

# **CAPÍTULO 3. ESTUDIO Y MODIFICACIÓN DE UNA INSTALACIÓN PILOTO DE BLANQUEO CON OZONO. SECUENCIAS ZE Y ZP**

## **RESUMEN**

La instalación piloto de blanqueo con ozono ha sido diseñada por el Grupo de investigación CIPAGRAF y se haya instalada en el Laboratorio de la Especialidad Papelera y Gráfica (ETSEIAT-UPC). El equipo permite realizar los tratamientos de forma automatizada, consta de un software para el control del proceso, que permite conocer en todo momento la cantidad de ozono consumida en el reactor.

Este equipo se modifica y se reinstala de nuevo en una campana extractora de gases. Se lleva a cabo un nuevo diseño de la distribución de los equipos, tuberías y válvulas para adaptarlo a la nueva ubicación y se intentan minimizar los tiempos de retardo en las medidas de ozono. Se comprueba el funcionamiento de la nueva instalación, para ello, se realizan secuencias de blanqueo TCF de pasta de lino que incorporan una etapa de tratamiento con ozono. Se determinan las propiedades de las pastas y los efluentes de blanqueo.

## **3.1 INTRODUCCIÓN**

La industria papelera es uno de estos sectores industriales que ha sufrido más cambios en las tres últimas décadas, especialmente en la sección de blanqueo de pastas. Las presiones medioambientales impulsan a la reducción del uso de cloro y sus derivados en el blanqueo de pastas a nivel mundial. En primer lugar, se tiende a la producción de pastas blanqueadas mediante secuencias ECF (Elemental Chlorine Free) y en segundo lugar, a la producción de pastas blanqueadas mediante secuencias TCF (Totally Chlorine Free).

La obtención de pastas TCF (Totally Chlorine Free) implica la utilización de reactivos químicos sin compuestos clorados, como el oxígeno o el peróxido de hidrógeno. Sin embargo, la combinación de estos reactivos no es suficiente para obtener la misma eficiencia que en la cloración. En cambio, el empleo de ozono o sistemas enzimáticos

como etapas para el incremento del grado de blanco en estos procesos de blanqueo TCF aparecen como buenas alternativas (Roncero 2001;Torres et al. 1997).

El ozono reacciona con la mayoría de grupos químicos presentes en la lignina residual pero también tiene tendencia a reaccionar con los hidratos de carbono, causando una reducción importante en la viscosidad de la pasta y por tanto en la selectividad del proceso. Estos problemas de selectividad asociados al blanqueo con ozono y los costos de instalación tienden a dificultar su aplicación en el blanqueo TCF. Esta tecnología ha sido aplicada industrialmente en el blanqueo de pastas madereras en algunas empresas, aunque no se ha aplicado en el blanqueo industrial de pasta de lino, y todavía requiere de estudios para la mejora de la selectividad del proceso (Roncero 2001).

Uno de los objetivos de la tesis es el estudio comparativo de dos tipos de blanqueo TCF sobre pasta de lino. Uno de ellos utilizando reactivos químicos (ozono) y el otro bioquímico mediante aplicación de enzimas (lacasa). Se pretende realizar una comparación de las propiedades de las pastas y los efluentes obtenidos en cada uno de los tratamientos. Para ello se realizan unos primeros estudios para el análisis del buen funcionamiento del equipo de blanqueo con ozono a alta consistencia y se decide modificar la instalación existente.

El tratamiento con ozono se realiza en un sistema que permite conocer en todo momento la cantidad de ozono consumida por la pasta. Este sistema ha sido especialmente automatizado e instalado en el laboratorio de la Especialidad Papelera y Gráfica (ETSEIAT-UPC), que además ha elaborado un programa software para el control del proceso. La instalación se ha llevado a cabo gracias a la realización de diferentes proyectos finales de carrera y de diversos estudios (Alsamora 2007;León 2002;Martín 1999;Martínez 1994;Martínez 1995;Oliva 2005). En cada uno de los proyectos se han ido realizando diversas modificaciones para mejorar la instalación; de manera que la información se encuentra dispersa en cada uno de los proyectos.

Se reinstala de nuevo el equipo en una campana extractora de gases. Se lleva a cabo un nuevo diseño de distribución de equipos, tuberías y válvulas para adaptarlo a la nueva ubicación. Se identifican aquellos aspectos del programa informático y de la propia instalación que pueden ser modificados para su adaptación a los nuevos estudios de blanqueo. En el nuevo diseño se intentan minimizar los tiempos de retardo acortando al máximo las tuberías teniendo en cuenta las limitaciones de espacio de la campana y los equipos.

## 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el capítulo 2 “Materiales y métodos” se describe específicamente la metodología con un mayor detalle.

### 3.2.1 MATERIA PRIMA

La pasta cruda de lino ha sido suministrada por la empresa CELESA, obtenida mediante un proceso de cocción química NaOH-AQ (sosa-antraquinona). Por otra parte, el sistema lacasa mediador se aplica tras haber realizado el lavado ácido a la pasta cruda de lino. Este lavado permite acondicionar la pasta al pH 4 del tratamiento lacasa mediador y extraer restos de lejía residual que no se han eliminado en el lavado industrial. De modo que en ambos estudios, químico y bioquímico, se considera la pasta inicial como la pasta de lino tras realizar este lavado ácido. Las propiedades de la pasta cruda e inicial son las que se indican en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1. Características de la pasta cruda de lino y de la pasta inicial que se utiliza en el estudio del blanqueo con ozono.**

	Pasta cruda lino	Pasta inicial
Índice kappa	11,0	10,8
Blancura (%ISO)	33,6	34,1
Viscosidad (mL·g <sup>-1</sup> )	970	-

### 3.2.2 ETAPA DE BLANQUEO CON OZONO (ETAPA Z)

#### 3.2.2.1 Lavado ácido y preparación de muestra

Antes de realizar el tratamiento con ozono se realiza un lavado ácido a la pasta con ácido sulfúrico a pH 4 a consistencia de 1,5 %odp durante 30 min. Se lava la pasta con agua y se acondiciona de nuevo la pasta a pH 2. La pasta se centrifuga sin lavar hasta adquirir una consistencia del 40 %odp y se flufila.

#### 3.2.2.2 Blanqueo con ozono

La etapa Z en la secuencia de blanqueo ZP y ZE se realiza en la planta piloto de ozonización del Grupo de Investigación Papelero y Gráfico. Se realizan tres tratamientos a distintas dosis de ozono (0,4, 0,5 y 0,6 %odp). Se efectúan sobre 20 g de pasta al 40 %odp flufilada a temperatura ambiente.

Al acabar el tratamiento se realiza un lavado de la pasta al 3 %odp de consistencia y se recogen las lejías de este lavado para el posterior análisis de efluentes de blanqueo. Posteriormente se lava la pasta con agua descalcificada y destilada.

### **3.2.3 ETAPA DE EXTRACCIÓN ALCALINA (ETAPA E)**

A las pastas obtenidas después de la etapa Z realizada a la dosis de 0,6 %odp se les aplica una etapa de extracción alcalina. Mediante esta etapa se consigue solubilizar y extraer aquellas fracciones de lignina no solubles al pH de la etapa de tratamiento con ozono. La etapa E se realiza en el reactor individual oscilante Easydye de Datacolor. Los tratamientos se efectúan sobre 5 g de pasta al 5 %odp de consistencia. Las condiciones de esta etapa son 1,5 %odp de NaOH durante 120 min a una temperatura de 90 °C.

### **3.2.4 ETAPA DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (ETAPA P)**

A las pastas obtenidas después de la etapa Z realizada a la dosis de 0,6 %odp se le aplica una etapa de blanqueo con peróxido de hidrógeno. La etapa P se realiza en el reactor individual oscilante Easydye de Datacolor. Los tratamientos se efectúan sobre 5 g de pasta al 5 %odp de consistencia. Las condiciones de esta etapa son 3 %odp de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1,5 %odp de NaOH, 1 %odp de DTPA, 0,2 %odp de MgSO<sub>4</sub> durante 120 min a una temperatura de 90 °C.

### **3.2.5 PROPIEDADES DE PASTAS Y EFLUENTES**

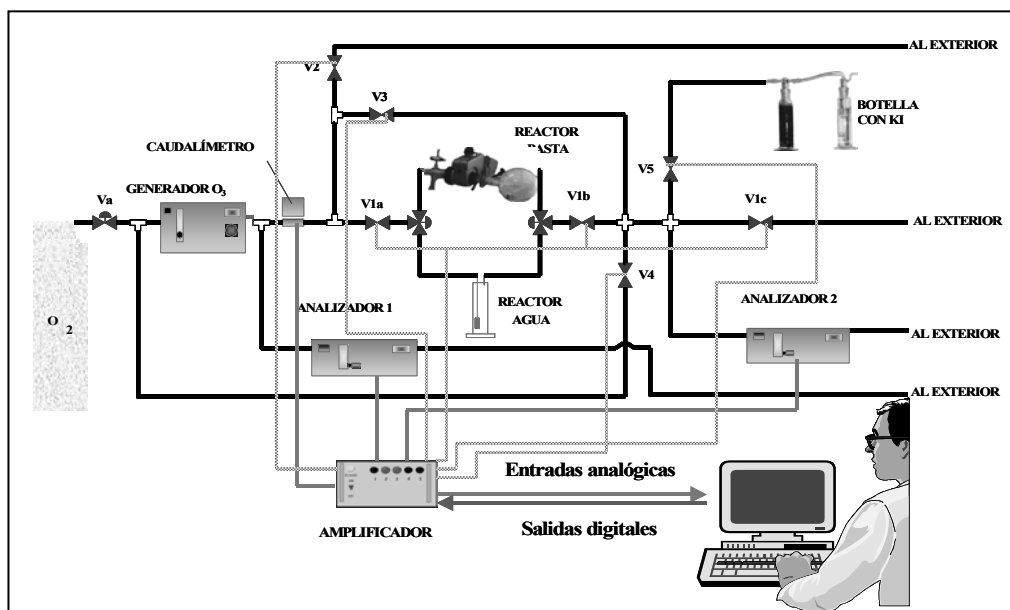
Después de realizar la etapa Z, E y P se caracterizan las muestras, se miden las propiedades de blancura, índice kappa y viscosidad según la normativa ISO correspondiente y se caracterizan los efluentes, se miden las propiedades de DQO y color según la normativa correspondiente.

## **3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.3.1 MODIFICACIÓN DEL EQUIPO DE OZONIZACIÓN**

#### **3.3.1.1 Estudio de la instalación inicial**

La instalación de tratamiento con ozono está formada por un generador de ozono, dos analizadores de ozono, un caudalímetro, dos reactores (uno para baja consistencia y el otro para alta) y un ordenador para el control del equipo mediante una tarjeta de adquisición de datos y un software en Labview©. La figura Fig. 3-1 muestra un esquema de la instalación inicial del equipo de ozono.



**Fig. 3-1. Esquema de la instalación inicial de ozono del Laboratorio de la Especialización Papelera y Gráfica.**

Los analizadores de ozono están colocados antes y después del reactor, para así poder medir la concentración de ozono a la entrada y a la salida (cantidad de ozono que no reacciona con la pasta) del reactor. El sistema de blanqueo tiene en cuenta el calibrado de los analizadores que se realiza mediante un método yodimétrico.

Mediante la tarjeta de adquisición de datos y el programa creado con el Labview 7.0 Express, se tiene un control automático de todo el circuito de blanqueo. El programa calcula la dosis de ozono consumido (cantidad que realmente reacciona con la pasta) cada segundo, utilizando los datos de concentración de ozono en la entrada y en la salida, medidos por los dos analizadores. De esta manera, el proceso no finaliza hasta que ha reaccionado con la pasta, exactamente la cantidad de ozono que se desea.

Así pues, antes de empezar con el blanqueo se inicia el programa que paso a paso va indicando mediante la visualización de instrucciones lo que se debe hacer como por ejemplo, abrir la botella del oxígeno, poner en marcha el generador y analizadores, etc. Se debe dejar un tiempo de calentamiento, a partir del cual se puede empezar el blanqueo colocando la pasta en el reactor e introduciendo en el programa la cantidad de ozono consumido que se desee. El programa se parará cuando haya reaccionado la dosis de ozono introducida. Finalizado el blanqueo, el programa proporciona un fichero con todos los datos introducidos por el usuario y los calculados por el propio programa como por ejemplo, la dosis medida por los analizadores cada segundo. Para los estudios de blanqueo se utiliza el reactor de alta consistencia (40 %odp) mientras

que para los estudios de cinética se recurre al reactor de baja consistencia (0,5 %odp).

Preexperiencias para realizar el análisis de la instalación

Se ha analizado el funcionamiento de la instalación y se han realizado tratamientos con ozono en el reactor de baja consistencia, en el que se ha adicionado un volumen de 350 mL de agua destilada.

Experiencia A

Se realizan una serie de experiencias de blanqueo (Exp 1 a Exp 5). Se fija una frecuencia en el generador de manera que a  $150 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$  la concentración de ozono producida por el generador (CPG) es de  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En cada una de las experiencias, antes de comenzar la descarga de ozono en el reactor, se fija un caudal distinto a la entrada del generador (Q) de 130 a  $150 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ , se registra la concentración de ozono ( $\text{O}_3$ ) durante los tratamientos (Tabla 3-2 y Fig. 3-2 a).

Experiencia B

Se realiza una segunda experiencia durante la cual se varía el caudal de oxígeno a la entrada del equipo mientras tiene lugar la descarga (Tabla 3-2 y Fig. 3-2 b).

**Tabla 3-2. Experiencias de descarga con agua destilada**

<b>Experiencia A</b>	<b>Q (<math>\text{L}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>	<b>CSR (<math>\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}</math>)</b>
Exp 1	140	29,5
Exp 2	145	29,0
Exp 3	150	28,0
Exp 4	150	28,0
Exp 5	130	30,4
<b>Experiencia B</b>	<b>Q (<math>\text{L}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>	<b>CSR (<math>\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}</math>)</b>
Caudal 1	148	27,2
Caudal 2	138	28,3
Caudal 3	129	29,8
Caudal 4	158	25,4

Observaciones realizadas durante los ensayos en el diseño de la instalación:

Se detecta ruido eléctrico en las medidas de caudal y de concentración de ozono. En la Fig. 3-2 se observa que cuando tienen lugar las descargas, el caudal de gas disminuye debido al aumento en la pérdida de carga. También puede verse que un aumento del caudal de gas supone una disminución de la concentración de ozono medida en el analizador.

Se detectan picos de ozono al comenzar la descarga en el reactor. Estos picos son distintos en cada experiencia y se deben al ozono que queda acumulado entre las válvulas V1a y V1b (Fig. 3-1), tanto en los tramos de tubería como en el reactor. Debido a lo expuesto anteriormente, al abrir el reactor para extraer la pasta, se detecta olor a ozono. Se distinguen tres fases en las lecturas de concentración de ozono en función del tiempo registrados por el programa informático:

Fase 1) Al inicio de la experiencia se observa un tiempo de retardo desde que se empieza a contabilizar el tiempo, a partir de la apertura de válvulas, hasta que el gas ozono es detectado por el analizador. En esta fase se observa el pico de ozono.

Fase 2) En una segunda fase el analizador detecta un aumento rápido de la concentración de ozono a la salida del reactor. Se produce una mezcla rápida entre el oxígeno que queda en el sistema y el ozono que se ha introducido. Cuando hay agua en el reactor la nueva corriente de gas con ozono desplaza el oxígeno y satura el agua, por eso esta etapa es algo más lenta respecto al reactor vacío.

Fase 3) Se llega al estado estacionario. El analizador detecta una concentración constante de ozono a la salida del reactor. En este momento se espera que todo el ozono que entra en el sistema (CPG) sea igual al ozono que sale del reactor (CRS). En las experiencias realizadas se observa que la CPG es superior a la CRS, esto puede ser debido a fugas en el sistema o a problemas de regulación de caudal.

Debido a las consideraciones anteriormente expuestas, la masa de ozono acumulada (MOA) que se calcula mediante el programa informático, es algo superior al MOA esperado. De hecho, se detecta un cierto consumo de ozono en el sistema cuando el reactor está vacío.

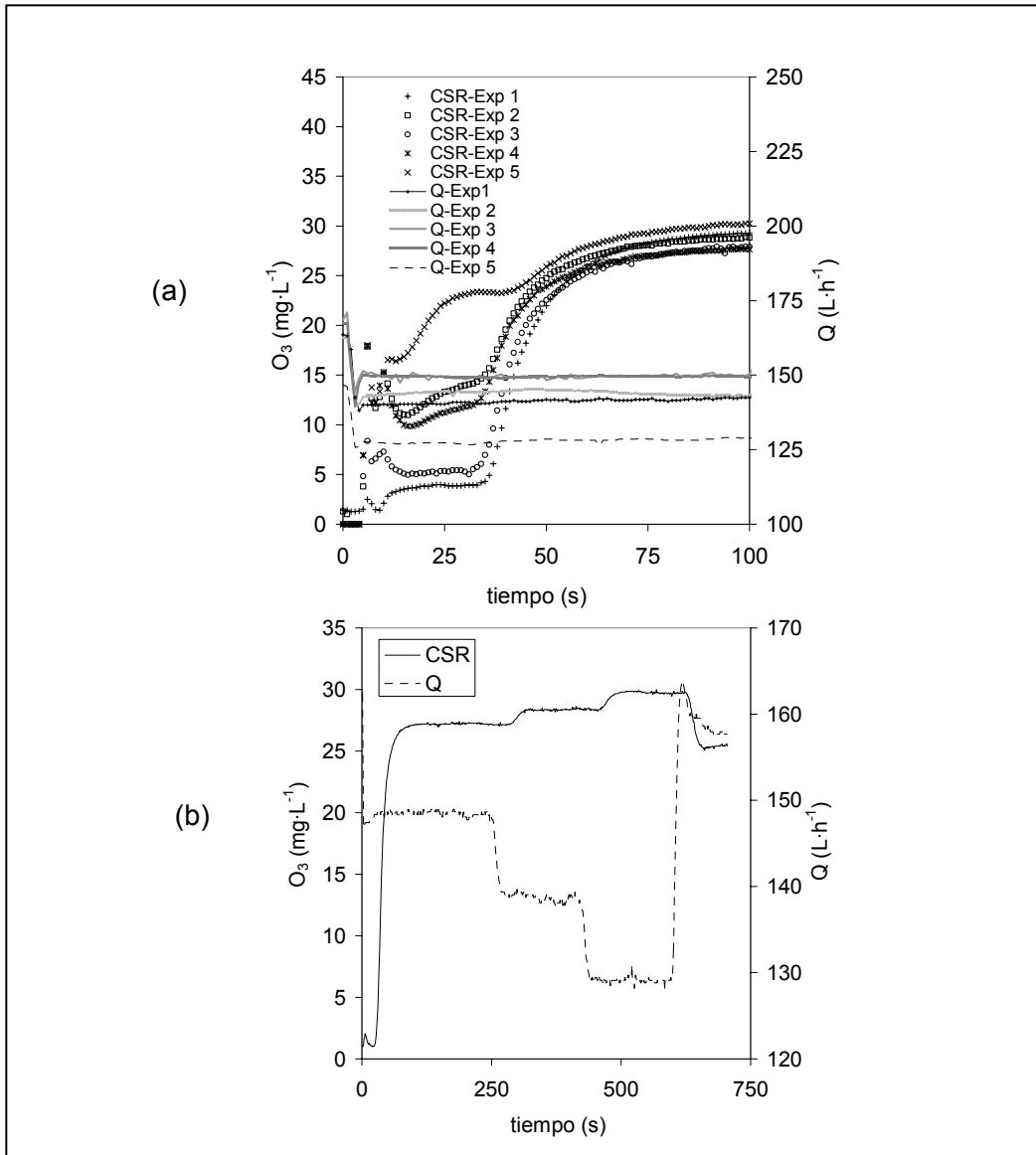


Fig. 3-2. Experiencias de descarga con agua destilada. Experiencia A (a) y experiencia B (b).

### 3.3.1.2 Modificaciones realizadas en el equipo de ozonización

En el programa informático

Se realiza un estudio del programa informático y se elabora un manual (Oliva 2005) en que se describe la utilidad de cada uno de los archivos del programa para facilitar su



comprensión. Antes de proceder al desmantelamiento de la instalación se realizan una serie de modificaciones en el programa informático:

a) Se ha calculado la disminución de caudal que se produce debido a las pérdidas de carga durante la descarga en el reactor y en los frascos lavadores. En el programa informático se ha introducido una advertencia que informa al usuario de la necesidad de aumentar el caudal de gas hasta un determinado valor, de esta manera el caudal de gas durante la descarga (CSR) es el mismo que cuando se mide la concentración de oxígeno a la entrada (CPG).

d) En el programa "ajustar.vi" se puede visualizar un gráfico que permite observar variaciones de concentración de ozono (CPG) en función del tiempo, mientras ésta se está ajustando al valor de consigna. De este modo se puede pasar a la siguiente instrucción cuando la lectura de concentración se ha estabilizado. Se introduce la frecuencia del ozonizador como variable global en el programa, de manera que este valor queda registrado. Esta modificación permite tener un control del estado del generador.

e) El formato de datos de Excel en el programa "excelfichapasta.vi" se ha corregido. En la función "To Fraccional" se incluye el número de decimales del número que se introduce. También se introduce el valor de frecuencia del ozonizador en la hoja de Excel. Cuando se alcanza el 100 % del MOA, aparece un mensaje que pide al usuario que disminuya la frecuencia y desconecte el interruptor del ozonizador; así puede pasar una corriente de oxígeno de limpieza por el reactor. El programa sigue registrando los datos de CSR hasta que el usuario pulsa el botón de "Stop blanqueo".

f) En "limpieza\_sensor.vi" se ha introducido una ventana en la que se visualiza la concentración de ozono que mide el analizador y así se comprueba que se ha eliminado todo el ozono.

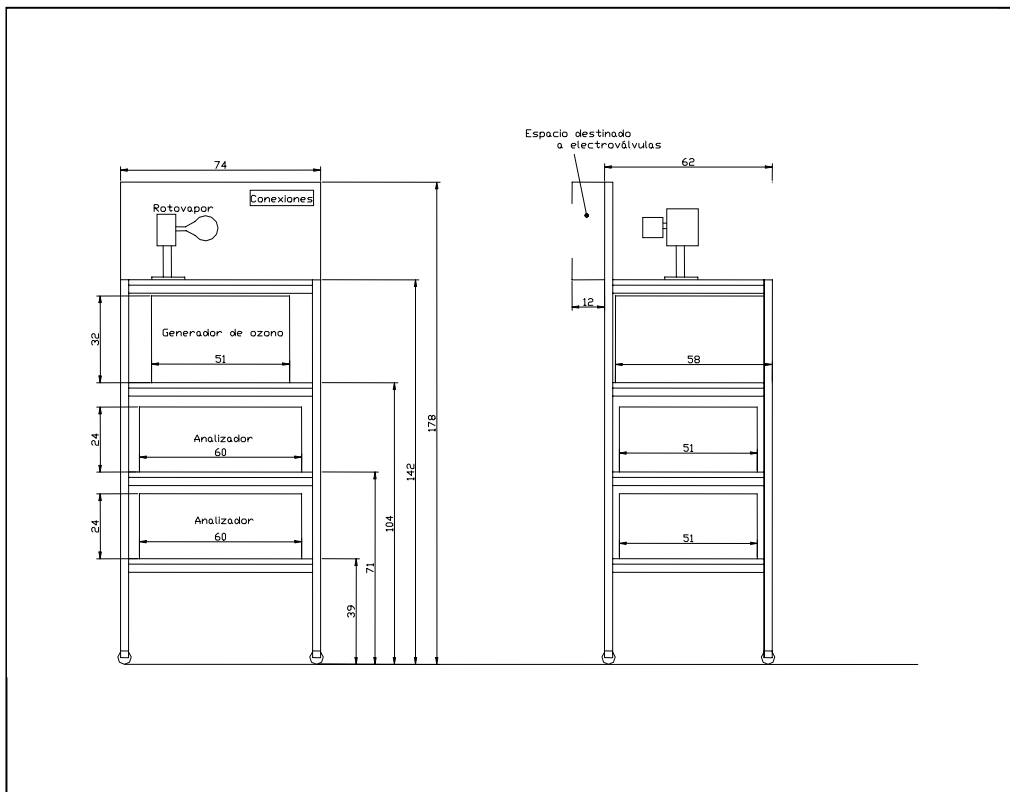
i) Se debe ajustar la concentración de ozono del analizador a  $0,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en el programa "cero.vi". Se visualiza en pantalla la concentración de ozono calculada a partir de la recta de calibrado introducida en el programa.

#### Reinstalación del equipo de ozono en la campana de extracción

El equipo de ozonización compuesto por el generador de ozono, analizadores, caudalímetro, reactor, amplificador y las respectivas válvulas se hallaba instalado en una estructura metálica cuyas dimensiones eran muy superiores a las de la campana, por lo que la primera modificación fue su reducción tanto en anchura como en profundidad. Al volver a colocar los equipos en la estructura se adoptaron nuevas

decisiones; los analizadores y el generador, por cuestión de espacio, han cambiado su ubicación en la instalación (Fig. 3-3 y Fig. 3-4).

Todas las válvulas han sido colocadas en la parte superior de la estructura por detrás del estante superior. Se ha estudiado su colocación para reducir al máximo el espacio y los puntos muertos del circuito en los que podrían quedar restos de ozono residual, como la posición de la válvula V5 de calibrado del analizador que se ha colocado después del caudalímetro (Fig. 3-5, Fig. 3-6 y Fig. 3-7). Se ha incorporado un circuito de limpieza de oxígeno que permite limpiar el sistema de ozono sin tener que disminuir la producción de ozono del generador. De este modo se consiguen dos objetivos; se elimina el pico de ozono que aparece en el registro de los datos de CSR en función del tiempo y también se reducen las fugas de ozono al abrir el reactor para extraer la pasta. Las válvulas manuales, que daban la opción de trabajar a alta o baja consistencia, han sido substituidas por válvulas automáticas de tres vías. Todas las tuberías de salida de gas hacia el exterior se han conectado a una tubería general de descarga de gas.



**Fig. 3-3. Esquema de la instalación actual de ozono del Laboratorio de la Especialización Papelera y Gráfica.**

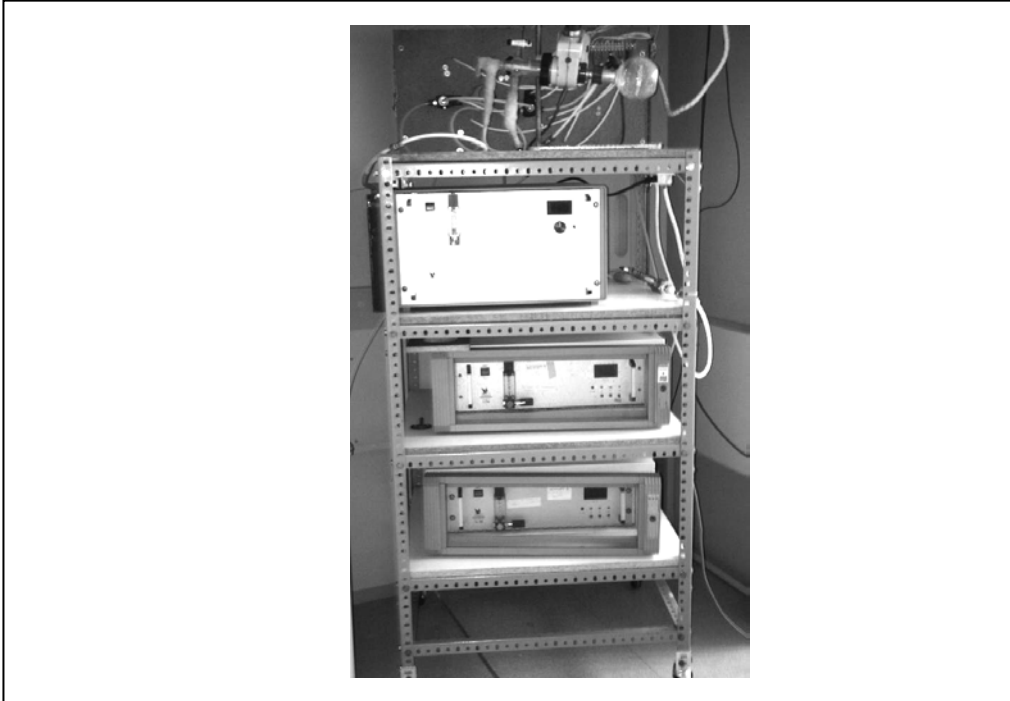


Fig. 3-4. Instalación actual de ozono del Laboratorio de la Especialización Papelera y Gráfica.

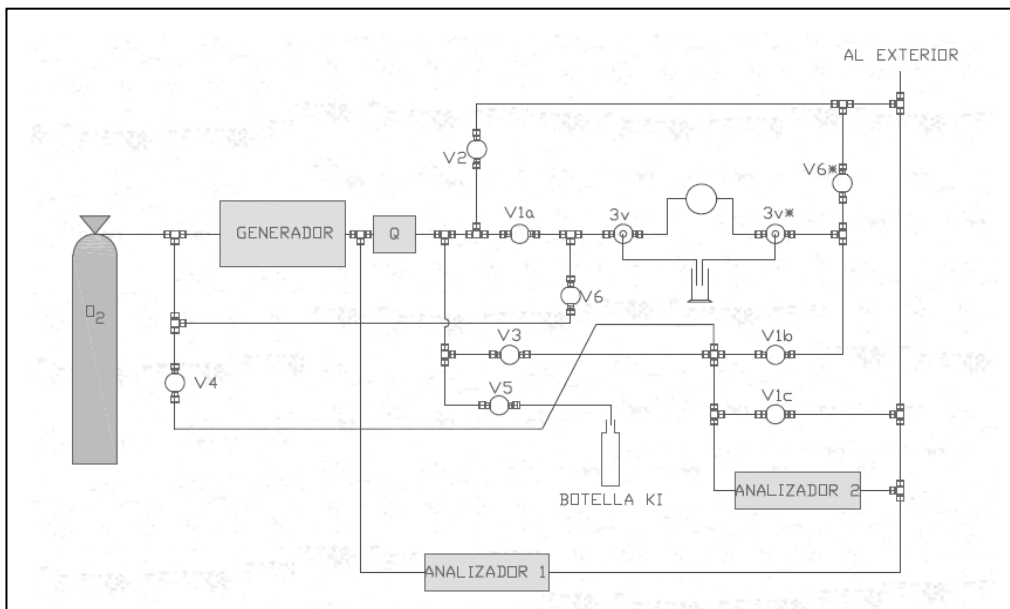
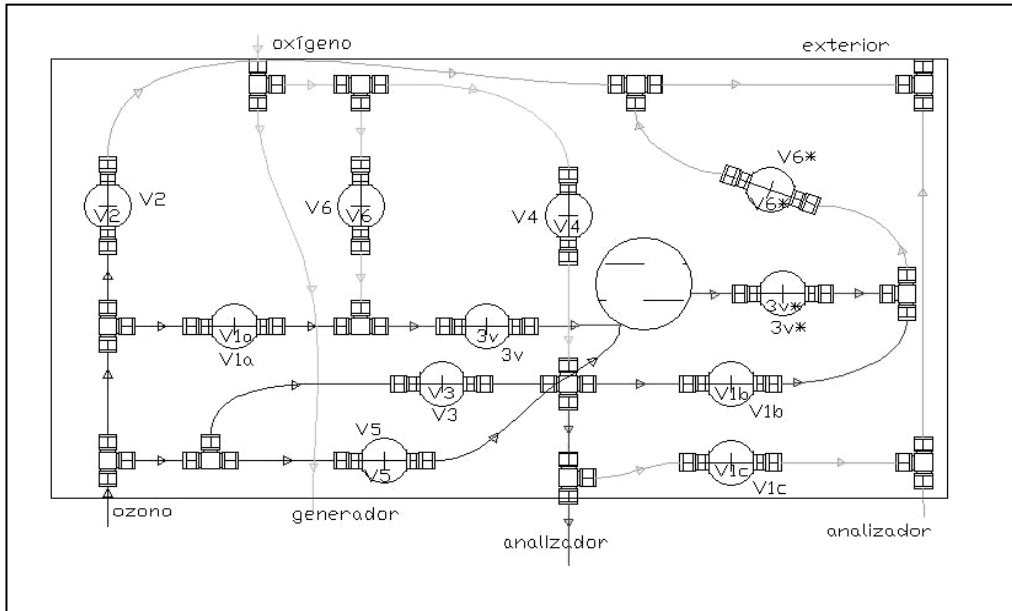


Fig. 3-5. Esquema de la instalación actual de ozono del Laboratorio de la Especialización Papelera y Gráfica.



**Fig. 3-6. Esquema de la posición de las válvulas en la instalación piloto actual.**



**Fig. 3-7. Parte trasera de la instalación piloto actual.**

Se ha realizado un nuevo diseño de la caja que contiene los amplificadores, transformadores y conversores para poder realizar el accionamiento de las válvulas e intentar eliminar ruidos eléctricos en las señales. Se han acondicionado las señales (convertor D/A, tarjeta de conexiones, tarjeta de adquisición de datos) de las nuevas válvulas instaladas. Esta caja se va a colocar fuera de la campana de extracción. En

lugar de utilizar la bombona de oxígeno, se conecta la entrada de oxígeno de la instalación de ozono a la corriente de oxígeno de la red del laboratorio. Se ha substituido el caudalímetro volumétrico por un caudalímetro másico (Alsamora 2007;Oliva 2005). Se ha realizado la programación de las instrucciones en el programa informático para poder accionar las nuevas válvulas y el caudalímetro desde el ordenador; así como el tratamiento de las señales del nuevo amplificador.

Se proponen las siguientes modificaciones a realizar en el futuro: la instalación de un destructor de ozono en la tubería de gases de salida al exterior y de un medidor de ozono disuelto en el reactor de baja consistencia, así como también la posibilidad de medir el caudal de entrada de gas al analizador.

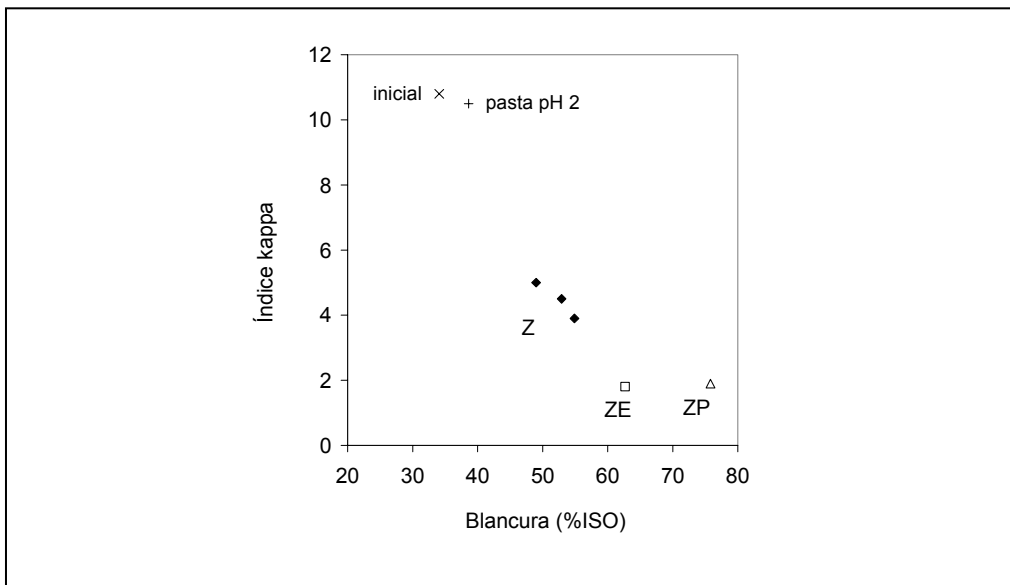
### **3.3.2 BLANQUEO DE PASTA CON OZONO**

Las propiedades de las pastas y los efluentes de blanqueo después de las etapas Z, E y P se muestran en la Tabla 3-3 y las figuras Fig. 3-8 y Fig. 3-9. El índice kappa de la pasta inicial es de 10,8. En la Tabla 3-3 y la Fig. 3-8 se observa que el lavado ácido de la pasta a pH 2 produce un aumento de blancura de 4 %ISO. La realización de la etapa Z a la pasta supone una disminución de índice kappa de más de 5 unidades y un aumento de blancura de más de 10 %ISO. En esta etapa, un aumento en la dosis de ozono produce una disminución de índice kappa y un aumento de blancura en la pasta. La etapa E disminuye el índice kappa en dos unidades y produce un aumento de blancura de 8 %ISO respecto la etapa anterior, debido a la disolución de lignina. La etapa P tiene un doble efecto sobre la pasta debido al pH alcalino del proceso y por la presencia del reactivo peróxido de hidrógeno. La etapa E se realiza a la misma dosis de NaOH que la etapa P, por lo que la diferencia en las propiedades de las pastas de la secuencia ZP y ZE se atribuye al peróxido de hidrógeno. El índice kappa de la secuencia ZP es igual al de la secuencia ZE, por lo que la disminución índice kappa en la etapa P se debe al pH alcalino del proceso. En cambio, hay una diferencia de blancura de 9 %ISO entre ambas secuencias, de manera que el efecto individual del peróxido de hidrógeno en la etapa P es el blanqueo de la pasta, mientras que no actúa como reactivo deslignificante.

En cuanto a la viscosidad, en la etapa Z se produce una disminución de  $330 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$  respecto a la pasta inicial, por lo que esta etapa degrada fuertemente la celulosa. La realización de la etapa E no supone una disminución significativa de la viscosidad respecto a la etapa anterior. La viscosidad en la etapa P es unos  $100 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$  menor a la de la etapa E, por lo que la disminución de viscosidad en la etapa P se debe a la presencia del oxidante peróxido de hidrógeno, que produce una degradación de la celulosa en esta etapa.

**Tabla 3-3. Propiedades de las pastas y de los efluentes después de cada secuencia de blanqueo.**

Muestra	Índice kappa	Blancura (%ISO)	Viscosidad	L	a	b	DQO (kg·t <sup>-1</sup> )	Color (kgPtCo·t <sup>-1</sup> )
Pasta pH 2	10,5	38,6	-	-	-	-	-	-
Z 0,4%	5,0	49,0	-	81,6	1,9	11,2	2	2
Z 0,5%	4,5	52,9	-	83,6	1,7	10,6	2	3
Z 0,6%	3,9	54,9	635 ± 12	84,5	1,5	10,1	2	3
Z <sub>0,6%</sub> E	1,8	62,7	605 ± 2	87,9	1,15	8,5	6	
Z <sub>0,6%</sub> P	1,9	75,8	505 ± 7	-	-	-	-	-



**Fig. 3-8. Propiedades de las pastas.**

Los resultados de DQO y color en los efluentes son 2 kg·t<sup>-1</sup> y 3 kg·t<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 3-3). En la Fig. 3-9 no se observan diferencias apreciables entre las diferentes dosis de ozono utilizadas en la etapa Z; aunque podemos observar en el espectro de absorbancia que la señal correspondiente a Z 0,6% es superior a la de Z 0,5%; de manera que hay una mayor cantidad de lignina disuelta en los efluentes en el tratamiento Z 0,6%, que presenta un índice kappa menor.

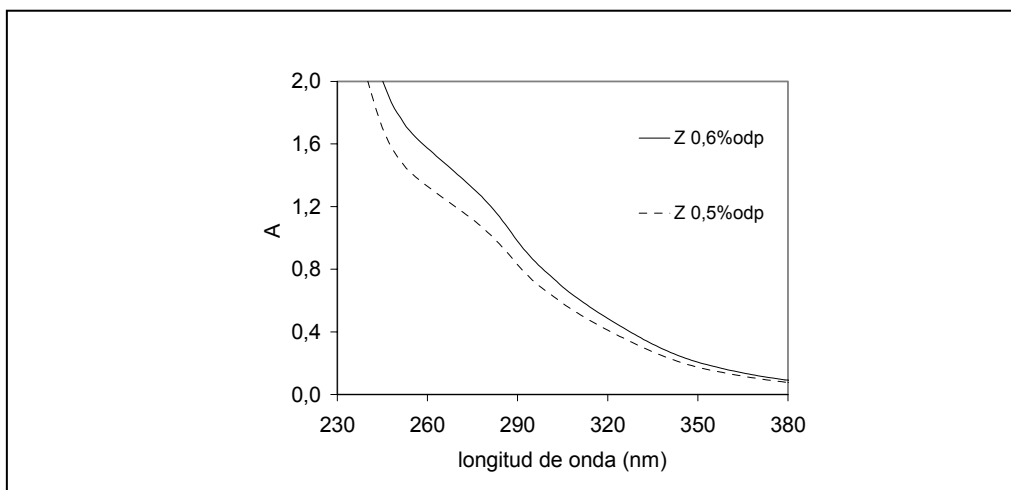


Fig. 3-9. Espectro de absorción de los efluentes de la etapa Z a partir de diluciones 1:10.

### 3.4 CONCLUSIONES

La instalación piloto de blanqueo con ozono diseñada por el Grupo de Investigación Papelero y Gráfico permite realizar los tratamientos de forma automatizada. Este equipo se modifica y se reinstala de nuevo en una campana extractora de gases. Se lleva a cabo un nuevo diseño de la distribución de los equipos, tuberías y válvulas para adaptarlo a la nueva ubicación y se intentan minimizar los tiempos de retardo en las medidas de ozono.

La pasta de lino se blanquea con ozono, consiguiendo que el índice kappa disminuya en esta etapa en más de 5 unidades y la blancura aumente en más de 10 %ISO. La realización de una etapa de extracción alcalina posterior a la etapa con ozono permite disminuir el índice kappa en dos unidades y aumentar la blancura en 8 %ISO. La etapa de peróxido de hidrógeno tiene un doble efecto debido al pH alcalino del tratamiento y a la presencia del reactivo oxidante. La disminución de índice kappa en la etapa P es del mismo orden que la producida en la etapa de extracción alcalina, por lo que se debe al pH alcalino del proceso. En cambio, hay una diferencia de blancura de 9 %ISO entre la secuencia ZE y la ZP, de manera que el efecto individual del peróxido de hidrógeno en la etapa P es el blanqueo de la pasta, no actúa como reactivo designificante.

La secuencia TCF química (ZP) que incluye un tratamiento con ozono y una etapa con peróxido de hidrógeno permite obtener un índice kappa de 1,9 y un grado de blancura de 75,6 %ISO.

### **3.5 BIBLIOGRAFÍA**

Alsamora,A. (2007) Estudio y puesta a punto de una instalación de ozono de laboratorio para la decoloración de efluentes y blanqueo de pastas para papel. Proyecto Final de Carrera. ETSEIAT. Universitat Politècnica de Catalunya.

León,J. (2002) Estudio de la instalación de ozono. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Martín,E. (1999) Diseño y mejora del control y calibración de un sistema automatizado de generación de ozono aplicado al blanqueo de pasta de papel. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Martínez,J. (1994) Tratamiento con ozono de una pasta kraft de frondosas predesignificada con oxígeno. Automatización y puesta a punto de un sistema compuesto por: un generador de ozono, analizador de ozono y sistema de adquisición de datos y su tratamiento. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Martínez,J.A. (1995) Estudio de las variables de la etapa de blanqueo con ozono y su control. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Oliva,A. (2005) Estudio y reinstalación del equipo de ozonización. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Roncero,M.B. (2001) Obtención de una secuencia "TCF" con la aplicación de ozono y enzimas, para el blanqueo de pastas madereras y de origen agrícola.Optimización de la etapa Z. Análisis de los efectos en la fibra celulósica y sus componentes. Universidad Politècnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Terrassa. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera.

Torres,A.L., Blanco,A., Pastor,F.I.J., Colom,F.J., Roncero,B. and Vidal,T. (1997) The use of a novel enzyme "Xylanase A" in the ECF bleaching of eucalyptus oxygen delignified kraft pulps. *9th Internacional Symposium on Wood and Pulping chemistry*. pp. 114-1-114-4.