



Control del proceso de deshidratación de fangos en centrífuga de EDAR urbana mediante sistema de visión artificial

La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial (IA) que permite a los ordenadores y sistemas extraer información significativa a partir de imágenes digitales, videos y otras entradas visuales, y tomar medidas o realizar recomendaciones en función de esa información. Si la IA permite a los ordenadores pensar, la visión artificial les permite ver, observar y comprender. Normalmente el control de la calidad del agua de los escurridos de los fangos procedentes de las centrífugas en las estaciones depuradoras se hace de forma visual por el personal operador de planta, por lo que este control sobre el proceso es periódico, pero no continuo. El presente artículo tiene por objeto describir el estudio realizado en la EDAR de l'Escala (Girona) para el control del proceso de deshidratación de fangos en centrífuga, mediante un sistema de visión artificial de los escurridos de la deshidratación.

Palabras clave

EDAR, fangos, proceso biológico, visión artificial, deshidratación.

CONTROL OF THE SLUDGE DEHYDRATION PROCESS IN AN URBAN WWTP CENTRIFUGE USING AN ARTIFICIAL VISION SYSTEM

Computer vision is a field of artificial intelligence (AI) that allows computers and systems to extract meaningful information from digital images, videos, and other visual inputs, and take actions or make recommendations based on that information. If AI allows computers to think, computer vision allows them to see, observe and understand. Normally, the control of the water quality of the sludge runoff from the centrifuges in the treatment plants is done visually by the plant operating personnel, so this control over the process is periodic, but not continuous. The purpose of this article is to describe the study carried out at the WWTP of l'Escala (Girona) to control the sludge dehydration process in a centrifuge, using an artificial vision system of the dehydration runoff.

Keywords

WWTP, sludge, biological process, artificial vision, dehydration.

Mairena García Ventoso

coordinadora de Zona de Explotaciones de Depuración de Facsa

Nuria Herrero Ten

licenciada en Ciencias Químicas, responsable de Lote 1 EDARs Costa Brava, UTE Servicios de sistemas de saneamiento en alta CCB- ELA (UTE Facsa-Calaf)

Josep Ferrer Fornés

ingeniero industrial, jefe de zona Zona Centro 1, Lote 1 EDARs Costa Brava, UTE Servicios de sistemas de saneamiento en alta CCB- ELA (UTE Facsa-Calaf)

M^a Carme Serra Figueres

licenciada en Biología, jefa de proceso Zona Centro 1, lote 1 EDARs Costa Brava, UTE Servicios de sistemas de saneamiento en alta CCB- ELA (UTE Facsa-Calaf)

Enric Pallarès Miralles

licenciado en Biología, jefe del Servei de Sanejament del Consorci d'Aigües Costa Brava Girona

Daniel Salas Serrano

ingeniero en Tecnologías Industriales, project manager Rely de Siali Technologies

Daniel Roldán Cordero

ingeniero en Electrónica Industrial y Automática, ML engineer de Siali Technologies

Daniel Díaz Saiz

ingeniero en Tecnologías Industriales, ML engineer de Siali Technologies



1. INTRODUCCIÓN

La deshidratación de fangos suele ser la última etapa del tratamiento de fangos en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) urbanas. En esta etapa, los lodos resultantes del proceso de depuración del agua residual se tratan para obtener un fango de consistencia sólida mediante la eliminación del agua, disminuyendo su volumen, lo que facilita su posterior gestión como residuo o subproducto valorizable en agricultura.

Una de las tecnologías más utilizadas para esta etapa de deshidratación es la centrífuga, proceso en el que, gracias a las elevadas velocidades de rotación, se consigue la sedimentación forzada de sólidos que son posteriormente recolectados en la cubeta. Para maximizar la eficiencia de esta separación es habitual la dosificación de un polímero (polielectrolito catiónico) para acondicionar el fango y favorecer la floculación del mismo, de forma que, como resultado del tratamiento, se consigue separar la fracción sólida de la fracción líquida por diferencia de densidades. La calidad del agua sobrante del pro-

FIGURA 1. Vista aérea de la EDAR de l'Escala (Girona).



ceso de deshidratación, denominada escurrido, es uno de los indicadores del correcto funcionamiento de esta etapa de deshidratación, ya que en esta se puede visualizar tanto la presencia de sólidos que puedan escapar de la centrifugación, como posibles excesos de polielectrolito que dan coloración al agua.

La falta de polielectrolito puede suponer un mal funcionamiento del proceso y la obtención de un fango deshidratado poco seco. A su vez, un exceso de polielectrolito puede suponer un gasto innecesario, aumentando los costes de la operación. Por estos motivos se hace in-

terésante tener un control continuo sobre la concentración de polielectrolito en la deshidratación.

Las técnicas de visión artificial engloban tecnologías emergentes que pueden ayudar al control y optimización de diferentes procesos en EDAR, como por ejemplo a la centrifugación. Gracias a estas técnicas es posible analizar en tiempo real, mediante algoritmos de *deep learning* y *machine learning*, la calidad de los escurridos en términos de sólidos y exceso de polielectrolitos, permitiendo implementar medidas correctoras para la mejora del proceso.

2. METODOLOGÍA

Para la ejecución del estudio, se ha desarrollado un sistema de visión artificial para el control del escurrido en centrífugas de la EDAR de l'Escala (Girona), explotada por la UTE Facsa-Calaf, y de titularidad del Consorci d'Aigües Costa Brava Girona (**Figura 1**).

En esta EDAR, el control de la deshidratación de lodos con centrífuga se realizaba mediante inspección visual del color del agua por parte de un operario cada cierto tiempo, lo que era indicador de la cantidad de polielectrolito (**Figura 2**). Este método es fiable, pero conlleva ciertas desventajas:

FIGURA 2. Centrífuga de la EDAR de l'Escala (Girona).



FIGURA 3. A la izquierda, zona de escurridos de centrífugas en la EDAR de l'Escala, y a la derecha, imagen de la cámara instalada.



- La inspección de estos operarios no se puede llevar a cabo fuera de su horario laboral, aunque la EDAR siga produciendo.
- Subjetividad en la inspección, dado que el criterio de varios operarios podía no coincidir.
- Discontinuidad en la inspección. Solo es posible la inspección cada cierto intervalo de tiempo.

Con el fin de superar estos inconvenientes y tener un control más objetivo y riguroso sobre la deshidratación de fangos, se trabajó en el desarrollo de un sistema de visión artificial que permitiera, a partir de análisis de imagen, llevar un mejor control de la etapa de deshidratación y con ello, de la calidad del escurrido de las centrífugas.

El estudio inició con la instalación de una cámara en el soporte situa-

do alrededor de las tuberías de drenajes de las centrífugas de fangos de la EDAR de l'Escala (**Figura 3**) con el fin de obtener un conjunto de imágenes (*dataset*) cuyo análisis permitiera establecer diferentes estados de funcionamiento según el tono del escurrido de la centrífuga, siempre indicando la gravedad del tono escurrido de la centrífuga y activando el envío de alarmas en caso necesario (**Tabla 1**).

Una vez elegida la clasificación del tono del escurrido de la centrífuga y las alarmas que el sistema debía enviar, se empezó a trabajar en la definición de los modelos de *machine learning* que utiliza dos algoritmos aplicados en serie.

Para ello, primero fue necesario trabajar en la recopilación del máximo número de imágenes posible (consiguiendo 7.643 imágenes) con

el fin de tener la mayor cantidad de dataset. A partir de las imágenes obtenidas, se procedió al etiquetaje de cada tubería en cada una de las imágenes con una categoría, clasificando el tono del escurrido de la centrífuga e indicando si bajaba o no agua para, posteriormente, pasar al procesado y adecuación de los datos para su uso en los modelos.

A continuación, se realizó un análisis más detallado de los datos recopilados, a fin de entender mejor su estructura y patrones, y poder tomar decisiones adecuadas en cuanto a el diseño de los modelos y, se seleccionaron las características más relevantes de los datos que utilizaría el modelo, descartando aquellas que no aportaban valor ni predictibilidad.

Por último, se trabajó en la selección, diseño y entrenamiento de los modelos, seleccionando el modelo de *machine learning* basado en *deep learning*. Este tipo de modelos destacan por la robustez que presentan ante cambios ambientales, ofreciendo conclusiones acertadas aun cuando son expuestos a una iluminación dinámica, por ejemplo. Se diseñó la estructura del modelo que mejor se adaptaba al problema y, posteriormente, fue entrenado utilizando los datos preparados previamente.

Color escurrido	Alarma
Marrón oscuro	Muy deficiente en polielectrolito
Marrón	Deficiente en polielectrolito
Gris	Nominal
Gris blanquecino	Exceso de polielectrolito
Sin escurrido	Sin escurrido en la centrífuga



Una vez desarrollado el modelo, se evaluó el rendimiento, utilizando diferentes métricas de evaluación, y se realizaron ajustes y mejoras en función de los resultados obtenidos. Después, se integraron en la aplicación acoplándolos con las funcionalidades de Rely, como la interfaz y el envío automático de alertas.

Se tomaron nuevas imágenes de la planta y se probó el funcionamiento de los modelos (simulación), obteniendo resultados acertados con imágenes nuevas.

Una vez que los modelos fueron entrenados y evaluados, se desplegaron en el entorno de producción, donde, previos ajustes, el *software* ya fue capaz de enviar alertas por SMS.

La herramienta se puede visualizar en el ordenador de control de planta, lo que permite el control del estado de los escurridos a tiempo real. También permite realizar el envío de alarmas vía SMS a dispositivos móviles, para dar aviso en caso de los estados que requerían actuación por parte del personal de planta.

3. RESULTADOS

Como resultado del estudio, a continuación se muestra cómo se realizó el seguimiento del nivel de polielectrolito:

- SMS. La primera y más inmediata. Se enviaron mensajes al teléfono proporcionado por la empresa con imágenes adjuntas, como las que aparecen en la **Figura 4**. La ventaja de este tipo de avisos es que son una manera sencilla de comprobar la veracidad de las alarmas.
- Interfaz-Rely. A través del *previewer* de la interfaz de Rely se pudo llevar a cabo el seguimiento continuo del estado de las tuberías (**Figura 5**).

FIGURA 4. Imágenes de SMS enviados.

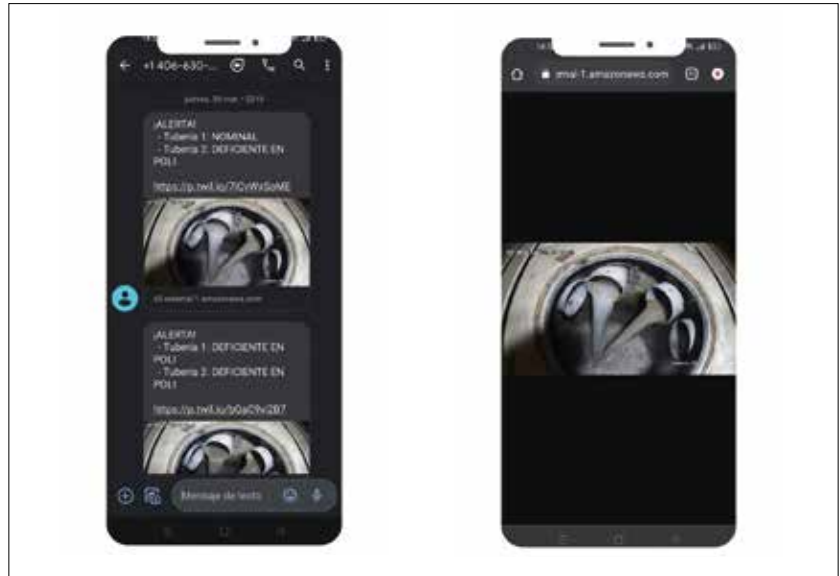


FIGURA 5. Imagen de la interfaz de Rely.



En cuanto a estadísticas, la aplicación proporcionó durante el período de prueba de 1 mes un total de 143 alertas, con una media de 4,6 alertas/día. La interpretación de estos datos requiere tener en cuenta las actuaciones forzadas llevadas a cabo para la comprobación del funcionamiento de las centrífugas, por lo que en funcionamiento normal el número habitual de alarmas es inferior.

De estas alarmas, se consideran significativas las de los siguientes estados: estado deficiente (56%), muy deficiente en polielectrolito (13%) y

exceso de polielectrolito (3%). Se consideran alarmas significativas las que originan la necesidad de actuación sobre el proceso de deshidratación por parte del personal operador de planta y, en caso de estar fuera del horario laboral, el responsable de planta procede a la parada de la deshidratación a distancia desde la aplicación de control de planta existente.

En cuanto a los principales problemas detectados durante la implantación de esta herramienta se encuentran:

» La monitorización de las imágenes del escurrido de las centrífugas es una herramienta muy útil para el seguimiento del proceso de deshidratación de lodos, por lo que el desarrollo de un *software* específico para el control del proceso y alarmas de la dosificación de polielectrolito también es válido

- Saturación de la cámara en ciertas partes de la imagen a causa de la exposición solar según la hora del día. Este problema se logró solventar aumentando los puntos de toma de datos en la imagen, de forma que el modelo adaptaba sus predicciones en función de la iluminación ambiente e instalando un parasol para impedir la entrada de luz directa sobre las tuberías de drenajes.
- Aparición de espumas en las aguas de drenaje. La presencia de espumas afectaba al algoritmo, haciendo que detectase un color más claro del que realmente aparecía. La aplicación de filtros permitió dar solución.
- Lente mojada por gotas de agua de drenajes. La precisión del modelo se veía disminuida al mojarse la lente de la cámara. Por ello, se optó por una limpieza regular de la misma.

Los resultados obtenidos durante este estudio han permitido detectar futuras mejoras a la aplicación existente, como las que se presentan a continuación:

- Envío de alertas de la concentración estimada de sólidos suspendidos (SS) de los drenajes. Atendiendo a que la concentración de SS aporta mucho valor en la operación de una EDAR, se podría estudiar la implementación de un algoritmo que permita correlacionar las características visuales del escurrido de la centrífuga y la concentración de sólidos suspendidos.

- Integración de un reporte diario o semanal de todas las alertas diarias. El envío de un reporte vía correo electrónico con la recopilación de alertas para un período determinado, permitirá tener una relación de los problemas y actuaciones llevadas a cabo, lo que facilitará un buen seguimiento del funcionamiento del proceso de deshidratación. Además, se debería trabajar en la elaboración de gráficos de evolución en el tiempo del proceso, así como también, la actuación sobre los equipos de dosificación de reactivo. Este último aspecto es el más complejo, y requeriría un desarrollo mayor del *deep learning* de forma que se pudiesen asociar las imágenes/estados a caudales de las bombas dosificadoras de polielectrolito. Para ello, dentro de cada estado habría que distinguir un gradiente para poder asociarlo a la dosificación de polielectrolito (no sería suficiente con los 4 estados actuales), o bien regular la dosificación en un % determinado y establecer un intervalo de tiempos para ir ajustando esta regulación (crear una regla de aumento o disminución de Hz de la bomba dosificadora en función del estado detectado por la cámara).
- Cambio de las coordenadas que la aplicación utiliza para las predicciones. Se relativizarán las coordenadas, robusteciendo la aplicación y haciéndola invariante a los movimientos de la cámara.
- Redefinición de la gama de colores. Se pueden ubicar los um-

brales de color entre los estados a conveniencia del cliente, reentrenando el modelo para esta nueva situación.

- Crear una app para dispositivos móviles.

4. CONCLUSIONES

La monitorización de las imágenes del escurrido de las centrífugas es una herramienta muy útil para el seguimiento del proceso de deshidratación de lodos.

El *software* desarrollado es válido para el control de la dosificación de polielectrolito según necesidades de proceso mediante el envío y recepción de alertas vía SMS que indican el estado del proceso.

Es necesario instalar el programa en el ordenador de planta para el control por parte del personal operador, así como de dispositivos móviles para la recepción de las alertas. Se seguirá trabajando en el desarrollo de una app que permita la gestión desde dispositivo móvil, mostrando informes gráficos, así como también se trabajará en mejorar aspectos técnicos, como correlacionar las tonalidades del escurrido con la concentración de sólidos suspendidos.

Bibliografía

- [1] Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. Alienta Editorial.
- [2] Mahesh, B. (2018). Machine learning algorithms - A review. International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN: 2319-7064, ResearchGate Impact Factor (2018): 0.28 | SJIF (2018): 7.426.
- [3] LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, num. 521, págs. 436-444.