

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE LA LÍNEA DE AGUAS CONSUNTIVAS EN LA ETAP “RIO IREGUA” DE LOGROÑO

Rafael Álvarez

Sección de Proyectos y Obras. Ayuntamiento de Logroño

Eliseo Vergara

Marina Corral

Departamento Ingeniería Mecánica. Área Proyectos de Ingeniería. Universidad de La Rioja

Álvaro Navarro

ANC Génesis de una Invención S.L.P.

Abstract

For the study of the multivariate correlation of the different chemical physical parameters and in the sludge line in a drinking water treatment plant, we have been taking during four years by electronic instrumentation and manuals in accredited laboratory.

The variables analyzed in each phase of the treatment have been 5 in the water entrance to the line of consumptive waters, 5 in the process of mud treatment, 2 in the exit of water of the line, and 5 in the process of mud dehydration.

From the realised statistic analysis diverse mathematical models have been obtained that result in an optimization in the process of treatment of consumptive waters.

One verifies an intense correlation between exit variables, turbidity and aluminum and also enters the variables the entrance: turbidity, flocculation, aluminum and solids in suspension.

On the other hand, certain correlation between the dryness of the sludge and variables of the volume of recirculation and the volume of water of narrow-hipped is verified.

The obtained models can be implemented in package SCADA (Software of Control and Data Acquisition) on the sludge line simulating the qualities of the water and mud at every moment, doing of this tool of optimization and prediction of possible scenes and consequently allows us to act in the treatment of sludge of one more a more efficient form.

Keywords: *Drinking water treatment plant; sludge line.*

Resumen

Para el estudio de la correlación multivariante de los diferentes parámetros físico y químicos en la línea de aguas consuntivas o línea de lodos en una ETAP (Estación de Tratamiento de Aguas Potables) se ha realizado una toma de datos durante 4 años por medio de instrumentación electrónica y medios manuales en laboratorio homologado.

Las variables analizadas en cada fase del tratamiento de las aguas consuntivas han sido 5 en la entrada de agua a la línea de aguas consuntivas, 5 en el proceso de tratamiento de lodos, 2 en la salida de agua de la línea, y 5 en el proceso de deshidratación de lodos.

Del análisis estadístico realizado se han obtenido diversos modelos matemáticos que redundan en una optimización en el proceso de tratamiento de las aguas consuntivas.

Se comprueba una intensa correlación entre variables de salida, turbidez y aluminio y asimismo entre las variables a la entrada: turbidez, floculación, aluminio y sólidos en suspensión.

Por otro lado, se comprueba cierta correlación entre la sequedad del lodo y variables del volumen de recirculación y el volumen de agua de escurrido.

Los modelos obtenidos se pueden implementar en el paquete SCADA (Software de control y adquisición de datos del proceso en continuo) de la línea de aguas consuntivas o línea de lodos simulando las calidades del agua y del lodo en cada momento, haciendo de esto una herramienta de optimización y predicción de escenarios posibles y en consecuencia nos permite actuar en el tratamiento de los lodos de una forma más eficiente.

Palabras clave: ETAP, línea de lodos

1. Introducción

El proceso de tratamiento de la línea de aguas consuntivas (LAC) en la estación de tratamiento de aguas potables (ETAP) consta de dos líneas: la línea de agua y la línea de fangos.

1.1 La línea de agua

La línea de aguas consuntivas (LAC) de Logroño consta de un almacenamiento de aguas para la regulación de caudal en tratamiento, un decantador que clarifica el fango y de una serie de electrobombes que envían el agua tratada a cabecera de la ETAP o bien se envía a una conducción para el riego de los parques y jardines de la ciudad.

La captación formada por dos arquetas de obra de fábrica sirve para realizar el electrobombeo al depósito de homogeneización. Debido a que las dos fuentes de aguas consuntivas se construyen dos arquetas diferenciadas, la arqueta de los lodos decantados y la arqueta aguas consuntivas en el proceso de lavado de filtros. Las purgas y vaciados de los decantadores están comunicadas por unas conducciones e impulsadas las aguas por electrobombes sumergibles hasta el tanque de homogeneización.

Para poder laminar las puntas de los volúmenes de agua consuntiva a tratar en la LAC y dotar a las instalaciones de decantación-espesamiento de un caudal de alimentación constante o controlado, la planta de lodos consta de un tanque de acumulación y homogeneización de las aguas consuntivas.

La homogeneización de las diferentes aguas de tratamiento que se conducen al depósito de homogeneización se consigue por medio de la instalación de tres electroagitadores sumergidos de alta revolución en el giro, convenientemente instalados en el tanque evitando las deposiciones del fango en el mismo. Para evitar el funcionamiento en vacío de los agitadores se instala una boya de nivel de mínimo que ordena su parada de forma eléctrica.

Figura 1: Arqueta de reunión de las aguas consuntivas de la ETAP



Para la alimentación de las instalaciones de decantación - espesamiento existen tres electrobombas sumergibles. Están ubicadas en el interior del tanque de homogeneización y en el trasdosado del muro de hormigón armado divisorio entre el tanque de homogeneización y el equipo de decantación – espesado.

El funcionamiento automático del electrobombeo de alimentación a las instalaciones de decantación - espesamiento se realiza por medio sondas de nivel y la lectura de caudales de las aguas consuntivas.

Para aforar el volumen de aguas que llegan al tratamiento la instalación cuenta con un caudalímetro electromagnético en la conducción forzada entre el bombeo de alimentación y el decantador-espesador.

Mediante la cámara de floculación se consigue la mezcla entre el agua y el polímero floculante por medio de un agitador accionado por un motor eléctrico.

La agitación se realiza mediante dos electrofloculadores lentos con hélice tripala. Se contempla la dosificación de polielectrolito aniónico por provenir las aguas a tratar de una floculación previa basada en sulfato de alúmina y polielectrolito, tanto para las condiciones actuales como para las futuras previsibles, así como para los momentos de baja y alta turbidez.

Figura 2: Tanque de homogeneización



El decantador - espesador es del tipo lamelar con recirculación de fangos por medio de electrobombas externas. El aparato consta de tres zonas diferenciadas:

- Zona pistón o plug
- Zona lamelar
- Zona de espesamiento - almacenamiento

En la zona pistón o plug el agua y el fango provenientes de la cámara de floculación se tranquilizará y se expande preparándose para entrar en la fase de separación sólido - líquido.

En la zona lamelada, aunque en planta las aguas tienen una alta velocidad ascensional, debido a la gran superficie específica (m^2 efectiva / m^2 planta) de las lamelas se consigue la separación sólido-líquido.

Figura 3: Decantador lamelar



En la zona de espesamiento, la inferior del recinto, el fango separado en la zona lamelada cae y se tranquiliza funcionando como un espesador típico de gravedad. En esta zona inferior existe un mecanismo con rasquetas de fondo cuya misión es homogeneizar los fangos y conducirlos en estado espesado hacia el pozo de extracción.

Las aguas consuntivas una vez captadas, homogeneizadas, floculadas y decantadas pasan a un pozo de bombeo, adosado al decantador - espesador, desde donde se restituirán, ó bien a la arqueta de mezcla de la ETAP, ó bien a una arqueta para regar los parques y jardines de la ciudad.

1.2 La línea de lodos

La línea de lodos o fangos de la LAC tiene por objeto extraer y secar los lodos generados en decantación y filtración para reducir los costes de transporte a vertedero controlado y evitar la ocupación de volúmenes extraordinarios que dificultan el almacenamiento en la ETAP aún de forma temporal.

La extracción de lodos de la zona cónica del espesador y su conducción a la deshidratación se efectúa por medio de dos electrobombas de tornillo excéntrico, que aspiran de la poceta central del decantador - espesador los lodos y los envía a las centrifugas.

Antes de introducir el lodo espesado en las centrifugas se acompaña con una dosis de polielectrolito catiónico.

Para la deshidratación del fango espesado la LAC incluye dos centrifugas deshidratadoras. El tiempo de funcionamiento máximo para las condiciones de diseño más desfavorable será

de 10 horas al día, trabajando 5 días a la semana y los sábados media jornada. La sequedad de la torta se obtiene con una sequedad superior al 20 %.

El transporte de fangos deshidratados se realiza mediante una electrobomba de tornillo excéntrico. Ésta a su vez es alimentada por un tornillo transportador que retira los fangos deshidratados procedente de las centrifugas y los conduce hasta una tolva o silo de almacenamiento de lodos de fondo plano y sistema de extracción rotativo instalada en el exterior y junto al edificio de deshidratación.

Una vez que el lodo se ha deshidratado se transporta por medio de un tornillo sinfín hasta una tolva acumuladora para la deposición final en el silo de almacenamiento de lodos.

La instrumentación electrónica y los sistemas de control para el almacenamiento de datos en continuo y la regulación y control del proceso consta de:

- Medidor de pH a la entrada.
- Medidor electromagnético diámetro 250 mm de agua a tratar.
- Medidor electromagnético diámetro 300 mm de agua a restituir.
- Medición de sólidos en suspensión en arqueta de floculación.
- Medidor electromagnético diámetro 125 mm de caudal de fangos recirculados.
- Medidores electromagnéticos diámetro 100 mm de caudal de fangos a deshidratación.
- Medidor ultrasónico de nivel en tolva de fangos (1 ud)
- Equipo portátil tomamuestras para laboratorio
- Autómata programable

2. Materiales y métodos

Las variables adoptadas para el presente trabajo son 12, de los que 5 pertenecen a la fase de entrada de agua a la LAC, 5 al tratamiento de los lodos y por último, 2 a la salida del agua tratada.

Los datos obtenidos pertenecen al intervalo de años, 2005–2007 ambos inclusive. La información se a tomado a partir de medios manuales y automáticos.

Por otro lado se han tomado también las variables del proceso de deshidratación durante los primeros 6 meses en el año 2008.

Para la toma de datos han jugado un papel crucial en la continuidad y solvencia racional las siguientes circunstancias del proceso de tratamiento de las aguas potables. De un lado las limpiezas de decantadores y con ello los volúmenes de fango extraordinario. Y por otro lado las elevadas turbideces del agua a la entrada de la LAC.

Estas dos situaciones junto con las tareas propias de la explotación, reparaciones y conservación de equipos, hacen que la toma de datos se interrumpa y la continuidad genere la toma de datos en fechas posteriores a la paralización de la LAC.

A continuación se muestra el tipo y rango de los valores posibles en cada variable:

Tabla 1: tipo y rango de los valores posibles en cada variable

Fase del proceso	Nombre de la variable	Código de la variable	Rango	Ud de medida
Entrada de agua bruta	Agua bruta	Vol_B	400 – 5.000	m ³ /día
	Turbidez	NTU_B	20 – 4.600	NTU
	Floculación	FLOC_B	5 – 25	ppm
	Aluminio	AL_B	2.000 – 12.000	ppb
	Sólidos sedimentables	SS_B	10 – 1000	ppm
Tratamiento de lodos	Turbidez agua centrifugada	NTU_C	0,25 – 2,00	NTU
	Aluminio agua centrifugada	AL_C	200 – 20.000	ppb
	Sequedad lodo	SeqF	10 – 25	%
	Agua centrifugada	VolSC	1 – 250	m ³
	Recirculación	Recir	5 – 120	%
Salida de agua tratada	Turbidez salida	NTUSC	6,00 – 900,00	NTU
	Aluminio salida	ALSC	10 – 200	Ppb
Deshidratación de lodos	Caudal de poli rotámetro	Qrpolicentr	400 - 1000	l/h
	Caudal de fango	Qfango	0,5 – 1,5	l/s
	Concentración de poli	Cpoli	2,0 – 2,4	g/l
	Dosis de poli	Dpolicentrif	0,200 – 0,600	g/l

2.1 Toma de datos

Los diferentes equipos para la medición de las variables comunes en el proceso de tratamiento de las aguas consuntivas son las siguientes.

Para la medición del caudal y volúmenes de agua y lodo se cuenta en la instalación con caudalímetros electromagnéticos.

Para la medición de los sólidos en suspensión se usa un cono aforado Imhoff.

La medición de la turbidez se realiza en laboratorio. Para ello se emplea un turbidímetro de la marca Hach.

La dosificación de floculante se realiza por medio electrobombas dosificadoras y el control del caudal dosificado se realiza en la nave de máquinas donde se encuentran los rotámetros.

En la determinación de la concentración de aluminio se usa el espectrofotómetro de Absorción Molecular

Para la determinación de la sequedad del lodo una vez deshidratado se cuenta en el laboratorio con los siguientes materiales. Una balanza analítica, un desecador provisto de un desecante calorimétrico y una estufa de desecación a 103–110°C, 3 cápsulas de porcelana.

2.2 Técnicas de análisis estadístico multivariante

La técnica analítica e informática utilizada para el análisis de las 12 variables que describen el comportamiento de la LAC se lleva a cabo por medio de un análisis estadístico multivariante (Peña, D. 2002) y cuyo soporte de cálculo se desarrolla a través de la herramienta informática "R". Este análisis lo componen un grupo de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariantes.

Su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir.

El objetivo perseguido es la toma de decisiones óptimas en el contexto en el que se encuentre teniendo en cuenta la información disponible por el conjunto de datos analizado.

3. Análisis de los resultados

Una vez obtenidos los datos de las 12 variables analizadas durante los tres años objeto de estudio se someten a estudio estadístico obteniendo los siguientes resultados con una clasificación diferenciada.

A partir del estudio multivariante obtendremos los gráficos de correlación entre las variables y sus modelos lineales. Para ello, el programa realizará una clasificación y un análisis con la eliminación de datos dispares o clusters.

Figura 1: Mapa de correlación multivariante



3.1.- Modelos matemáticos

Se estudia la relación de las variables de entrada con la salida y las de la salida con las de deshidratación y se obtienen los siguientes modelos lineales.

Modelos lineales con variables relacionadas entrada – salida

$$\text{VoIB} = 0,2000 \cdot \text{NTUB} - 0,0077 \cdot \text{ALB} - 0,6195 \cdot \text{SSB} + 1.748$$

$$\text{NTUB} = 0,0517 \cdot \text{VoIB} + 94,561 \cdot \text{FLOCB} + 0,0181 \cdot \text{ALB} + 1,015 \cdot \text{SSB} - 740,738$$

$$\text{FLOCB} = 0,002 \cdot \text{NTUB} + 0,005 \cdot \text{SSB} + 5,155$$

$$\text{ALB} = 8,974 \cdot \text{NTUB} - 764,980 \cdot \text{FLOCB} + 53,244 \cdot \text{SSB} + 9729,632$$

$$\text{SSB} = - 0,014 \cdot \text{VoIB} + 0,063 \cdot \text{NTUB} + 15,365 \cdot \text{FLOCB} + 0,006 \cdot \text{ALB} - 44,240$$

Modelos lineales con variables relacionadas salida - deshidratación

$$NTUS = 0,029*ALS - 8,524*SeqF + 146,507$$

$$ALS = 9,940*NTUS - 152,600*SeqF + 3740,500$$

$$SeqF = - 0,002*NTUS - 0,001*VolSC + 16,408$$

$$VolSC = 13,372*SeqF + 0,854*Recir - 230,854$$

$$Recir \sim 0,973*VolSC + 48,818$$

Los modelos entrada-deshidratación el resultado es incongruente, de acuerdo a la experiencia personal del proceso.

4. Conclusiones

De las pruebas realizadas y con el estudio estadístico multivariante practicado se puede concluir:

- Las variables de la entrada son independientes de las variables de deshidratación y salida.
- Las variables de salida presentan una intensa correlación entre ellas mismas y ninguna o nula con el resto de variables.
- Las dosificaciones de polímero al lodo y en floculación deben ser fijas dado que la eficiencia en su aplicación no varía ante diferentes calidades en la calidad del agua consuntiva
- Las variables de deshidratación mantienen entre ellas una correlación baja, destacando la existente entre la sequedad y la turbidez y aluminio en el agua escurrida. También se destaca una relación de baja correlación, 0,44, entre la sequedad y la turbidez del agua bruta.
- Los diferentes niveles de recirculación probados en la LAC no suministran una mejor correlación entre las diferentes variables analizadas.

5. Bibliografía

- Ayuntamiento de Logroño. Estudios de sedimentabilidad y extracción de purgas en decantación en la ETAP río Iregua años 1996, 1998 y 1999. Convenios de colaboración entre el Ayuntamiento de Logroño y el INEM.
- Pavón, B. Pacheco, V.F. & Cárdenas, L.M. Tratamiento de lodos de una planta potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes. Artículo. 2008.
- Cornwell, D. Gestión de residuos de las plantas de tratamiento de agua. Calidad y tratamiento de agua: 997 – 1048. Ed. McGraw-Hill. 2003.
- Cerdeño del Castillo, F.J. Pérez, L. Viabilidad técnica de uso de lodos de Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) en la fabricación de materiales cerámicos para la construcción. Conarquitectura nº 30, pag. 89-92. 2005.

- Degrémont. Manual técnico del agua. Ed. Urmo. ISBN 8430016511. 1979.
- DYTRAS, S.A. Proyecto de construcción de las instalaciones de tratamiento de las aguas consuntivas en la ETAP río Iregua (Logroño). Empresa privada. 2009.
- DYTRAS, S.A. Manual de instrucciones generales de funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento de aguas consuntivas de la ETAP río Iregua. Empresa privada
- Ender + Hauser. Aguas residuales. Medición y automatización. Reinach. 1993. Empresa privada
- Hernández, A., Depuración de aguas residuales, Madrid, Ed Paraninfo. ISBN 9788438001387. 1990.
- HUBER. Espesador de fangos. Catálogo Abril 2007. Empresa privada.
- LABORSUR, S.L. Campaña de muestreos y aforos en las instalaciones de la ETAP río Iregua para la caracterización de las aguas consuntivas. Laboratorio de ensayos. 2010.
- Lothar Hess, M. Espesamiento de lodos: A gravedad y por flotación. Sao Paulo, 1995. Publicación académica.
- Marín Galvín, R., Análisis de aguas y ensayos de tratamiento, Barcelona, Ed GPESA. 1995.
- Martinez Arias, R. El Análisis Multivariante en la Investigación Científica. Ed. La Muralla. 2000.
- Pavón, B. Pacheco, V.F. & Cárdenas, L.M. Tratamiento de lodos de una planta potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes. Ponencia 2008.
- Peña, D., Análisis de datos multivariantes, Madrid. Ed. McGraw-Hill. 2002.
- R Development Core Team. Introducción a R. Versión 1.8.1. Publicación académica. 2000.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Eliseo P. Vergara González
Phone: +34 941299 121
Fax: + 34 941 299 121
E-mail : eliseo.vergara@unirioja.es
URL : <http://www.unirioja.es>