

MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AIRE PARA TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN E.D.A.R. LA GOLONDRINA (CÓRDOBA).

Ramón Soldado*, Francisco Vázquez
Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Córdoba
*Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA)

Resumen

En este trabajo se presenta el modelo de una Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) utilizando el entorno EcosimPro. Los datos obtenidos mediante simulación permitirán realizar comparaciones desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo de las diferentes variables involucradas en el proceso (concentración de oxígeno en las balsas biológicas, presión y caudal puestos en juego en cualquier punto del sistema, potencia y energía empleada,...). Para obtener el modelo se ha utilizado la metodología de modelado orientado a objetos (MOO), creándose los diferentes componentes e interconectando y validando los subsistemas, así como analizando el sistema completo, con la estrategia de control actualmente utilizada en la Planta, mediante la simulación del mismo. Una vez validado el modelo se estudia una nueva estrategia de control basada en criterios de eficiencia energética y control automático mejorado, la cual se analiza igualmente mediante simulación.

Palabras Clave: Modelado y simulación orientados a objetos, eficiencia energética, equilibrio medioambiental, Ecosimpro.

1. E.D.A.R. LA GOLONDRINA

Esta planta es la principal Estación Depuradora de Aguas Residuales de las gestionadas por la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA). Tiene encomendada la depuración y tratamiento de las aguas residuales y pluviales de la ciudad de Córdoba y sus poblaciones periféricas. La capacidad de tratamiento actual es de 108.000 m³/día, con una equivalencia en habitantes de 540.000. Dicha capacidad va a ser aumentada en un futuro próximo.

El tratamiento de las aguas residuales en la E.D.A.R La Golondrina conlleva la puesta en

marcha de diversos procesos que actúan sobre dos líneas de producción que dividen los productos finales también en dos. Dichas líneas son la de agua y la de fangos. Dentro de la línea de agua destaca por su importancia a varios niveles el Tratamiento Biológico por Fangos Activos. Se podría decir que en esta etapa es donde se produce la verdadera depuración del agua residual doméstica. Tras la decantación primaria, el agua es introducida mediante el sistema de flujo pistón en las balsas biológicas (seis en la actualidad y diez en un futuro próximo). En dicha fase de entrada, el agua es previamente mezclada con parte de los fangos obtenidos en la decantación secundaria, los cuales son recirculados hasta la entrada de las balsas. En el interior de éstas existirá pues un licor mezcla el cual es sometido a la adición de oxígeno, en este caso mediante la difusión de burbujas de aire. En estas circunstancias se desarrolla un cultivo microbiano aerobio heterótrofo que utiliza para su crecimiento las materias orgánicas del agua y las retira de ella en forma de biomasa. La recirculación de fangos favorece la formación de nuevos microorganismos. El Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales mediante Lodos Activados conlleva la utilización de grandes caudales de aire (oxígeno) a baja presión, suponiendo la producción de los mismos un importante coste energético.

La Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico comprende una serie de instalaciones o componentes electromecánicos, hidráulicos (neumáticos), electrónicos (de control) y biológicos interactuando. El funcionamiento de la planta está basado en la producción de aire a través de turbocompresores, cuya actividad está referenciada en el mantenimiento de unas consignas de concentración de oxígeno en las balsas biológicas. Dicho control está supeditado al mantenimiento de una consigna de presión en la salida de los turbocompresores.

Conservar una consigna de presión en el colector de impulsión de los turbos tiene

ventajas como la de poder mantener el funcionamiento de aquéllos muy cercano al punto de diseño, aunque también tiene inconvenientes dado la rigidez de control, donde es necesario crear pérdidas de carga en las válvulas de regulación de caudal (mediante la disminución de su apertura), para conseguir la pérdida de carga total en la instalación dictada por la consigna de presión en colector. Incluso podría ocurrir, como de hecho es habitual en días de lluvia donde las necesidades de oxigenación del licor mezcla disminuyen drásticamente, que no pudiésemos regular la planta con funcionamiento en automático, ya que las válvulas pueden llegar a su límite mínimo de apertura sin conseguir reducir las concentraciones de oxígeno a los valores de consigna fijados para las balsas biológicas, con el consiguiente trabajo adicional de inspección que supondría una regulación manual de caudal de aire. Sin embargo, y debido al magnífico comportamiento de estas turbomáquinas incluso en zonas de funcionamiento algo alejadas del punto de diseño, podríamos probar otras estrategias de control, como la de utilizar una consigna de presión no fija, adaptada para obtener condiciones de mayor eficiencia energética y otro tipo de mejoras con respecto a la estrategia actual de control.

Son dos pues las ventajas que de forma directa aparecen con la nueva estrategia de control planteada: aumento de la eficiencia energética y control automático mejorado.

La realización de pruebas reales no resulta práctica debido a que la planta se encuentra en funcionamiento veinticuatro horas diarias, no siendo factible mantenerla fuera de servicio o con funcionamiento inesperado en periodos largos, debido a que se puede exponer a la población de bacterias aerobias a la falta de oxígeno. Además resultaría laborioso realizar los cambios necesarios dentro del sistema de control de la planta, todos ello sin la seguridad de un funcionamiento aceptable. De aquí surge la necesidad de realizar una simulación y obtener resultados, que podrían trasladarse con posterioridad, y una vez asegurado su correcto funcionamiento, a una implementación real. Naturalmente, la realización de pruebas simuladas implica la obtención de un modelo del proceso previo, cuyos resultados se muestran.

2. MODELADO DE LOS COMPONENTES

Para realizar el modelado de los diferentes componentes se ha utilizado el entorno

EcosimPro, así como la herramienta EcoDiagram para la implementación de los componentes gráficos. Este entorno permite el modelado orientado a objetos (MOO) de los diversos elementos, realizándose una librería de componentes reutilizables, reconfigurables, y que pueden ser validados de forma aislada. Asimismo dispone de determinadas herramientas de interpolación en curvas necesarias para el modelado de determinadas características del sistema, cuyos resultados son obtenidos de forma dinámica durante la simulación.

Se describen a continuación algunos aspectos importantes del modelado de los componentes más significativos.

2.1 TURBOCOMPRESOR

La forma de mantener una presión de consigna en el colector general de aire se realiza mediante el aumento o disminución de caudal en el turbo que se esté controlando.



Fig. 1: Turbocompresor KA 22 SV GC 215

Se encuentran instalados 6 turbos de dos modelos diferentes, con capacidades unitarias máximas de producción de 13000 y 21000 Nm³/h., siendo las potencias máximas absorbidas de 274 y 466 Kw. respectivamente. Para conseguir una alta y regular eficiencia energética, los turbocompresores poseen un doble sistema combinado de control del aire a través del impulsor. Por un lado disponen de **difusor variable** para ajuste de la capacidad de salida de aire, el cual mantendrá en todo momento un óptimo ángulo de incidencia y consecuentemente una aerodinámica sin efecto negativo en la eficiencia. Por otro lado disponen de **guía de entrada variable** al impulsor, mediante la cual, y ajustando el ángulo de la misma, se creará una pre-rotación en el flujo del aire dentro del impulsor. Con esta tecnología es posible conseguir una regulación en el caudal de salida, desde el 100% al 45% de la capacidad total de aireación del turbocompresor,

manteniendo un alto grado de eficiencia en todo el rango. Observando las curvas de rendimiento relativo respecto de la presión o punto de diseño (rendimiento máximo) de la familia de estos turbocompresores, se puede comprobar que disponemos de un rendimiento mecánico medio superior al 95% del rendimiento máximo para condiciones de trabajo cercanas al punto de diseño.

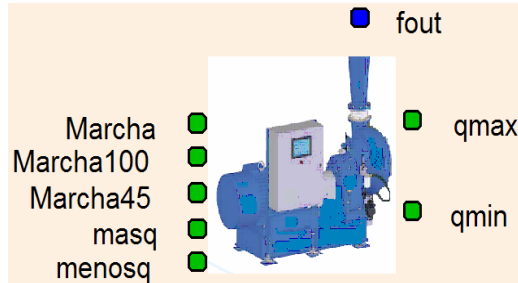


Fig. 2: Símbolo para el Turbocompresor.

2.2 CONEXIONES

Como conexiones entre turbocompresores y válvulas de regulación de caudal se modelan los siguientes componentes: tuberías, bifurcaciones, codos y derivaciones. Para ello utilizaremos la formulación y teorías de la Mecánica de Fluidos.

Todos ellos tienen en común el **puerto** que aúna las magnitudes físicas de *presión* y *caudal* del fluido vehiculado a través de ellos. Por tanto, en principio, se define dicho puerto, al cual se le denomina **Fluido**.

Se definen los componentes abstractos (componentes padre), que nos definirán por herencia los demás componentes. En este caso se especifica un componente común de entrada-salida para fluidos, que se denomina **E_S**, el cual incluirá las características comunes de los componentes hidráulicos con sólo una entrada y una salida. En el mismo se define una nueva variable denominada **dp**, que será la diferencia de presión expresada en kg/cm^2 entre la entrada y la salida.

Los demás componentes heredarán las propiedades de este componente abstracto, incluyendo adicionalmente sus propiedades específicas, como pueden ser las pérdidas de presión por accidente.

2.3 VÁLVULA REGULADORA + PID

En este componente se aúnan dos elementos que físicamente se encuentran separados en la planta de producción, la válvula reguladora de caudal de aire a balsa y el controlador PID para

regulación de concentración de oxígeno residual en la balsa. Dicha fusión se realiza debido a que no modifica de ninguna forma la dinámica de funcionamiento real con respecto a la dinámica de simulación resultante, obteniéndose sin embargo ventajas referentes a claridad de diagrama y de modelo más compacto.

Dichas válvulas poseen la particularidad de tener un ángulo máximo de apertura de 70° , en lugar de los 90° habituales en una válvula normal de mariposa. Prestando atención a la relación entre los coeficientes de caudal (K_v/K_{vs}), se puede observar que esta válvula presenta una relación más lineal que otras válvulas de su misma familia, es decir, es la que más se aproxima a un funcionamiento donde ante iguales incrementos en ángulo de apertura, iguales incrementos de caudal, hecho deseable normalmente en una válvula de control como ocurre en nuestro caso. Por otra parte, el hecho de encontrarnos con un ángulo máximo de apertura de 70° (apertura del 100% de la válvula), las pérdidas de carga serán mayores que en una válvula con 90° de apertura máxima.

En la tabla 1 se representan los valores del coeficiente de caudal K_{vs} para la válvula utilizada en la planta, la cual es de diámetro DN150. Para la introducción de datos en el modelo de la válvula convertiremos los ángulos en tanto por ciento de apertura. Teniendo en cuenta que a 70° corresponde el 100% de la apertura, los valores quedarán como los reflejados en la presente tabla.

áng	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
%	14.29	28.57	42.86	57.14	71.43	85.71	100
K_{vs}	50	100	180	275	375	500	600

Tabla 1: Coeficientes de caudal para la válvula.

Con dichos valores el modelo realizará una interpolación lineal para la obtención del valor de K_{vs} .

```
TABLE_1D Kvs = {{14.29, 28.57, 42.86,
57.14, 71.43, 85.71, 100}, {50, 100, 180, 275,
375, 500, 600}}
"Valores de Kvs de la válvula en función de la
apertura"
...
KVs=linearInterp1D(Kvs,APERT)
```

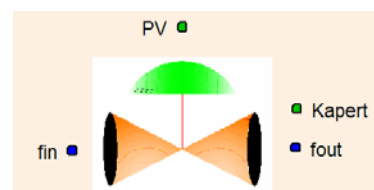


Fig. 3: Símbolo para la válvula+PID

Para la obtención del algoritmo de la señal de control, utilizaremos la función de transferencia pulso del controlador PID digital conocida comúnmente como forma posicional del esquema de control PID :

$$G_D(z) = \frac{M(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + Kd(1-z^{-1})$$

Se desarrolla dicha expresión como una ecuación en diferencias:

$$SC = sc0 + kp * (pv1-pv2) + ki * (sp-pv2) + kd * (pv1-pv2) - kd * (pv0-pv1)$$

2.4 BALSA BIOLÓGICA

A la hora de modelar el componente "bio_balsa" (balsa biológica), se combinarán dos elementos que, aunque físicamente no se encuentran separados en la planta de producción, si representan dos procesos a priori muy distintos, uno físico (dinámica del fluido a través de los ramales desde válvulas reguladoras de caudal a difusores de aire), y otro biológico (dinámica de la concentración de oxígeno en el licor mezcla existente en la balsa).



Fig.4: Balsa Biológica de EDAR La Golondrina

Dentro de la sección continua del código del presente componente se calculará la concentración de oxígeno residual en la balsa. La dinámica de la variación de dicha variable en el tiempo será expresada en función del coeficiente de transferencia de oxígeno, de la concentración de saturación (Csr) y de su velocidad de utilización (VUO). El coeficiente de transferencia de oxígeno vendrá expresado en función del caudal de aire (fin_q), del volumen del licor mezcla (V) y de una constante propia del sistema de aireación y de las dimensiones de la balsa.

CONTINUOUS

--Coeficiente de transferencia de oxígeno (1/s)
 $KLa = (k*fin_q/V)*(1/3600)$
 --Variación (Derivada) en el tiempo de la Concentración de O₂ en balsa (mg/l/s)

$$c' = (KLa * Csr - VUO) - KLa * c$$



Fig. 5: Parte del código de la sección continua y símbolo para la Balsa Biológica.

2.5 PLC_MASTER

Es el componente que controla el funcionamiento en automático de los turbocompresores, dirigiendo según prioridad de los mismos, la puesta en marcha, el paro, el aumento o disminución de caudal, así como estados de funcionamiento especiales de máximo o mínimo caudal. Dicho PLC maestro posee como esclavos a los PLC's de control local de cada uno de los turbocompresores funcionando en régimen automático. Posee además un controlador no integrado como bloque en la programación del autómat, desde el cual se corrige la presión relativa (Kg/cm²) fijada como consigna en el colector de impulsión de turbos.



Fig. 6: Símbolo para el PLC_Master

Como puertos de entrada se han incluido la presión relativa en colector (valor de proceso) y la consigna de presión seleccionada (set-point), ambas, señales analógicas del proceso. Además, como puertos de entrada aparecen todas las señales de confirmación de caudal máximo y de caudal mínimo de cada uno de los turbocompresores existentes en la planta, todas ellas señales digitales del proceso.

En cuanto a puertos de salida, se tienen para cada uno de los turbos de la planta de producción de aire las señales digitales de:

- Orden de marcha de turbo .
- Orden de marcha al 45 % del caudal máximo.

- Orden de marcha al 100% del caudal máximo.
- Orden de aumentar caudal de salida de turbo.
- Orden de disminuir caudal de salida de turbo.

Para la implementación del modelo que simulará el PLC_Master se ha diseñado una máquina de estado (autómata), como es habitual para la descripción de un sistema secuencial de control como el presente. Por tanto se deben declarar como variables todos los estados posibles que pudieran producirse durante el funcionamiento en automático de la planta de producción de aire (estados finitos secuenciales). Se declaran además una variable para el control de tiempo, otra como contador de periodos (evento discreto) y otra como marca de paso por un estado.

3. GENERADOR INTELIGENTE DE SET_POINT

3.1 JUSTIFICACIÓN

Como se ha descrito el componente "PLC_Master" se observa que dispone de una señal de entrada con la consigna de presión a mantener en el colector. Dicha señal procede de un bloque de set-point fijo, el cual es asignado manualmente y permanece en este valor hasta un nuevo cambio manual.

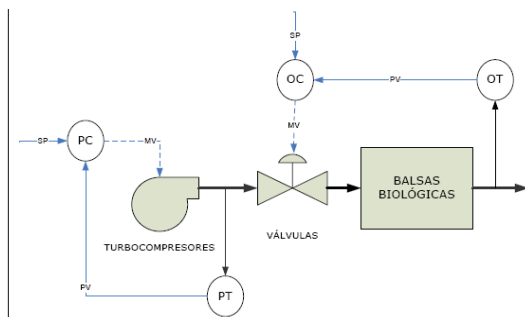


Fig.7: Diagrama simplificado actual del proceso

Las pérdidas de carga en el circuito neumático formado desde colector general (impulsión de turbocompresores), hasta salidas de aire en la profundidad de las balsas (difusores), se encuentran repartidas de manera muy distinta en los distintos componentes del circuito. Sabemos que disponemos de una presión final o contrapresión, que corresponde a la columna de licor mezcla existente en la balsa sobre la salida de los difusores. Esta sumergencia ($0,466 \text{ Kg/cm}^2$) sería en un circuito ideal (casi sin pérdidas) la presión mínima posible en salida de turbocompresores.

La presión relativa habitual asignada al set-point del controlador es de $0,6 \text{ Kg/cm}^2$, por ser la presión de diseño del turbocompresor KA 10

SV GC 150, que es el más numeroso de los turbos instalados en la Planta de Tratamiento Biológico de la E.D.A.R. Si tenemos en cuenta esta presión y la contrapresión ejercida en la salida de los difusores, observamos que existe una caída de presión máxima de $0,134 \text{ Kg/cm}^2$. La mayor parte de esta pérdida de carga se produce en los difusores de aire y en las válvulas reguladoras de caudal, siendo en estas últimas donde cae la mayor parte de ella. Además, es en este último elemento, donde es factible ejercer alguna acción con el fin de disminuir las pérdidas.

Cuando trabajamos con una consigna de presión fija en colector, la apertura de las válvulas no puede ser controlada a voluntad; cuando circula un caudal determinado de colector a difusores (impuesto por las necesidades de oxígeno de la balsa), sólo la válvula puede corregir la caída de presión prefijada, actuando mediante cierre o apertura del ángulo de su obturador. Las válvulas se irán adaptando dinámicamente con el resto del circuito para establecer una apertura en las mismas que produzca la caída de presión requerida (y consecuentemente el caudal requerido en la balsa), y cuya suma con el resto de pérdidas de carga satisfagan la presión diferencial de consigna en colector.

Con la situación de control actual, se puede demostrar mediante simulación, que existe un mayor consumo energético y un menor rango de regulación automática frente a las posibles situaciones de producción, que con otra situación de control mejorada que se propone, la cual se basa en la incorporación de un bloque generador de consignas de presión en el sistema de control de la Planta de Producción de Aire.

La función del componente aquí modelado no es otra que la de adaptar dicha consigna, colocando como set-point en el controlador de presión del PLC Master, valores más idóneos que sin embargo satisfagan las necesidades de producción en cuanto a mantenimiento de concentración de oxígeno residual en las balsas biológicas.

Al hablar de valores más idóneos de set-point, la premisa que se ha seguido es la de conseguir en todo momento la presión en colector que produzca una mayor eficiencia energética. Cuando modelamos el componente "Turbo" se pudo comprobar que si no nos alejábamos demasiado del punto de diseño, el rendimiento conseguido era muy próximo al máximo posible. Debido a las características constructivas de los turbocompresores, incluso para un régimen de funcionamiento relativamente alejado del de

diseño, el rendimiento relativo de funcionamiento con respecto al máximo está próximo al 100 %.

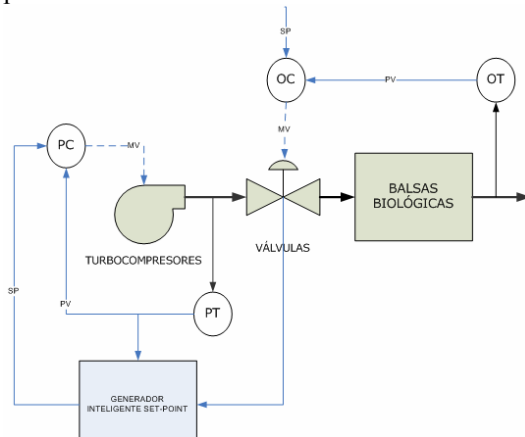


Fig.8: Diagrama simplificado mejorado del proceso de la Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico, donde se puede apreciar la incorporación del generador inteligente de set_point.

3.2 DESCRIPCIÓN

Si la consigna de presión no es fija, sino que se adapta en todo momento a la de máxima eficiencia energética, la apertura de la válvulas puede ser controlada y llevada hacia valores óptimos, manteniendo igualmente satisfechas las necesidades de oxígeno en las balsas, es decir, manteniendo el caudal necesario de colector a difusores.

El valor óptimo de apertura de cualquier válvula en cuanto a eficiencia energética (menor pérdida de carga) es del 100 % (70° de apertura de mariposa en nuestro caso). Naturalmente todas las válvulas no podrían estar abiertas al 100% puesto que deben regular el caudal en las distintas balsas. Sin embargo, si es posible abrir al 100% las dos válvulas que regulan el caudal, en un instante determinado, sobre la balsa con mayor requerimiento en oxígeno.

Disponiendo de dos válvulas con una apertura al 100% o próxima a ella, tendremos el resto de las válvulas con la máxima apertura posible efectuando su regulación sobre el caudal del resto de las balsas. De esta forma, nuestro generador inteligente de set-point, debe recibir las señales de apertura instantáneas de las válvulas de todas las balsas. Poseerá pues seis entradas correspondientes a las señales indicadas. Además, debe disponer como entrada, de la señal de presión relativa en colector (valor de proceso). Como salida, nuestro bloque entregará al controlador del PLC Master, el set-point idóneo según el criterio seguido.

Una consideración importante a tener en cuenta, será la presión máxima y mínima con la que se puede trabajar en colector. Se tomará como valores límite de trabajo, los correspondientes al 105% y 85% de la presión del punto de diseño del turbocompresor KA 10 SV GC 150, los cuales corresponden a 0,63 y 0,51 Kg/cm² respectivamente, debido a que en ese rango nos encontraremos por encima del 95% del rendimiento relativo medio con respecto al rendimiento máximo. Además, dichas presiones se encuentran por debajo del límite para el bombeo y por encima del valor de sumergencia respectivamente.

La dinámica de funcionamiento del generador de consignas comenzará analizando cual es la balsa que dispone de las válvulas con una mayor apertura. Dicho dato nos proporcionará sobre qué valor compararemos para decidir si actuamos o no y cómo lo hacemos. Si la máxima apertura existente en el sistema está entre el 95% y el 100% sin alcanzar este último valor, el set-point adaptado lo haremos coincidir con la presión existente en el colector, ya que nos encontramos en un valor óptimo de apertura y podemos presuponer que la presión actual es la que consigue esta situación positiva. Si alcanzamos el 100% de la apertura en las válvulas debemos en cambio adaptar el set-point de la presión aumentando ésta, ya que habríamos llegado a la máxima posibilidad de aumentar el caudal sin haber cubierto las necesidades de oxígeno en las balsas. La única posibilidad que nos queda sería la de encontrarnos con una apertura máxima por debajo del 95%. Con esta última situación la acción a tomar será disminuir la consigna de presión, ya que nos encontraríamos con margen para forzar el aumento de apertura de dichas válvulas hasta conseguir una situación óptima (entre el 95% y el 100% de la apertura total).

Tanto si aumentamos la consigna de presión como si la bajamos, existirán como sabemos un valor máximo y un valor mínimo respectivamente que no podemos superar. Por tanto el generador de set-point tendrá en cuenta en su lógica dichas situaciones, dando en su salida los valores extremos como máximo o mínimo en caso de alcanzar el algoritmo de control cualquiera de ellos. El aumento o disminución en la consigna de presión en caso de existir la necesidad de producirse, se realizará al comienzo de cada periodo de muestreo del generador. Dicho periodo será varias veces superior al periodo de muestreo de la concentración de oxígeno en las balsas (en nuestro caso será 5 veces mayor), con el fin de dar tiempo a las válvulas a adaptarse a los

cambios producidos por los cambios en consigna de presión.

En cuanto a cantidad numérica de aumento o disminución de consigna de presión está será de $0,0005 \text{ Kg/cm}^2$, valor aceptado como correcto tras diversas pruebas mediante simulación.

```

IF (Kapertmax >= 0.95 AND Kapertmax <
1) THEN
  sp_adapt.senal = p.senal
ELSEIF Kapertmax == 1 THEN
  sp_adapt.senal = sp_adapt.senal+0.0005
  IF sp_adapt.senal > spmax THEN
    sp_adapt.senal = spmax
  END IF
ELSE
  sp_adapt.senal = sp_adapt.senal-0.0005
  IF sp_adapt.senal < spmin THEN
    sp_adapt.senal = spmin
  END IF
END IF

```

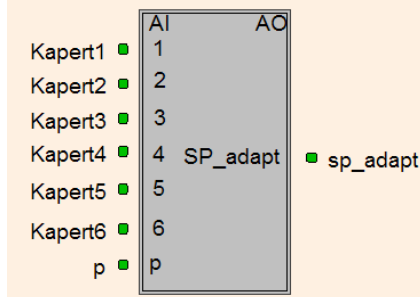


Fig. 9: Parte del código del modelo y símbolo para el generador de SP.

4. MODELO COMPLETO

En el Anexo I se muestra el modelo completo mejorado del proceso de la Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico en EDAR La Golondrina (Córdoba), donde se pueden apreciar los elementos anteriormente descritos, así como el resto de los componentes.

5. SIMULACIONES

Para proceder a la simulación del modelo, obtendremos los datos reales disponibles del proceso a través del SCADA (Control Supervisor y de Adquisición de Datos) de la Estación Depuradora de Aguas Residuales La Golondrina de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA). Los datos que nos serán de utilidad de los que disponemos son:

- Turbidez del licor mezcla en las 6 balsas biológicas (mg/l).

- Concentración de oxígeno disuelto en las 6 balsas biológicas (mg/l).
- Caudal de aire total aportado por los turbocompresores a colector general de alimentación a balsas biológicas (Nm^3/h).
- Presión de aire en colector general de alimentación a balsas biológicas (Kg/cm^2).
- Apertura de las válvulas de regulación de caudal de aire a balsas biológicas (%).

Se presentan a continuación ploteadas algunas variables frente al tiempo expresado en horas.

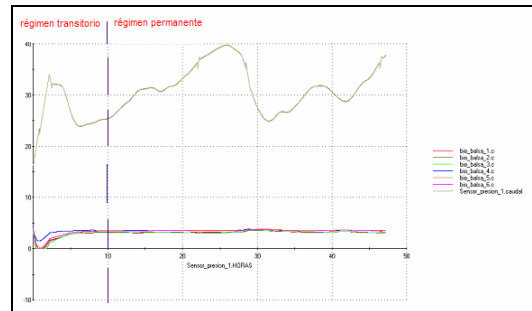


Fig. 10: Valores de concentración de oxígeno disuelto en el licor mezcla para las 6 balsas biológicas y caudal de aire aportado por los turbocompresores, obtenidos con nuestro modelo de la Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico para un periodo de 48 horas. Se puede apreciar la separación entre régimen transitorio y permanente a las 10 horas de tiempo simulado.

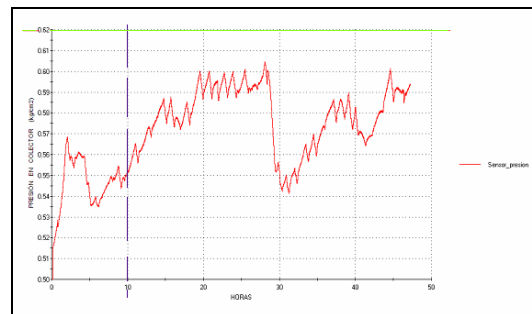


Fig. 11: Valores de presión relativa en colector, obtenidos con nuestro modelo mejorado.

El modelo dispone de 990 variables, las cuales pueden ser consultadas en tiempo de simulación. En la figura 12 podemos observar la ventana que dispone EcoDiagram a través de la cual podemos visualizar todas las variables disponibles que deseemos. En este caso se muestran algunas a modo de ejemplo. Así podemos ver los valores para un instante determinado (TIME=170.000 sg.) del consumo energético medio, el salto de potencia medio en el colector general, la presión en colector, el caudal en colector, presiones y caudales en entrada y salidas de TE de bifurcación general, distintas señales digitales de los turbos como

confirmación de marcha u ordenes de aumentar o disminuir caudal, caudales totales o parciales aportados a distintas balsas o apertura de distintas válvulas de regulación de caudal.

Variable	Value
Sensor_presion_1.KW	714.189777336
Sensor_presion_1.Pot	535.99942789
Sensor_presion_1.fin.p	0.619716243262
Sensor_presion_1.fin.q	37650
TE_1.fin.q	37650
TE_1.fout1.p	0.619048448052
TE_1.fout1.q	19536.2671891
TE_1.fout2.p	0.619142158471
TE_1.fout2.q	18113.7328109
Turbo_1.Marcha.senal	1
Turbo_1.masq.senal	0
Turbo_1.menosq.senal	1
Turbo_2.Marcha.senal	1
Turbo_2.masq.senal	0
Turbo_2.menosq.senal	0
Turbo_3.Marcha.senal	0
Turbo_4.Marcha.senal	1
Turbo_4.masq.senal	0
Turbo_4.menosq.senal	0
bio_balsa_2.fin1.q	3227.94847034
bio_balsa_2.fin2.q	3227.56220139
bio_balsa_2.fin.q	6455.51067174
bio_balsa_6.fin1.q	3254.36187731
bio_balsa_6.fin2.q	3244.19602906
bio_balsa_6.fin.q	6498.55790636
valvula_reg_pid_1.APERT	80.3468387009
valvula_reg_pid_11.APERT	74.7984214153
valvula_reg_pid_3.APERT	74.4503745688
valvula_reg_pid_5.APERT	70.6001251672
valvula_reg_pid_7.APERT	60.1015215647
valvula_reg_pid_9.APERT	73.4048935908

Fig. 12: EcoDiagram

Mención especial ofrece la primera variable de la tabla, en cuanto a análisis comparativo de eficiencia energética se refiere, del modelo original frente al modelo mejorado propuesto (nueva estrategia de control del sistema de producción). Esta variable corresponde a la potencia eléctrica media consumida por la planta (expresada en Kw) necesaria para producir el salto de potencia medio originado en el colector general por las turbomáquinas (segunda variable mostrada, expresada igualmente en Kw). Analizando los datos anteriores en diversas simulaciones podríamos decir, que utilizando la nueva estrategia de control, se podría obtener un ahorro de energía en producción de aire de hasta el **15%** del consumo producido con la estrategia de control original. Igualmente podríamos hacer un estudio de los consumos producidos con distintas consignas de oxígeno en las balsas biológicas, obteniéndose resultados de diferencias en consumos cercanas al 40% cuando se trabaja con consignas de 0,8 ppm frente a 3,6 ppm por ejemplo.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha diseñado un modelo utilizando un entorno de modelado orientado a objetos (MOO), capaz de simular el

comportamiento de una Planta de Producción de Aire para Tratamiento Biológico en una E.D.A.R. En principio se ha construido una librería de componentes del sistema, utilizándose la misma posteriormente para la realización del montaje completo. Dicho modelo ha sido validado con datos reales de producción, obteniéndose resultados satisfactorios tras su comparación con éstos. Obtenida una herramienta fiable con la cual simular el funcionamiento de la Planta de Producción, y poder así obtener el comportamiento de cuantas variables del proceso deseemos, se ha experimentado con una nueva estrategia de control, diseñándose e integrando en el modelo un generador inteligente de consignas original. Una vez analizados los resultados con la nueva estrategia propuesta, se puede comprobar que se consiguen mejoras significativas en cuanto a eficiencia energética (hasta el 15% de ahorro en energía eléctrica consumida en producción de aire, dependiendo de consignas de producción), así como en cuanto a control automático (aumentándose el rango de regulación automática al de prácticamente cualquier situación posible de producción).

En resumen, con el presente modelo se dispone de un medio que puede servir de apoyo a responsables de E.D.A.R.'s en la decisión sobre consignas de producción, así como una herramienta de diseño de nuevas estrategias de control, como la aquí desarrollada, factibles de ser implementadas en los sistemas de control de las Plantas de Producción.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agüera Soriano, J. Mecánica de fluidos incompresibles. IV edición. 1996.
- Degremont. Manual técnico del agua.. 1979.
- E. A. International. 2005. EcosimPro User Manual., EcosimPro V.3.4.
- Matlab.Helps and manuals.Mathworks, 2000.
- Marín Galvín, R. Química, microbiología, tratamiento y control analítico de aguas. Universidad de Córdoba,. 1996.
- Ogata, Katsuhiko. Sistemas de control en tiempo discreto. 2ª ED. México. 1996..
- Ramalho, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona . 1996.
- Santiago Pacheco, J. Proyecto de Ejecución de Ampliación de la Capacidad de Producción de Aire para Reactores Biológicos en la E.D.A.R. La Golondrina (Córdoba) , 2003.
- Vázquez Serrano, Francisco. Apuntes de modelado de sistemas dinámicos, 2002.

ANEXO I: MODELO COMPLETO MEJORADO DEL PROCESO

