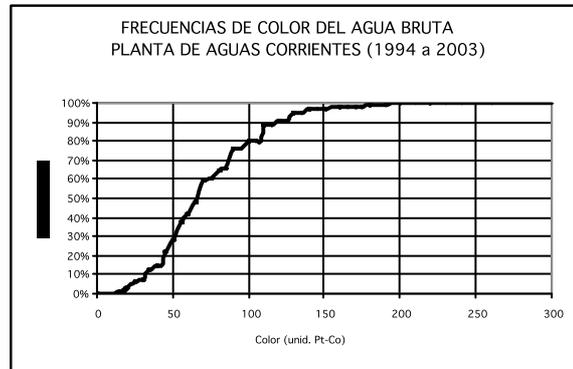
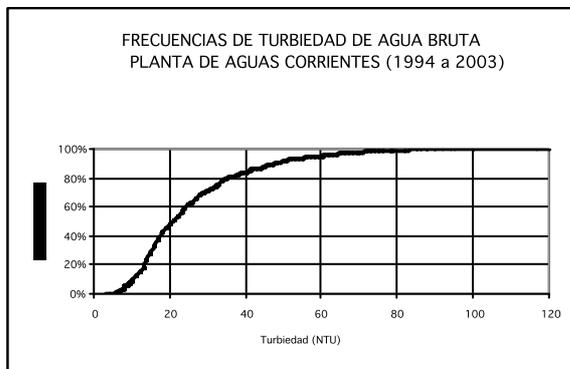


Figura N°1: Frecuencias absolutas de turbiedad (1994-2003), y de color verdadero (1994-2003)

Evaluación del proceso de floculación

La metodología utilizada para evaluar si el proceso de floculación se desarrollaría eficientemente con tiempos de retención sensiblemente menores a los actuales, se llevó a cabo en dos fases:

- Aplicar el modelo matemático de floculación desarrollado por el Departamento de Ingeniería Ambiental del IMFIA, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay (López Julieta y col., 2001, Ríos Danilo y col. 2002), para comparar la efectividad del proceso, al trabajar con 30 (situación actual) y 20 (situación futura) minutos de tiempo de floculación
- Elaborar las curvas de floculación (turbiedad residual en función del tiempo de floculación, con el gradiente de velocidad como parámetro) para un amplio espectro de calidades de agua bruta, comparando los resultados obtenidos con diferentes tiempos de floculación, utilizando técnicas estadísticas.

Se efectuaron ensayos de jarras para muchas calidades de agua bruta de la fuente, y se construyeron las curvas de floculación correspondientes, las cuales fueron analizadas efectuando un tratamiento estadístico de los datos. También se determinaron, para cada tipo de agua bruta, las relaciones $G \cdot T^n = K$, siendo G el gradiente de velocidad óptimo (s^{-1}) y T el tiempo de floculación (minutos).

Tiempo de floculación (min)	Turbiedades residuales (NTU)				
	$G = 4,5 s^{-1}$	$G = 14 s^{-1}$	$G = 35 s^{-1}$	$G = 60 s^{-1}$	$G = 90 s^{-1}$
5	14,0	12,0	9,8	10,0	12,0
10	13,0	9,5	8,2	10,0	12,0
15	12,0	6,8	6,4	7,8	10,0
20	11,0	6,0	5,6	8,0	10,0
25	8,5	4,3	6,0	8,2	10,0
30	8,0	4,5	5,8	8,7	9,8

Tabla N° 1: Ensayo de floculación (8/05/03). Agua bruta: turbiedad 8,4 NTU, alcalinidad total 160 mg/l CaCO₃, pH 8,1, temperatura 15°C, dosis de sulfato de aluminio: 35 mg/l

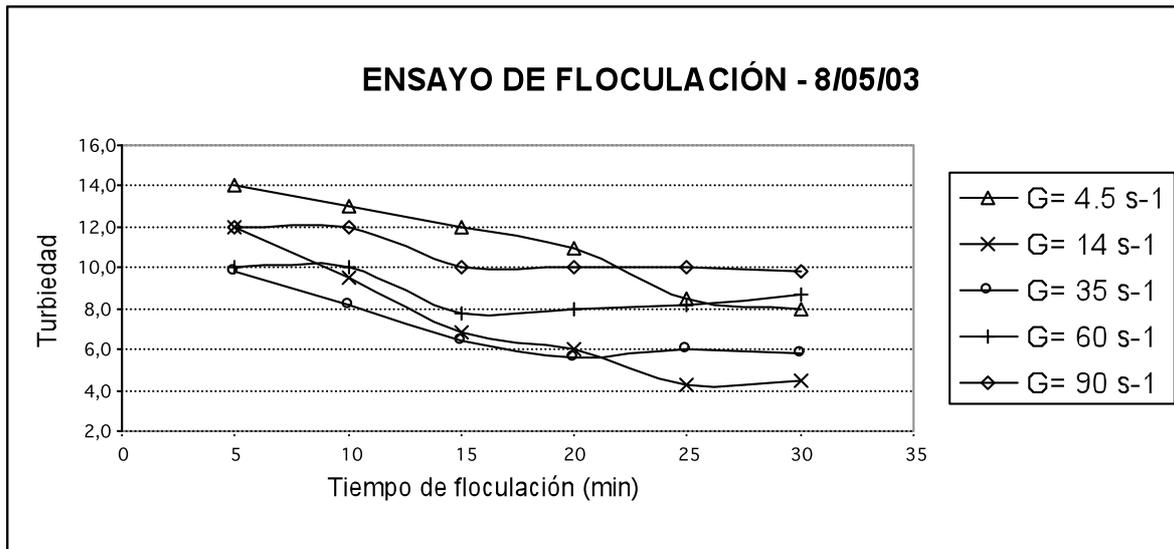


Figura N° 2: Curva de floculación correspondiente al ensayo del 8/05/03

Para comparar los resultados obtenidos con los diferentes tiempos de floculación, se eligió el test 1-Factorial que permite analizar la influencia del tiempo de floculación sobre la turbiedad del agua sedimentada en prueba de jarras (López Julieta y col., 2001, Ríos Danilo y col, 2002). El test requiere que las muestras sean aleatorias, de poblaciones normales con varianzas homogéneas, y el conjunto de observaciones sea independiente. Se verificó el cumplimiento de estos requisitos previamente.

La hipótesis nula (H_0) considerada para el test 1-Factorial fue que la turbiedad del agua sedimentada es independiente del tiempo de floculación, lo cual equivaldría a afirmar que para los distintos tiempos de floculación, se obtienen resultados homogéneos de turbiedad de agua sedimentada. En todos los casos, el nivel de significación de la prueba fue del 5%, lo que implicaría que hay una probabilidad del 5% de rechazar la hipótesis nula, siendo ésta cierta (López Julieta y col., 2001, Ríos Danilo y col, 2002).

RESULTADOS

Resultados del modelo matemático de floculación

Tanto para bajas como para elevadas turbiedades del agua bruta, el modelo matemático anticipó un comportamiento estable de la turbiedad residual del agua sedimentada, para tiempos de floculación superiores a 10 minutos.

Como puede observarse en la figura N° 3, las curvas para diferentes gradientes de velocidad, presentan mínimos no bien definidos, y los mismos se dan para tiempos de floculación muy cortos. Para tiempos mayores que el óptimo (definido por los mínimos absolutos de las curvas), la turbiedad residual tiene pocas variaciones, lo que implicaría que el tiempo de floculación necesario es muy corto. En consecuencia, el modelo matemático utilizado permitió estimar que el largo tiempo de retención con

el cual operan hoy las unidades existentes, no mejora sustancialmente la calidad del proceso. Estos resultados teóricos posteriormente fueron verificados a nivel de laboratorio, mediante ensayos en reactores estáticos (prueba de jarras).

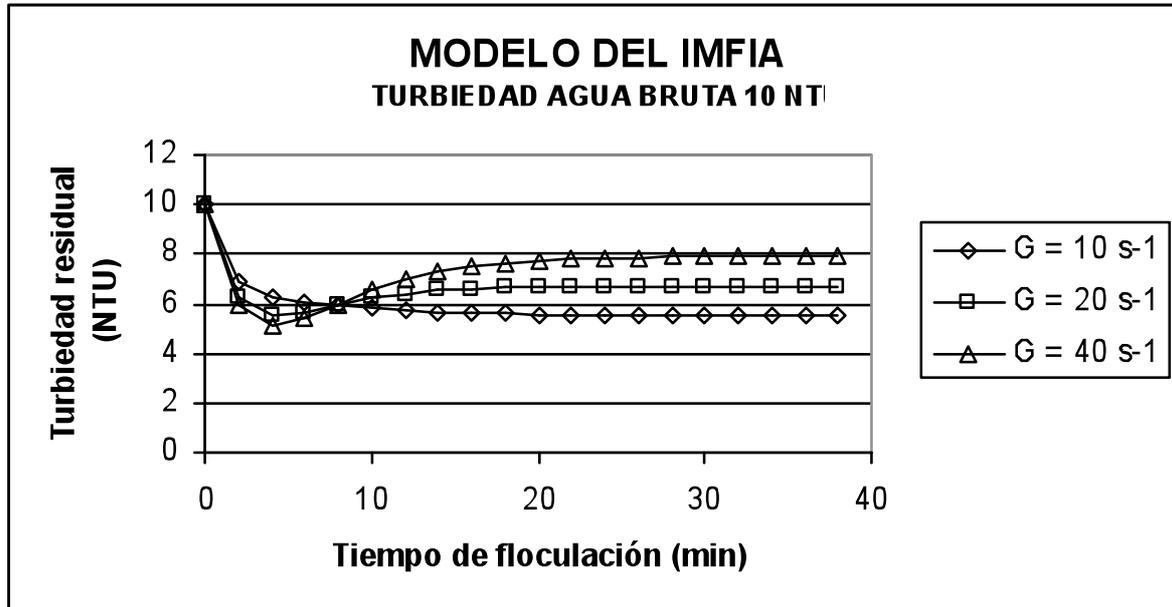


Figura N° 3: Resultados del modelo matemático para agua de 10 NTU de turbiedad

Resultados del tratamiento estadístico de las curvas de floculación

La aplicación del test 1-Factorial dio como resultado que, para tiempos de floculación entre 15 y 30 min, en todos los casos se acepta la hipótesis nula H_0 (resultados homogéneos), lo cual permite afirmar con un 95% de confianza, que las turbiedades del agua sedimentada que se obtienen para los diferentes tiempos de floculación, pueden considerarse independientes de dicho parámetro.

Estos resultados reafirman lo previsto por el modelo matemático de floculación, en función de que todas las curvas elaboradas, tienen un comportamiento similar a la curva de la figura N° 3, sin mayor incidencia del tiempo de floculación sobre la turbiedad residual del agua sedimentada, en prueba de jarras.

Esta situación no se contradice con lo que habitualmente sucede en la práctica, ya que para tiempos de floculación mayores que el óptimo, diversos autores afirman que los resultados no desmejoran en forma apreciable (Argaman y Kaufman, 1970, Di Bernardo, 1993). Se presenta a continuación el análisis estadístico efectuado a uno de los ensayos realizado:

Floculación (min)	Turbiedades residuales (NTU)				
	$G = 4,5 \text{ s}^{-1}$	$G = 14 \text{ s}^{-1}$	$G = 35 \text{ s}^{-1}$	$G = 60 \text{ s}^{-1}$	$G = 90 \text{ s}^{-1}$
5	14,0	10,0	10,0	15,0	16,0
10	14,0	9,8	10,5	12,0	14,0
15	13,5	8,9	9,5	10,0	14,0
20	12,0	8,1	8,2	8,5	15,0
25	12,0	7,5	7,9	7,9	15,0
30	15,0	7,7	7,8	8,0	14,0
Corrección (FC) = 3758,7					
de ANVA	SC	g.l	CM		
Errores	32,4	5	6,5		
Residual	205,2	24	8,6		
Total	237,6	29			
Estadístico (E)	F(gl.trat,gl.erro r), $\alpha=0.5$	Resultado	Estadístico (E)		
0,76	2,62	Se acepta H_0	0,76		

Tabla N° 2: Cuadro de aplicación del test 1-Factorial para el ensayo de floculación de fecha 25/06/03). Agua brava: turbiedad 21 NTU, alcalinidad total 102 mg/l CaCO₃, pH 7,7, temperatura 14°C, dosis de sulfato de aluminio: 50 mg/l

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la calidad del agua floculada no sería afectada en forma significativa, si se reduce el tiempo de floculación desde 30 a 20 minutos. Por lo tanto, y dado que hidráulicamente no existen impedimentos, se podría aumentar un 50 % el caudal de los floculadores, sin afectar la calidad del agua sedimentada, y solamente sería necesario construir unidades de sedimentación adicionales, para llevar la capacidad de tratamiento a los niveles estimados por el Plan Director.

En consecuencia, se decidió no construir una nueva unidad de floculación mecánica, ya que tomando como base el presente análisis, se concluyó que se podrían utilizar los floculadores existentes para tratar un caudal de hasta 23.000 m³/h.

Posteriormente, técnicos de OSE elaboraron el proyecto ejecutivo de dos sedimentadores convencionales, utilizando la capacidad ociosa de floculación. Las obras fueron licitadas en el año 2004, y actualmente están siendo ejecutadas.

Se entiende que la evaluación de instalaciones existentes, construidas muchas de ellas sobredimensionadas en función del conocimiento técnico de la época, permitiría optimizar muchos proyectos de ampliación de infraestructuras de potabilización de aguas, a través de un aprovechamiento integral de las instalaciones. El presente trabajo pretende ser solo una muestra de las actividades que pueden desarrollarse, aprovechando el conocimiento científico y técnico propio, puesto al servicio de una empresa Pública operadora de Servicios de Agua Potable y Saneamiento en la República Oriental del Uruguay.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANDREU-VILLEGAS, RAFAEL; LETTERMAN RAYMOND; "Optimizing flocculator power input", Journal of the Environmental Engineering Division, páginas 251-262, Abril 1976.
2. ARBOLEDA VALENCIA, JORGE; "Teoría y práctica de la purificación del agua", McGraw-Hill Book Company, Inc., tercera edición, tomo 1: páginas 199-362, ISBN: 958-41-0012-2, 2000.
3. ARGAMAN, KAUFMAN, Turbulence and flocculation, Journal of Sanitary Engineering Division, Abril 1970.
4. AZEVEDO NETTO, J. (ET AL.); "Técnica de abastecimento e tratamento de água", volumen 2, páginas 131-167, Convenio CETESB / ASCETESB, tercera edición. 1987.
5. COCK W., P.BLOM, G.VAES, J.BERLAMONT, The feasibility of flocculation in a storage sedimentation basin, Water Science and Technology, Vol. 39, 1999.
6. DI BERNARDO, LUIZ; "Métodos e técnicas de tratamento de água", Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, volumen 1, 481 pp, ISBN: 85-7022-111-8, 1993.
7. DI BERNARDO LUIZ, Ensayos de tratabilidade de água e dos residuos gerados em estacoes de tratamento de água, Rima Editora, páginas 83-172, 2002.
8. HUDSON, HERBERT E.; "Water clarification processes: practical design and evaluation", Van Nostrand Reinhold Company, 353 pp., ISBN: 0-442-24490-8, 1981.
9. KISLENKO, A. BERLIN, A. MOLDOVANOV, Suspension flocculation by partially hydrophobized polyacrylamide and kinetic model of flocculation, Chemical Engineering Science, 1993.
10. LETTERMAN RAYMOND D. ET AL., "Water quality and Treatment", sección 6, McGraw-Hill Book Company, Inc., quinta edición. ISBN: 0-07-001540-60, 1999.
11. LÓPEZ JULIETA, RÍOS DANILO, GÓMEZ CECILIA, LANFRANCONI ARMANDO, BROGGI GIULIANA, PLOTTIER DANIELA, Formulación alternativa de las ecuaciones utilizadas para representar el proceso de floculación en potabilización de aguas, Congreso Nacional de AIDIS Uruguay, Montevideo, 2001
12. LÓPEZ JULIETA, RÍOS DANILO, GÓMEZ CECILIA, LANFRANCONI ARMANDO, BROGGI GIULIANA, PLOTTIER DANIELA, Evaluación del efecto conjunto de floculadores mecánico e hidráulico operando en serie sobre la turbiedad del agua sedimentada en una planta de potabilización, Congreso Nacional de AIDIS Uruguay, Montevideo, 2001
13. RICHTER C.; AZEVEDO NETTO, J.; "Tratamento de água: tecnologia autorizada", páginas 86-118, Editora Edgard Blücher Ltda. ISBN: 85-212-0053-6, 1998
14. RÍOS DANILO, LÓPEZ JULIETA, GÓMEZ CECILIA, LANFRANCONI ARMANDO, BROGGI GIULIANA, PLOTTIER DANIELA, Aplicación de las ecuaciones alternativas utilizadas para representar el proceso de floculación como herramienta de apoyo en la operación de plantas potabilizadoras, Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Cancún, México, 27 al 31 de octubre de 2002
15. RÍOS DANILO, LÓPEZ JULIETA, GÓMEZ CECILIA, LANFRANCONI ARMANDO, BROGGI GIULIANA, PLOTTIER DANIELA, Optimización del proceso



de floculación en plantas que operan con gradientes de velocidad escalonados, Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Cancún, México, 27 al 31 de octubre de 2002