



**FILTROS DE LAVADO MUTUO LEVEMENTE PRESURIZADOS.
PUESTA EN MARCHA Y EVALUACIÓN DE LA UPA 4000 DOLORES.**

Ing. Amondarain, Alejandro⁽¹⁾ Ing. Castagnino Griselda ⁽²⁾ Ing. Quim. Garat Saúl ⁽²⁾ Ing. Iriburo Alejandro ⁽²⁾

(1) OSE. Gerencia Oeste. Jefatura Técnica Departamental de Soriano.

(2) OSE. Gerencia de Producción. Unidad Agua Potable.

Dirección:

Calle: Carlos Roxlo 1275

Ciudad: Montevideo

Uruguay

CP: 11200

Tel: 598 (2) 19521947

Fax: 598 (2) 19521947

e-mail: eferro@ose.com.uy

RESUMEN

Históricamente el servicio de agua potable de la ciudad de Dolores, Soriano, presentaba serias dificultades asociadas principalmente a la calidad de la fuente utilizada. Hasta el año 1995, el abastecimiento era realizado a partir de perforaciones ubicadas en la zona urbana y periferia de la ciudad. Con las mismas se alumbraba agua del acuífero Dolores, que subyace en esa zona. Con un proceso de desinfección mediante la incorporación de cloro en las perforaciones, se producía el agua potable para la población.

Dada la contaminación por nitratos del agua subterránea y las repercusiones en la calidad del agua elevada, OSE optó por realizar un cambio de fuente. En este sentido, fueron instaladas en 1995 dos UPAs 200 (30 m³/h de producción) que en 1997 fueron sustituidas por una UPA 2000 (100 m³/h de producción) cuya toma se ubica en el río San Salvador. Para atender los picos de la demanda, se debía encender el bombeo desde una de las perforaciones. Esta situación aun no era satisfactoria para OSE por aspectos operativos y por la calidad del agua producida.

En virtud de lo expuesto, OSE resolvió aumentar un 80% la capacidad de la usina de tratamiento de agua superficial. A tales efectos, fue desarrollado el modelo UPA 4000 donde se duplica el área de sedimentación y se incorporan filtros de tasa declinante escalonada y lavado mutuo, que funcionan levemente presurizados (2,2 m.c.a). El particular diseño, con un tanque de almacenamiento de agua sedimentada ubicado sobre uno de los filtros, para complementar los lavados cuando la planta opera con bajos caudales, permitió reducir el tamaño de los mismos, manteniendo las condiciones hidráulicas para su correcto funcionamiento mediante una tubería de ventilación.

La UPA 4000 fue puesta en operación en enero de 2007. En este trabajo se presentan las características de los filtros incorporados y se describen las acciones realizadas para iniciar la producción de agua con esta planta manteniendo el servicio de abastecimiento de agua a la ciudad. Los distintos escenarios de demanda, llevaron a que se evaluara y ajustara el funcionamiento de la planta con varios caudales. En tal sentido se analizó el lavado mutuo, el nivel de vertido y los cambios en la operativa de la planta que sin dudas redundaron en una notoria mejora en la calidad de agua producida.

Actualmente la UPA 4000 de Dolores tiene un sistema automatizado de operación de filtros. El lavado mutuo es comandado de esta forma mediante esta lógica. El sistema cuenta con la alternativa de operación manual de la batería de filtros en caso que sea necesaria una intervención especial.

Finalmente, la usina de Dolores que aquí se presenta incorporó un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a la Norma UNIT-ISO 9001:2000 que fue certificado en octubre de 2007 por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.

Los excelentes resultados obtenidos con esta ampliación de la UPA 2000 y la fácil operación de la misma, llevó a que la Administración la esté considerando como una alternativa viable para incrementar la producción de agua potable en otras localidades del país.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Dolores, ubicada en el departamento de Soriano de la República Oriental del Uruguay, tiene una población de 15.753 habitantes (censo 2004).



El servicio de abastecimiento de agua potable cuenta con 5888 conexiones según datos de febrero 2008. El sistema de distribución tiene 86700 metros de red, de los cuales el 17% es tubería provisoria de polietileno, 25% es tubería de PVC, el 28% es de fibrocemento y el 30% restante es de hierro fundido. El 65% de las tuberías son de 75 mm de diámetro; el 18% tiene un diámetro menor y son provisorias o de PVC.

El abastecimiento de agua fue realizado hasta el año 1995 a partir de perforaciones ubicadas en la zona urbana y periferia de la ciudad. Con las mismas se alumbraba agua del acuífero Dolores, que subyace en esa zona. Con un proceso de desinfección mediante la incorporación de cloro en las perforaciones, se producía el agua potable para la población.

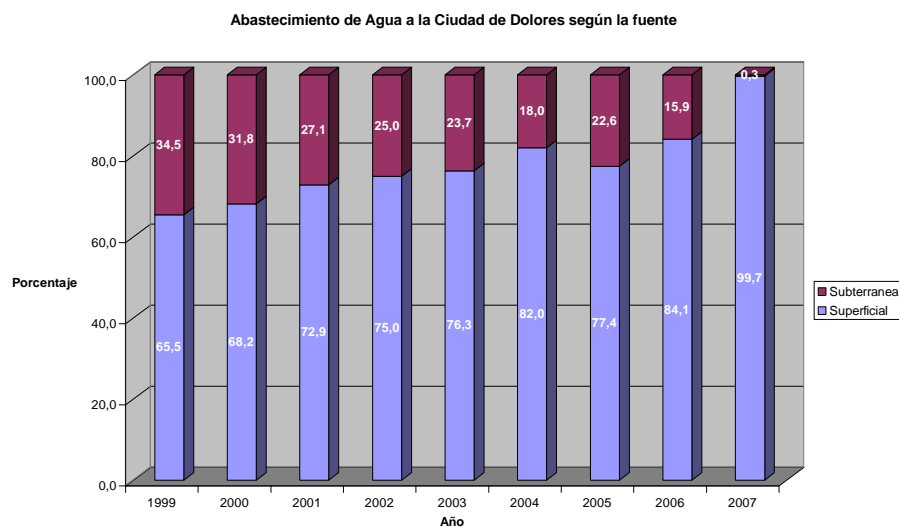
En 1995 fueron instaladas dos UPA 200 (30 m³/h de producción) que en 1997 fueron sustituidas por una UPA 2000 (100 m³/h de producción) cuya toma se ubica en el río San Salvador. Para atender los picos de la demanda, se debía encender el bombeo desde las perforaciones. A modo de ejemplo, en 1999 el sistema estaba operando con nueve perforaciones en funcionamiento, con un caudal promedio anual de aproximadamente 53 m³/h que representaba el 34,5% del total de agua elevada.

La alternativa para evitar el riesgo de incorporación de nitratos al sistema, era utilizar únicamente la fuente de agua superficial, lo que implicaba la ampliación de la capacidad de la planta.

El modelo UPA 4000, ampliación de la UPA 2000, fue desarrollado por la Gerencia de Producción bajo la dirección del Ing. Danilo Ríos. En su diseño el aumento de la capacidad de tratamiento se asegura duplicando el área de sedimentación e incorporando filtros de tasa declinante escalonada y lavado mutuo, que funcionan levemente presurizados (2,2 m.c.a). De esta forma se logró aumentar la capacidad de producción en un 80 %, pudiendo obtener una producción máxima de 180 m³/h. El sistema de lavado de estos filtros, implica un ahorro de energía eléctrica en la medida que fue eliminado el equipo de bombeo previsto a tales efectos.

La UPA 4000 de la ciudad de Dolores, fue puesta en marcha los primeros días de enero de 2007, fecha en que las perforaciones fueron retiradas del sistema.

Con los cambios de fuente realizados, se redujo el aporte de agua subterránea, pasando de un promedio anual de 34,5% en 1999 a 0,3% en el 2007 como se observa en el gráfico siguiente:



Con este cambio en la usina, se mejoró notoriamente la calidad de agua elevada, apeándose en todo momento a la Norma Interna de Calidad de Agua Potable, que entró en vigencia en marzo de 2007.

OBJETIVOS Y METAS

El objetivo de este trabajo es presentar:

- Las características de los filtros incorporados.
- La descripción de las acciones realizadas para iniciar la producción de agua manteniendo el suministro a la ciudad.
- La evaluación y ajuste del funcionamiento de la planta.
- La evaluación del lavado mutuo, el nivel de vertido y la mejora de la operativa de la planta con el nuevo diseño ejecutado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS

La ampliación de la planta de tratamiento de agua fue diseñada para un caudal comprendido entre 100 m³/h y 180 m³/h. Se construyeron cinco filtros en chapa de acero al carbono de ¼” de 6.35 mm de espesor, de 2.10m de diámetro interior, según se muestra en la Figura 1. El recinto de filtración es cerrado, de 2.7m de altura, de los cuales 0.6 metros corresponden al espacio existente entre el falso fondo y el fondo real. Se construyeron dos “bocas de hombre”, una ubicada por debajo del falso fondo y la otra por encima del manto filtrante. En la cara superior de los filtros, se cuenta con una “tapa de inspección” de apertura rápida de 150 mm de diámetro, para efectuar operaciones de rastrillado periódico de la superficie de los mantos y mediciones de expansión.



Figura 1.- Vista de filtros, UPA 2000 al fondo.

encima del falso fondo, permitiendo una expansión de hasta 50% del manto durante el lavado. La canaleta se vincula al exterior por medio de una brida única de 200mm, donde se conectan las tuberías de ingreso de agua sedimentada (D=200mm) y de descarga de agua de lavado (D=200mm).

La salida del agua filtrada es de 200 mm de diámetro y conecta a un múltiple recolector de 300 mm de diámetro, que conduce la totalidad del agua filtrada hacia el vertedero de control común a los cinco filtros, cuya cota mínima está ubicada a 70 cm por encima del coronamiento de la canaleta de lavado. El vertedero es regulable, de modo que su cota puede incrementarse hasta un máximo de 1,20 m por encima de las canaletas de lavado, permitiendo aumentar la carga disponible para el lavado a contracorriente.

Sobre uno de los filtros se colocó un tanque de 10 m³ para almacenamiento de agua sedimentada, destinado a completar el caudal requerido para el lavado de una unidad, cuando la planta se encuentra operando con bajos caudales.

El área de filtración total es de 17,3 m², el falso fondo está constituido por boquillas de polipropileno y se colocaron 180 por filtro. El manto soporte tiene 8 cm de espesor, la mitad conformado por grava de 3 a 6 mm y la otra mitad con grava de 1.5 a 3 mm. El manto filtrante es mixto, formado por 10 cm de arena de T.E. 0.57mm y C.U. 1.7 y por 80 cm de antracita de T.E. 0.78mm y C.U. 1.7.

La altura total del manto soporte y filtrante alcanza los 98 cm.

La canaleta de recolección de agua de lavado es de 0,4 m de ancho y 0,3 m de alto y su piso está ubicado 1,50 m por



Figura 2.- Tuberías amarillas de ingreso de agua decantada a los filtros y tubería azul, de recolección de agua filtrada



OPERACIÓN DE LA BATERÍA DE FILTROS

En el tanque ubicado sobre uno de los filtros fue colocado un sensor de nivel de agua, suficiente para la operación de la batería debido a que las unidades funcionan con una misma pérdida de carga. También fueron colocados actuadores eléctricos en las válvulas de descarga de agua de lavado, válvulas de ingreso de agua sedimentada y válvulas de filtrado a desagüe.

Mediante la instalación de un sistema automatizado de operación de los filtros, se realiza el lavado de uno de los filtros cuando se alcanza el nivel máximo de operación o cuando la carrera de filtración es de 48 horas. El control horario de la turbiedad de agua filtrada realizada a cada unidad, puede dar lugar a un lavado de filtro que será iniciado por el operador, en la medida que no se encuentran instalados turbidímetros en línea. Precisamente, en la terminal de diálogo del sistema, es posible definir la secuencia de lavado de los filtros, el tiempo de lavado y el tiempo de filtrado al desagüe.

Cuando se inicia el lavado de un filtro, se realiza una operación de válvulas de forma tal que se depresuriza el sistema, bajando el nivel de agua del filtro a lavar desde la cota de vertedero hasta la cota de borde superior de las canaletas, por donde el agua contenida en el filtro se vierte al desagüe. Esta modificación de cargas, genera una inversión del flujo en esa unidad, que comienza a recibir el agua filtrada de las cuatro unidades restantes, a contracorriente, produciendo el lavado.

La tasa de diseño del lavado es de 0.7 m/min. Considerada el área de un filtro, de 3.46 m², el caudal de lavado debería ser de 2.42 m³/min, lo que equivale a 145 m³/h. En tal sentido, cuando la planta está funcionando con un caudal de 100 m³/h, para el lavado se debe aportar agua desde el tanque elevado. Esto no será necesario en el caso que el caudal de la planta sea superior a los 145 m³/h.

PUESTA EN MARCHA

La puesta en marcha de la UPA 4000, se llevó a cabo entre diciembre de 2006 y enero de 2007. Las maniobras realizadas apuntaban a mantener el servicio de abastecimiento de la ciudad de Dolores, en un período de demanda elevada. En una primera etapa se estableció una conexión provisoria entre los filtros de la UPA 2000 y los nuevos filtros permitiendo de esta manera mantener la filtración con los filtros existentes hasta que los nuevos estuvieran en condiciones de ser habilitados para el filtrado al consumo. Una vez habilitados los filtros, se procedió como segunda etapa al vaciado de los filtros de la UPA 2000 para la construcción de un segundo módulo de sedimentación. La etapa final consistió en realizar la conexión definitiva entre el canal de agua filtrada y los nuevos filtros.

La habilitación de los filtros tuvo varias etapas: (i) lavado individual de cada unidad; (ii) verificación del autolavado con medidas de expansión del lecho y velocidad ascensional; (iii) desinfección de cada uno de los filtros; (iv) filtrado al depósito de agua clara una vez alcanzados los valores de turbiedad y cloro residual aceptables.

(i) Lavado de cada unidad: esta operación fue realizada llenando por primera vez cada uno de los filtros, con un caudal bajo, de modo de permitir la salida del aire contenido dentro del mismo. Una vez llenado, se inició el filtrado a desagüe. Se realizaron medidas periódicas de turbiedad. Cuando la misma alcanzó valores inferiores a 1.5 NTU, se suspendió el filtrado a desagüe. Esta misma operación se repitió para cada una de las cinco unidades. El tiempo que llevó esta operación fue de una hora por filtro.

(ii) Verificación del autolavado: la planta de tratamiento fue puesta en operación con un caudal de 115 m³/h. Se realizaron las maniobras de válvulas de modo de lograr el lavado mutuo de filtros. Se midió la expansión del lecho que llegó al 50% y la velocidad de lavado alcanzada fue de 54 cm/min. Esta operación se repitió en cada uno de las unidades. La cota de vertedero no fue alcanzada en ningún momento.

(iii) La desinfección de cada filtro fue realizada con la aplicación de 15 litros de cloro con una concentración de 100g/l y se mantuvo 2 horas de contacto.

(iv) Inicialmente se obtuvo agua para filtrado al desagüe con una turbiedad de 1.6 NTU y 3.5 ppm de cloro residual. A los diez minutos, se obtuvo una turbiedad de 0.54 NTU y 0.2 ppm de cloro residual. En ese momento se inició el filtrado hacia el depósito de agua clara.



Durante las doce horas siguientes a la puesta en operación de los filtros, se realizó un control estricto de los parámetros para definir la carrera de filtración. Con un intervalo de 30 minutos, fueron realizados análisis de turbiedad en el vertedero, que recoge el agua proveniente de los cinco filtros. En la primera hora se obtuvo un valor de 0.52 NTU. A la hora siguiente, este valor aumentó a 1.2 NTU. Se analizó la turbiedad de cada una de las unidades y se observó que la misma variaba entre 1.0 NTU y 1.5 NTU. En virtud de estos resultados, se procedió a un nuevo lavado de filtros. Una vez obtenido un valor de turbiedad menor a 1.0 NTU en el vertedero, se comenzó el filtrado al depósito.

La variación de calidad obtenida en planta al cabo de 12 horas de operación, se resumen en la tabla siguiente:

	Puesta en operación de los filtros					12 horas de funcionamiento				
	pH	Temp (°C)	Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	Cloro	pH	Temp (°C)	Turbiedad (NTU)	Alcalinidad	Cloro
Agua Bruta						7.6	26	4.35	240	
Decantador			0.74					0.80		
Agua Filtrada			0.46		2.1			0.28		0.9
Agua Elevada	7.0	27	1.09	180	1.2	7.2	25	0.27	180	1.2

A partir de estos resultados, se mantuvo la planta en funcionamiento. Se adoptó como criterio de lavado de una unidad, el aumento del nivel en el tanque elevado sobre el filtro N°3 y la disminución de la calidad del agua filtrada, buscando obtener en todo momento un valor inferior a 1.0 NTU. Se estableció que los filtros serían igualmente lavados con un espaciado de 6 horas, por lo que la carrera quedó fijada inicialmente en 30 horas.

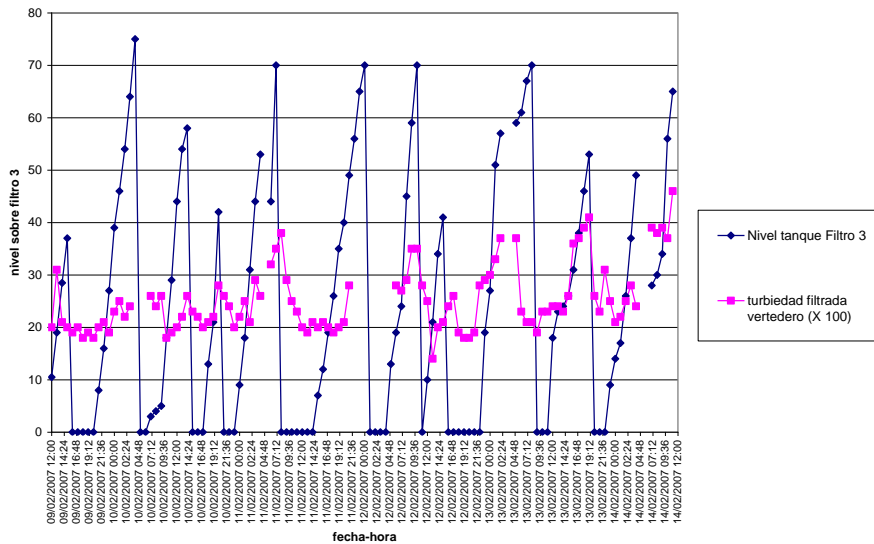
EVALUACIÓN Y AJUSTE DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

Una vez operativa la UPA 4000, se realizaron distintas evaluaciones para definir los ajustes de operación necesarios. Una vez realizadas las mediciones de velocidad de lavado y expansión del lecho en el filtro se verificó la efectividad del lavado y por lo tanto no fue necesario modificar la cota del vertedero. Mediante las mediciones de calidad de agua de lavado y filtrado al desagüe se ajustaron los tiempos óptimos de las distintas fases. Finalmente se realizó un seguimiento del funcionamiento de la batería de filtros, a lo largo del tiempo, de modo de evaluar la variación de turbiedad de los filtros a lo largo de las carreras y la duración de las mismas.

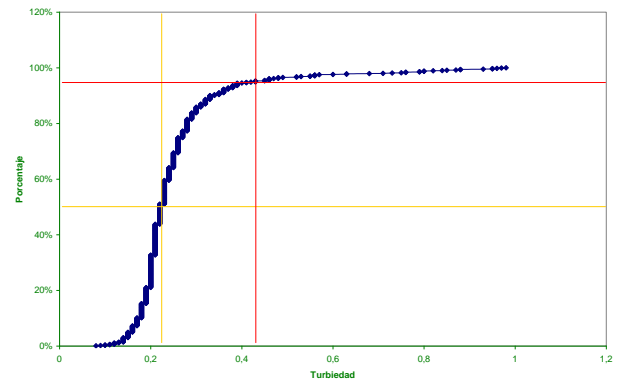
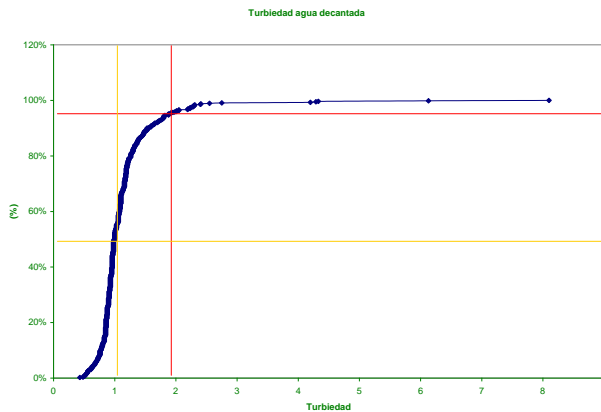
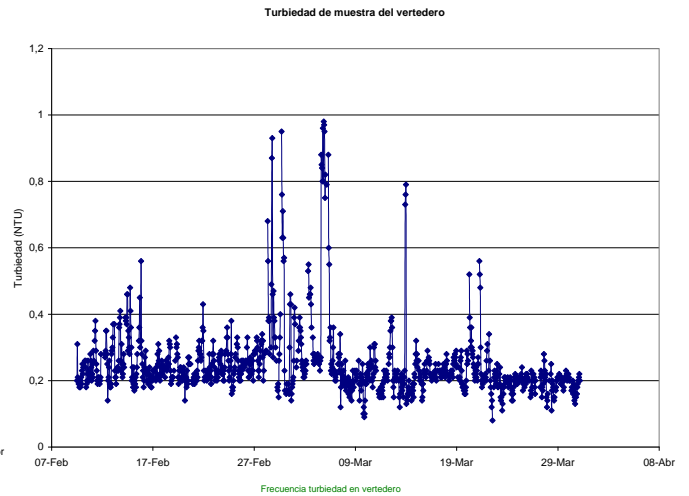
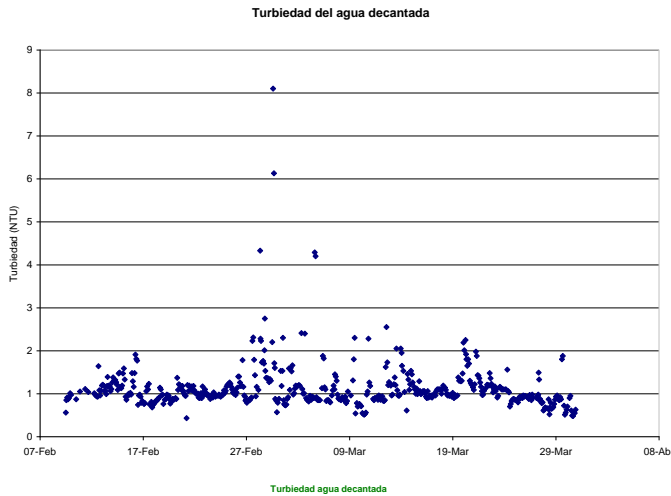
Se presenta en la Figura siguiente los resultados obtenidos en el monitoreo de pérdida de carga y calidad de agua filtrada, en la batería de filtros entre los días 9/02/07 a 14/02/07, al mes siguiente de la puesta en marcha de la planta y con un caudal de producción de 125 m³/h. En esa época aun no estaba implementado el sistema de control automatizado de los filtros, por lo que el lavado era decidido por el operador. Se observa que el aumento de turbiedad no fue en ninguno de los casos el motivo del lavado, dado que no alcanzó el valor de 1 NTU de turbiedad. Los mismos fueron desencadenados por el incremento en la pérdida de carga en el sistema, hasta los valores admitidos. Los filtros fueron lavados en forma sucesiva, con un espaciado entre lavados de 6 a 18 horas, arrojando carreras de filtración entre 51 y 60 horas, superiores a la recomendación de 48 horas.



perdida de carga en los filtros



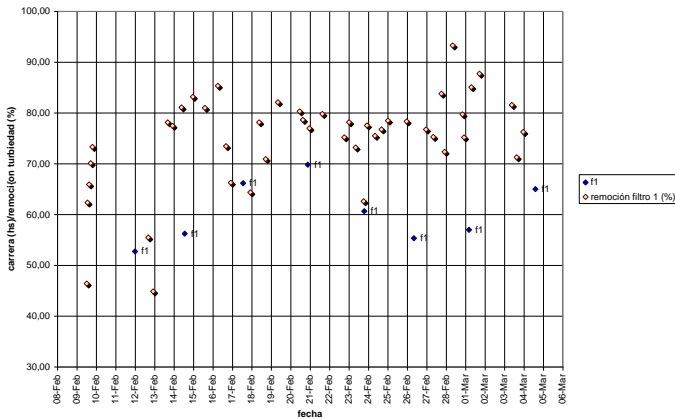
Se presenta en las Figuras siguientes, los valores de turbiedad de agua decantada y filtrada (proveniente de los cinco filtros, tomada en el vertedero), registrados en el período comprendido entre el 9/02/07 y el 31/03/07. El agua bruta en ese período presentó un valor medio de 23,7 NTU, siendo el máximo de 143 NTU y un mínimo de 2,1 NTU.



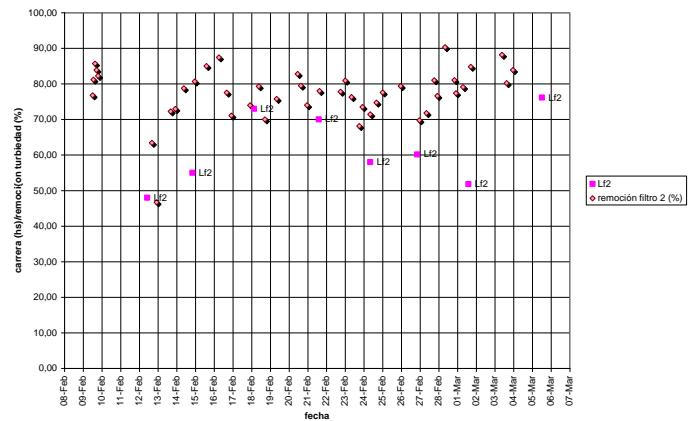


Se observa en las curvas presentadas, que en el 95% de los casos la turbiedad del agua decantada fue inferior a 2 NTU y la turbiedad del agua filtrada medida en el vertedero, inferior a 0.5 NTU, trabajando con una tasa de 173 m³/m²/día (los filtros de doble capa admiten una tasa entre 240 a 600 m³/m²/día, Richter,1995). El 50% del tiempo, el valor de la turbiedad del agua decantada fue de 1 NTU y en el caso del agua filtrada fue de 0.22 NTU. La remoción media de turbiedad es de 78%. Se analizó la remoción de turbiedad lograda por cada uno de los filtros durante el período de tiempo considerado, obteniendo los resultados que se presentan en los gráficos siguientes.

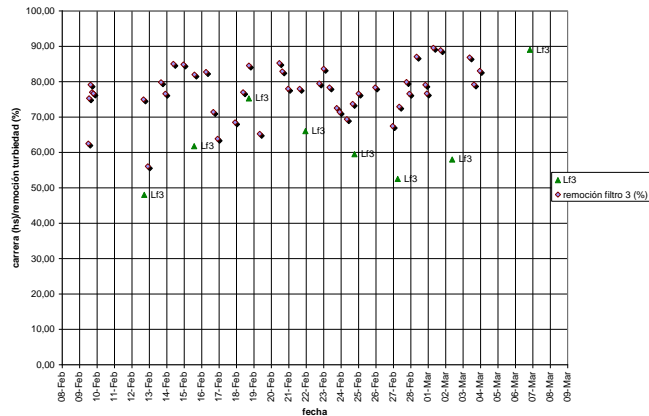
funcionamiento filtro N°1 (duración de las carreras y % remoción turbiedad)



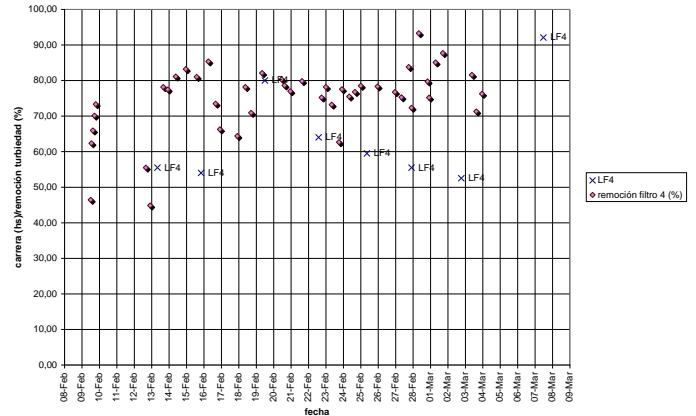
funcionamiento filtro N°2 (duración de las carreras y % remoción turbiedad)



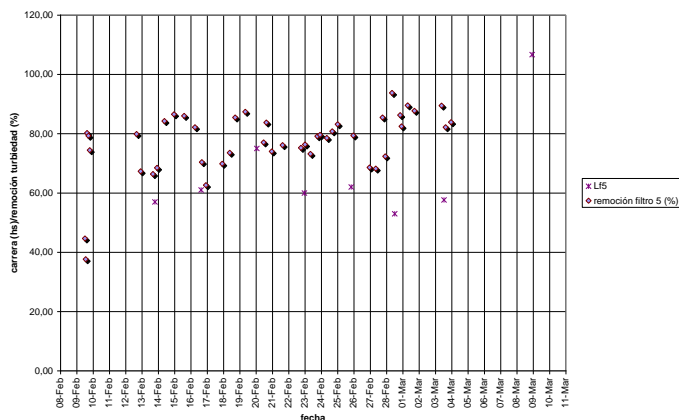
funcionamiento filtro N°3 (duración de las carreras y % remoción turbiedad)



funcionamiento filtro N°1 (duración de las carreras y % remoción turbiedad)

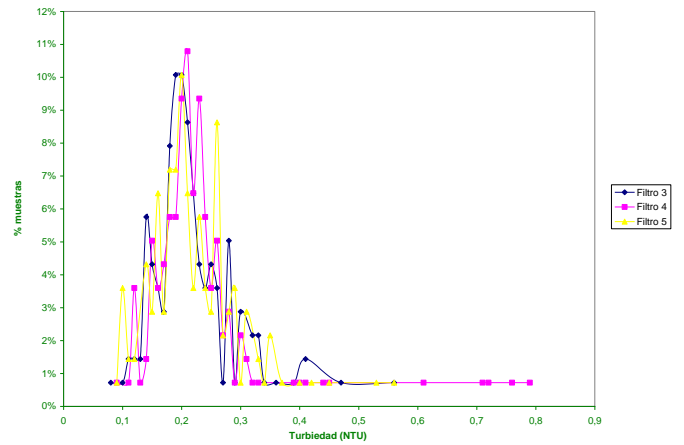
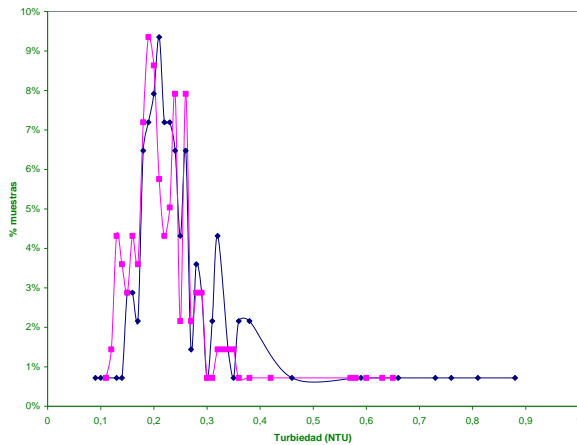


funcionamiento filtro N°1 (duración de las carreras y % remoción turbiedad)



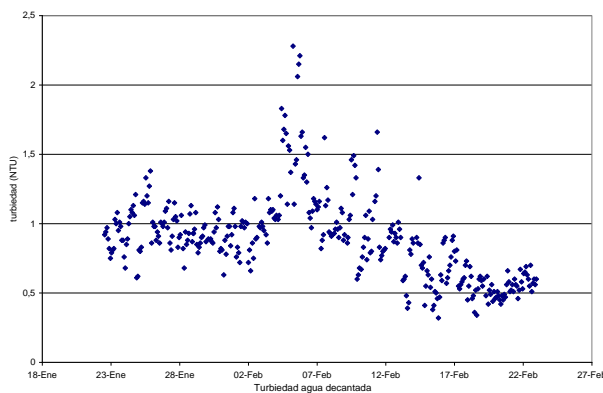


Para cada uno de los filtros se analizó la distribución de los valores de turbiedad medidos. En tal sentido, se observa que la mediana de los valores de turbiedad en el caso del filtro N°1 es 0.23NTU, en los filtros N°2, 4 y 5 es 0.21 NTU y en el filtro N°3 es 0.20 NTU. Se presenta a continuación las gráficas realizadas correspondientes a las turbiedades a la salida de cada filtro.

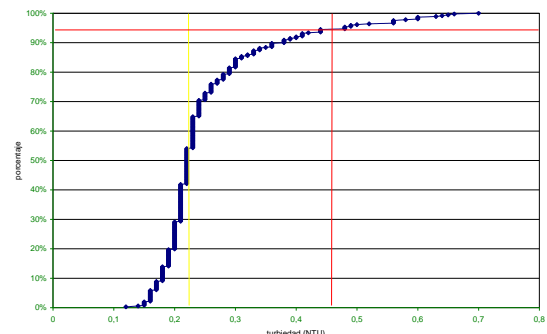
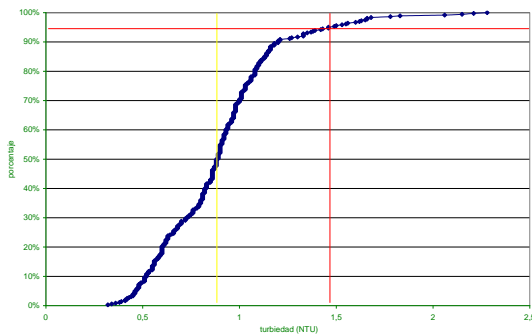
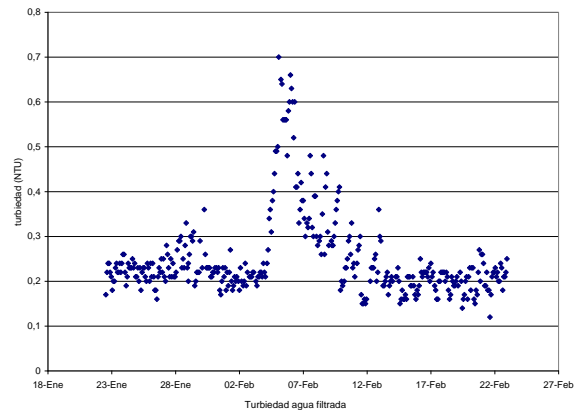


Se presenta a continuación los resultados obtenidos luego de una nueva evaluación, realizada a un año de la puesta en funcionamiento. En el período considerado, el agua bruta presentó una turbiedad media de 4,28 NTU, siendo los valores extremos, 1,28 NTU y 14,6 NTU y el caudal de producción de la planta se situaba en 125 m³/h. De acuerdo al procesamiento de los datos de turbiedad correspondiente al período 22/01/08 al 22/02/08, el 50% del tiempo, se obtuvieron valores de agua decantada inferiores a 1 NTU y de agua filtrada, inferiores de 0.22 NTU; el 95% no se superan los 1.5 NTU en el agua decantada y 0.5 en el agua filtrada. Se puede observar que se han mantenido los resultados obtenidos un año antes, en ocasión de la puesta en marcha, destacándose una mejora en la turbiedad del agua decantada.

Turbiedad del agua decantada

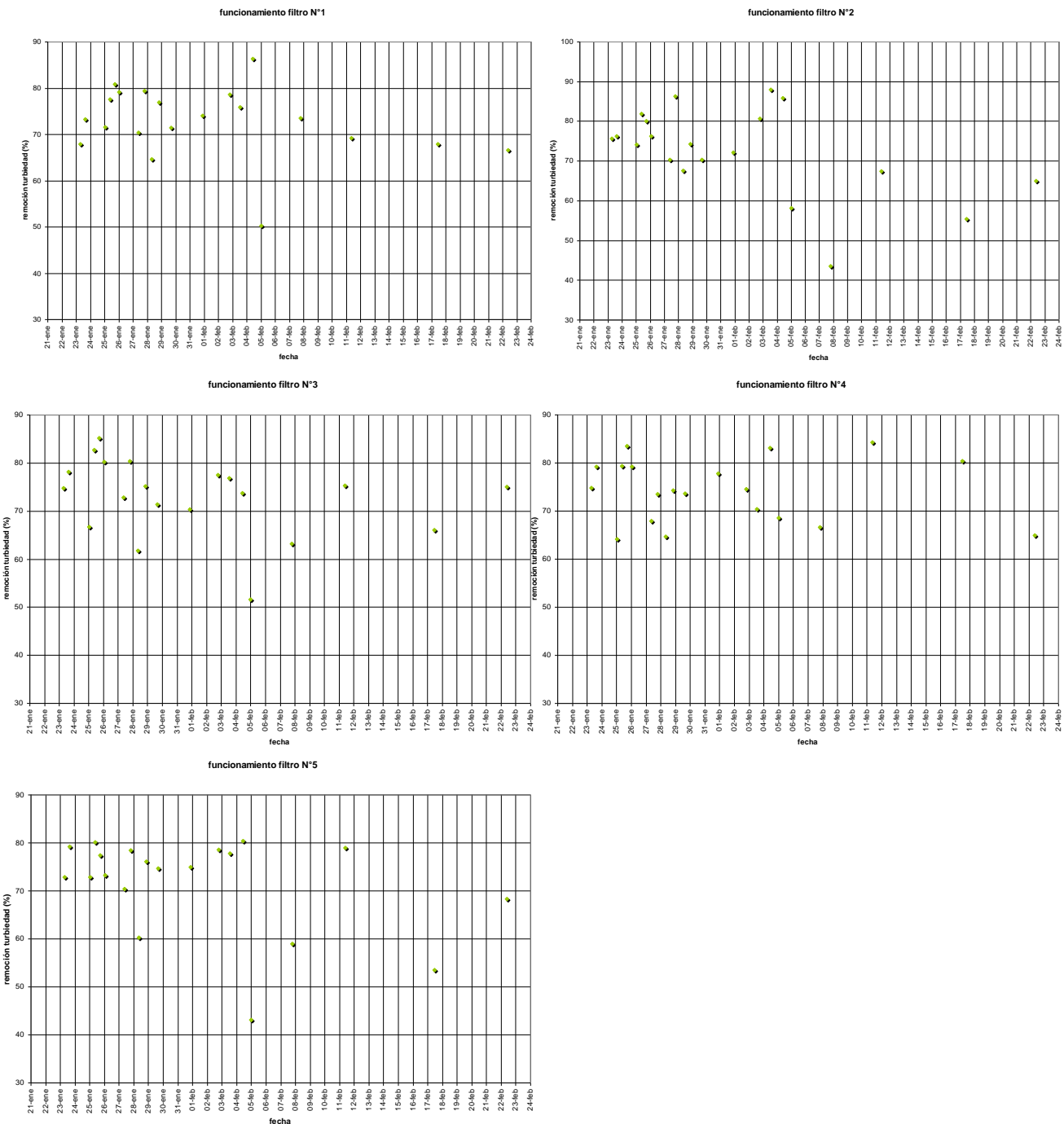


Turbiedad filtrada en vertedero



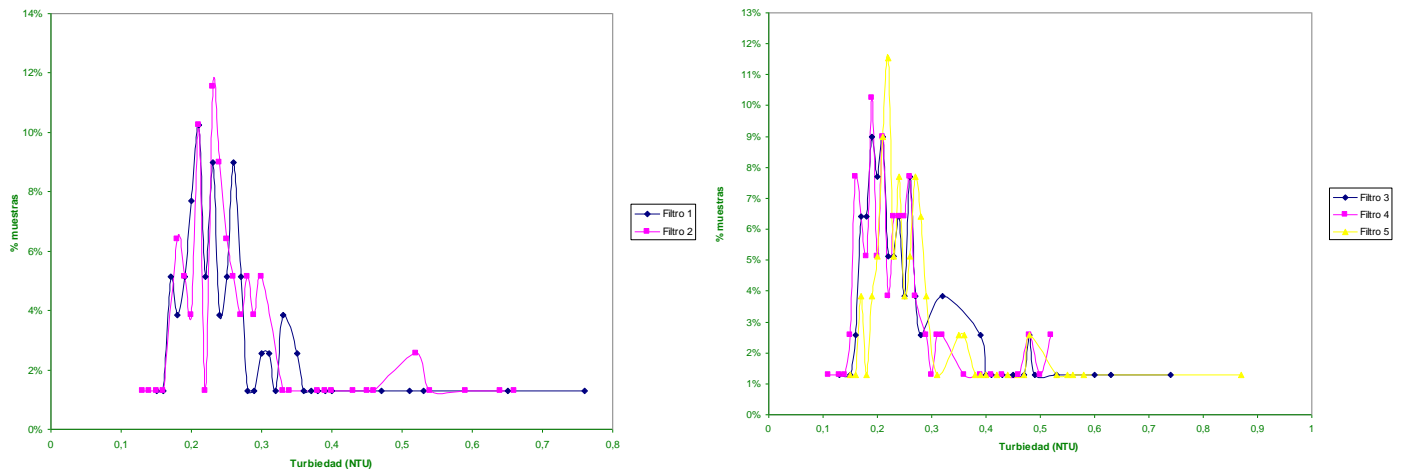


Se destaca que en el período de control realizado al año de la puesta en marcha, el valor máximo de turbiedad de agua decantada fue de 2.3 NTU y de agua filtrada 0.7 NTU, ambos por debajo de los obtenidos anteriormente. Las variaciones obtenidas en las turbiedades se reflejan en la remoción calculada en cada filtro, como se observa en las siguientes gráficas.





Luego de un año de operación, se analizó nuevamente la distribución de valores de turbiedades obtenidas a la salida de cada filtro, con registros correspondientes al período del 22/01/08 al 22/02/08. La mediana del filtro 3 fue de 0,23 NTU, en los filtros 1 y 4 fue de 0,23 y en el caso de los filtros 2 y 5 fue de 0,24. Se presentan a continuación los gráficos correspondientes.



CONCLUSIONES

Conforme a las evaluaciones realizadas tanto en la puesta en marcha de la UPA 4000 así como luego de un año de funcionamiento, sugieren una muy buena respuesta de la planta. La ampliación del sedimentador permitió la obtención de agua decantada con turbiedades menores a 2 NTU. Con estas características, los filtros operando con una tasa de 173 m³/m²/día alcanzaron valores menores a 0,5 NTU en el 95% del tiempo. Luego en ningún momento se superó 1 NTU a la salida de los filtros. Este resultado está dentro de los que establece la Norma Interna de Calidad de Agua, vigente desde marzo de 2007, que establece 1 NTU como valor máximo admisible de turbiedad para el agua elevada.

En virtud de lo expuesto, se verificó que la UPA 4000, concebida como una ampliación de la UPA 2000, la automatización implementada y su fácil operación, llevó a mejorar notoriamente las fluctuaciones de la calidad del agua potable de la ciudad de Dolores. Este nuevo modelo de UPA, por su sistema de lavado mutuo de filtros permite un ahorro energético al no requerir de bomba para el lavado. Asimismo la opción de trabajar con un único depósito sobre uno de los filtros, repercute en un ahorro en la construcción del sistema y un menor gasto de agua durante el lavado.

AGRADECIMIENTOS

- Personal de la usina de Dolores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. O.S.E. Norma Interna de Calidad de Agua Potable, R/D N° 1477/06 del 20/12/06.
2. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO A., Métodos y Técnicas de Tratamiento de Agua, RIMA, 2005.
3. RICHTER, C.; AZEVEDO NETTO, J.; Tratamiento de agua, 1995.