

ÍNDICE ANEXOS

Anexo I- Descripción de ensayos previos realizados para llevar a cabo el diseño del reactor a escala piloto.....	i
Anexo II- Calibración de métodos	ii
II.1 Cuantificación de la concentración de TiO_2	ii
II.2 Cuantificación de la concentración de cafeína	iii
II.3 Cuantificación de la concentración de ácido salicílico	v
II.4 Cuantificación de la concentración de 2,3 DHBA.....	vi
II.5 Cuantificación de la concentración de 2,5 DHBA.....	vii
II.6 Cuantificación de radicales OH	viii
II.7 Cuantificación de la concentración de amoxicilina	viii
Anexo III- Descripción de las instalaciones	ix
III.1 Instalaciones a escala laboratorio.....	ix
III.1.1 Montaje del reactor de vidrio borosilicato (pyrex).....	ix
III.1.2 Descripción técnica de la cámara solar	x
III.2 Montaje y descripción de la instalación a escala piloto.....	x
Anexo IV- Resultados.....	xii
IV.1 Estudio de clarificación del agua con dióxido de titanio.....	xii
IV.1.1 Resultados detallados relativos a la decantación.....	xii
IV.1.2 Resultados detallados relativos a coagulación-floculación-decantación	xiii
IV.2 Hoja de cálculo (Excel®) para el diseño genérico de un proceso con TiO_2/UV	xvi

Anexo I- Descripción de ensayos previos realizados para llevar a cabo el diseño del reactor a escala piloto.

A raíz de los estudios que se realizan por Escudra (2018) en su tesis que está en proceso de redacción “Aplicación de procesos fotocatalíticos (TiO_2/UVA) para la mejora de la calidad de las aguas residuales depuradas producidas en EDARs o de origen industrial” se obtiene el reactor a escala piloto (Apartado 3.4.2) optimizado para la degradación de cafeína.

Primero se realiza la degradación de cafeína con una concentración inicial de 45 mg/L mediante TiO_2/UV en distintos dispositivos (cámara solar y reactor fototubular). A través de la ecuación 2.4 se obtiene la constante cinética que modela la degradación fotocatalítica de la cafeína en cada dispositivo.

En segundo lugar, mediante la ecuación 2.5 que propone Escudra (2018) se relacionan las constantes cinéticas (se obtienen con la ec. 2.4) con la intensidad expresada en $\text{W}\cdot\text{L}^{-1}$, a raíz de esta ecuación se obtiene la figura I.1.

El punto óptimo de intensidad se define como el valor donde la constante cinética alcanza su pico de velocidad sin malgastar intensidad. Escudra (2018) postula que el punto óptimo de intensidad es 0,3, que se observa en la figura I.1 ajustada a partir de la ecuación 2.5 ($\text{W}\cdot\text{L}^{-1}$).

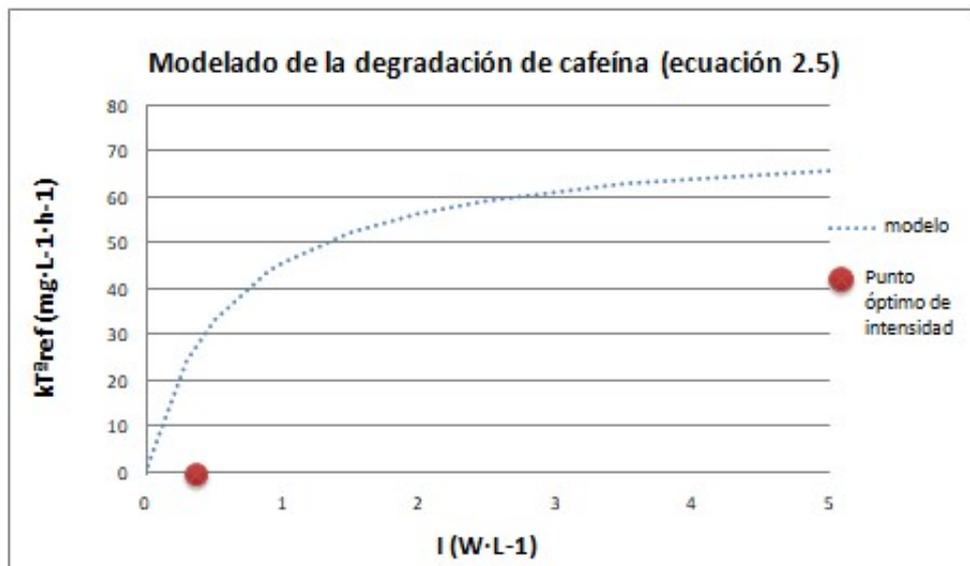


Figura I.1. Constante cinética de degradación de cafeína en función de la intensidad (UVA) por volumen del tratamiento y ajuste a la ecuación 2.5. (Escudra, 2018)

A partir del punto óptimo de intensidad que se observa en la figura I.1 y a través de la intensidad que emite un fluorescente UVA que se emplea a escala piloto (4,334 W) se obtiene el volumen óptimo de la instalación a escala piloto, 14,5 L y la constante cinética para poder modelar la degradación de la cafeína a escala piloto.

Se diseña el reactor a escala piloto (3.4.2) a partir de una tubería de aluminio comercial que puede contener 17 L de agua y un fluorescente UVA de 4,334 W, así se conserva la relación óptima de intensidad. Se realizan pruebas con cafeína a escala piloto donde se determina que el TRH mínimo para alcanzar un 99% de degradación de cafeína es 9 horas de tratamiento.

Anexo II- Calibración de métodos

II.1 Cuantificación de la concentración de TiO₂

A través de una recta de calibrado elaborada a partir de unos patrones de concentración se relaciona la turbidez que se obtiene tras medir en el turbidímetro cada muestra, con la concentración de TiO₂ (g·L⁻¹).

En la tabla II.1 se muestran los patrones de concentración de TiO₂ empleados (g/L) en agua destilada de los que se obtienen distintos valores de turbidez (NTU), a raíz de esto se origina la recta de calibrado con una R cuadrada de valor aproximadamente 1 que se puede observar en la figura II.1. La ec II.1 (regresión R²=0.999; rango 0-1,3 g·L⁻¹; límite detección 0.06 g·L⁻¹; Límite de cuantificación 0,18 g·L⁻¹) se obtiene a partir de la regresión lineal de los datos de la tabla II.1.

Se puede utilizar para otros tipos de aguas teniendo en cuenta que la pendiente se conserva y lo que se debe modificar en este caso es la ordenada en el origen. Se procede sumando a la ordenada en el origen de la ec II.1 el valor de turbidez obtenido de la nueva matriz acuosa que se quiera emplear.

Tabla II.1. Valores de turbidez que se han obtenido a partir de distintos patrones de concentración de TiO₂ en agua destilada para obtener la ec. II.1.

Concentración TiO ₂ (g/L)	Turbidez (NTU)
0	0,26
0	0,26
0,001	7,37
0,001	7,39
0,005	21,5
0,005	22
0,01	48,8
0,01	48,9
0,05	233
0,05	235
0,1	425
0,1	428
1	5810
1	5821
1,3	7902
1,3	7929

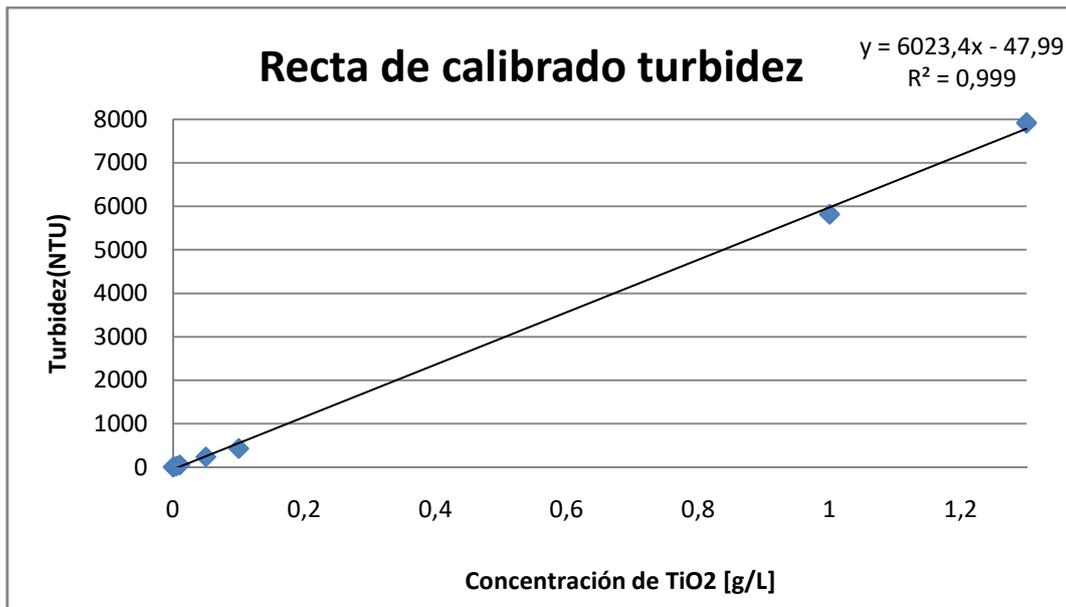


Figura II.1. Recta de calibrado que se genera a través de la medición de la turbidez (NTU) de distintos patrones de concentración de TiO₂ (g/L) en agua destilada.

$$NTU = 6023,4 \times [TiO_2] - 47,99$$

Ecuación II.1

II.2 Cuantificación de la concentración de cafeína

A través de una recta de calibrado elaborada a partir de unos patrones de concentración de cafeína se relaciona la absorción que se obtiene tras medir en el espectrofotómetro cada muestra previamente microfiltrada, con la concentración de cafeína (mg/L).

En la tabla II.2 se muestran los patrones de concentración de cafeína empleados (mg/L) en agua destilada de los que se obtienen distintos valores absorbancia, a raíz de esto se origina la recta de calibrado que se puede observar en la figura II.2. La ec. II.2 se obtiene a partir de la regresión lineal de los datos de la tabla II.2. Se obtiene de la ec. II.2 (regresión $R^2=0.9992$; rango $1.1-50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; límite detección $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Límite de cuantificación $1.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Tabla II.2. Valores de absorbancia que se han obtenido a partir de distintos patrones de concentración de cafeína en agua destilada para obtener la ec. II.2.

Concentración (mg/L)	Absorbancia a 272,5nm
50	2,501
50	2,497
50	2,498
45	2,297
30	1,58
25	1,379
25	1,376
25	1,377
15	0,87
10	0,58
10	0,582
10	0,579
5	0,343
5	0,345
5	0,344
1	0,162
1	0,163
1	0,161
0,5	0,132
0,5	0,121
0,1	0,099

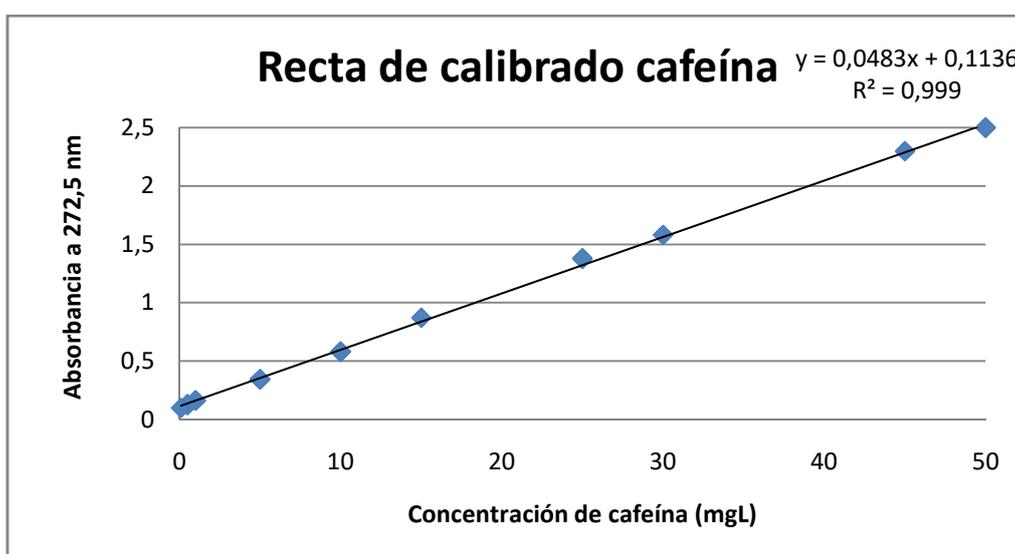


Figura II.2. Recta de calibrado que se genera a través de la medición de la absorbancia de distintos patrones de concentración de cafeína en agua destilada.

$$\text{Absorbancia} = 0,0483 \times [\text{cafeína}] + 0,1136$$

Ecuación II.2

II.3 Cuantificación de la concentración de ácido salicílico

A través de una recta de calibrado elaborada a partir de unos patrones de concentración de ácido salicílico se relaciona la absorción que se obtiene tras medir en el espectrofotómetro cada muestra previamente microfiltrada, con la concentración de ácido salicílico (mM).

En la tabla II.3 se muestran los patrones de concentración de ácido salicílico empleados (mM) en agua destilada de los que se obtienen distintos valores absorbancia, a raíz de esto se origina la recta de calibrado que se puede observar en la figura II.3. La ec. II.3 se obtiene a partir de la regresión lineal de los datos de la tabla II.3. Se obtiene de la ec. II.3 (regresión $R^2=0.9949$; rango 0,02-1 mM).

Tabla II.3. Valores de absorbancia que se han obtenido a partir de distintos patrones de concentración de ácido salicílico en agua destilada para obtener la ec. II.3.

Concentración de ácido salicílico [mM]	Absorbancia a 290nm
1	2,632
0,8	2,247
0,6	1,793
0,4	1,233
0,2	0,649
0,1	0,34
0,05	0,206
0,02	0,111

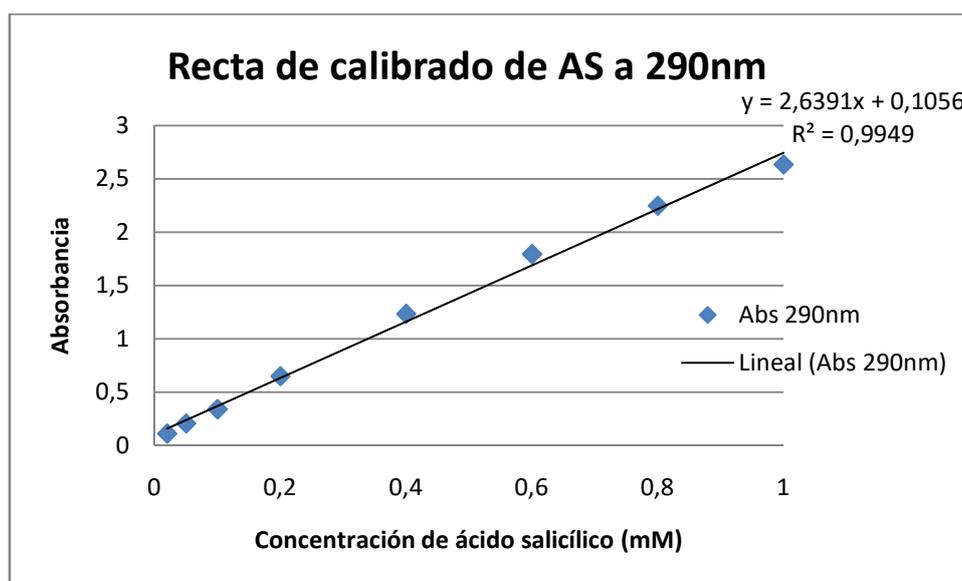


Figura II.3. Recta de calibrado que se genera a través de la medición de la absorbancia de distintos patrones de concentración de ácido salicílico en agua destilada.

$$\text{Absorbancia} = 2,6391 \times [\text{ácido salicílico}] + 0,1056$$

Ecuación II.3

II.4 Cuantificación de la concentración de 2,3 DHBA

A través de una recta de calibrado elaborada a partir de unos patrones de concentración de 2,3 DHBA se relaciona la absorción que se obtiene tras medir en el espectrofotómetro cada muestra previamente microfiltrada, con la concentración de 2,3 DHBA (mM).

En la tabla II.4 se muestran los patrones de concentración de 2,3 DHBA empleados (mM) en agua destilada de los que se obtienen distintos valores absorbancia, a raíz de esto se origina la recta de calibrado que se puede observar en la figura II.4. La ec. II.4 se obtiene a partir de la regresión lineal de los datos de la tabla II.4. Se obtiene de la ec. II.4 (regresión $R^2=0.9967$; rango 0,05-1 mM).

Tabla II.4. Valores de absorbancia que se han obtenido a partir de distintos patrones de concentración de 2,3 DHBA en agua destilada para obtener la ec. II.4.

Concentración de 2,3-DBHBA [mM]	Absorbancia a 310nm
1	2,758
0,8	2,376
0,5	1,53
0,2	0,637
0,1	0,346
0,05	0,204

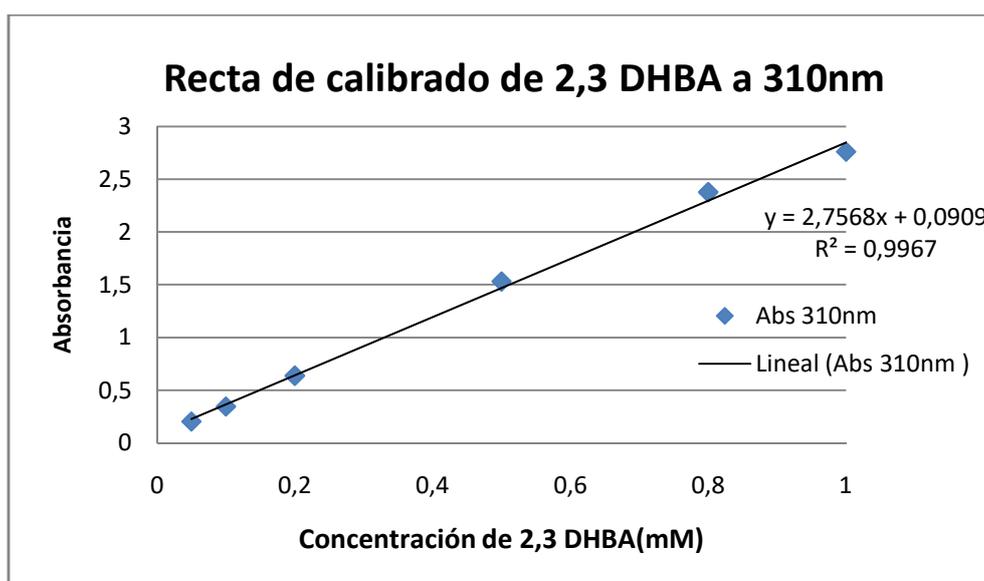


Figura II.4. Recta de calibrado que se genera a través de la medición de la absorbancia de distintos patrones de concentración de 2,3 DHBA en agua destilada.

$$\text{Absorbancia} = 2,7568 \times [2,3 \text{ DHBA}] + 0,0909$$

Ecuación II.4

II.5 Cuantificación de la concentración de 2,5 DHBA

A través de una recta de calibrado elaborada a partir de unos patrones de concentración de 2,5 DHBA se relaciona la absorción que se obtiene tras medir en el espectrofotómetro cada muestra previamente microfiltrada, con la concentración de 2,5 DHBA (mM).

En la tabla II.5 se muestran los patrones de concentración de 2,5 DHBA empleados (mM) en agua destilada de los que se obtienen distintos valores absorbancia, a raíz de esto se origina la recta de calibrado que se puede observar en la figura II.5. La ec. II.5 se obtiene a partir de la regresión lineal de los datos de la tabla II.5. Se obtiene de la ec. II.5 (regresión $R^2=0.9835$; rango 0,05-1 mM).

Tabla II.5. Valores de absorbancia que se han obtenido a partir de distintos patrones de concentración de 2,5 DHBA en agua destilada para obtener la ec. II.5.

[2,5-DBHBA] [mM]	Abs 330nm
1	2,762
0,8	2,512
0,5	1,753
0,2	0,706
0,1	0,372
0,05	0,204

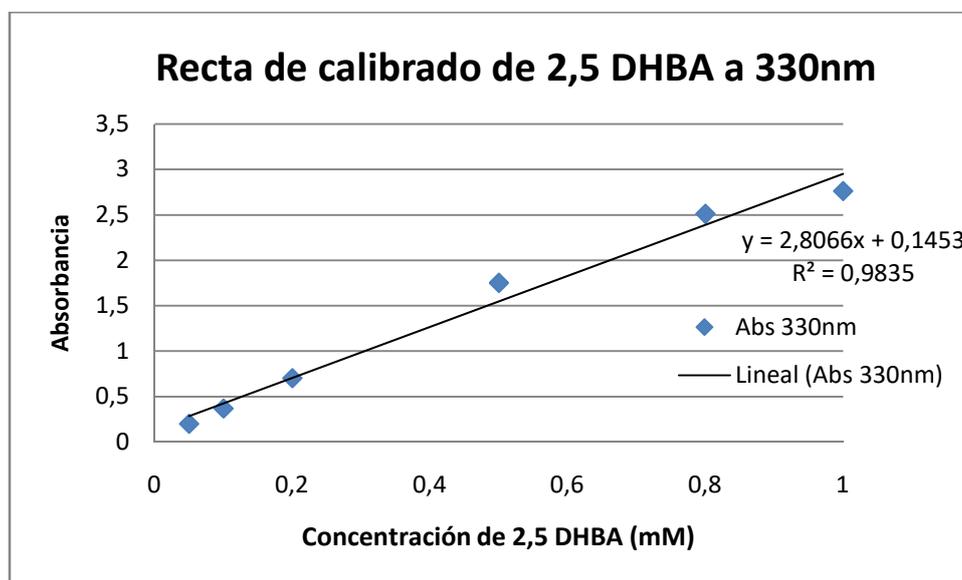


Figura II.5. Recta de calibrado que se genera a través de la medición de la absorbancia de distintos patrones de concentración de 2,5 DHB en agua destilada.

$$\text{Absorbancia} = 2,8066 \times [2,5 \text{ DHBA}] + 0,1453$$

Ecuación II.5

II.6 Cuantificación de radicales OH

A través de varias rectas de calibrado elaboradas en agua destilada a partir de unos patrones de concentración (M) de ácido salicílico (SA), 2,3 DHBA y 2,5 DHBA se relaciona la absorción que se obtiene tras medir en el espectrofotómetro cada muestra a 3 longitudes de onda distintas (290, 310 y 330nm), con la concentración de los 3 compuestos.

En la tabla II.6 se muestran las pendientes (absortividad) que se generan a partir de las rectas de calibrado. Las rectas de calibrado se obtienen mediante la regresión de los valores de absorbancia de los distintos patrones de cada compuesto a las 3 longitudes de onda. Se pueden determinar las absorbancias de una muestra de concentración conocida a través de la ecuación II.6. A partir de la ecuación II.7 se pueden relacionar las absorbancias de la muestra a las 3 longitudes de onda con la concentración de cada compuesto (SA, 2,3 DHBA y 2,5 DHBA).

Tabla II.6. Pendiente (absortividad) de las rectas de calibrado de cada compuesto a 290, 310 y 330nm.

Compuesto	Longitud de onda λ (nm)	Absortivity, ϵ (M ⁻¹ cm ⁻¹) SIN FORZAR AL CERO	R ²
SA	290	2686,2	0,9927
SA	310	2281	0,9975
SA	330	211,7	0,9775
2,3	290	1664,3	0,9993
2,3	310	2756,8	0,9967
2,3	330	1333,2	0,9976
2,5	290	887,95	0,9985
2,5	310	2611,6	0,9909
2,5	330	3126,1	0,9953

$$\begin{pmatrix} A_1(t) \\ A_2(t) \\ A_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2686,2 & 1664,3 & 887,95 \\ 2281 & 2756,8 & 2611,6 \\ 211,7 & 1333,2 & 3126,1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} [X](t) \\ [Y](t) \\ [Z](t) \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación II.6}$$

$$\begin{pmatrix} [X](t) \\ [Y](t) \\ [Z](t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2686,2 & 1664,3 & 887,95 \\ 2281 & 2756,8 & 2611,6 \\ 211,7 & 1333,2 & 3126,1 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} A_1(t) \\ A_2(t) \\ A_3(t) \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación II.7}$$

II.7 Cuantificación de la concentración de amoxicilina

El análisis cuantitativo de amoxicilina se externaliza a Nasertic donde se analiza mediante HPLC y su límite de cuantificación es 2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Anexo III- Descripción de las instalaciones

III.1 Instalaciones a escala laboratorio

III.1.1 Montaje del reactor de vidrio borosilicato (pyrex)

Para el montaje de la instalación que se puede observar en la figura III.1 se procede en este orden:

- 1) Se introduce el agitador magnético en el reactor que se coloca encima de la placa agitadora.
- 2) Se vierten 330mL del agua a tratar ya mezclada con la cantidad de compuesto y TiO_2 correspondiente en el reactor.
- 3) Se introduce la lámpara en una cubierta de cuarzo para poder permitir el paso de la luz UVC e impedir al mismo tiempo el contacto de la lámpara con el agua.
- 4) Se introduce la lámpara junto con su camisa protectora de cuarzo en el reactor. Estos sellan y encajan gracias al acabado esmerilado de ambos cierres.
- 5) Se enchufan la placa agitadora y la fuente de alimentación de la lámpara y se pone a 300 rpm la agitación.
- 6) Se pone en marcha la fuente de radiación siempre con unas gafas de protección contra la luz UVC.
- 7) Se baja inmediatamente la campana que previamente ha sido aislada lumínicamente para evitar cualquier contacto con la luz UVC que generase la lámpara.

En la figura III.1 se advierte el montaje completo de la instalación en el que se suele tratar un volumen de 330 mL por cada experimento realizado agitado mediante agitación magnética.



Figura III.1 .Montaje completo de la instalación con el reactor de pyrex y la fuente de radiación UVC a escala laboratorio.

III.1.2 Descripción técnica de la cámara solar

La cámara está equipada con una lámpara de Xenón que emite luz a una longitud de onda entre 290 y 800 nm, simulando la luz solar natural. La emisión del rango de radiación necesario (radiaciones UVA y visible) se consigue mediante dos filtros que cubren la lámpara, uno de cuarzo y otro adicional de ventana (Xenochrome 320). El filtro de ventana intercepta las longitudes de onda por debajo de los 320 nm, eliminando el rango UVB; de esta forma se evita que las radiaciones UVB y UVC causen la inactivación directa de las bacterias. Además, se puede regular la intensidad de 250 a 750 W/m² y controlar la temperatura.

III.2 Montaje y descripción de la instalación a escala piloto

El tubo cilíndrico se diseña por NILSA a partir del modelado de la degradación de cafeína y se fabrica por encargo a una calderería, con un par de soportes en el interior para sostener la camisa de vidrio pyrex que contiene el fluorescente de luz UVA. La tubería cilíndrica se fabrica en aluminio a partir de un tubo de medidas estándar comerciales. La fuente de radiación interior que se emplea es un fluorescente de luz UVA (330-390nm) de 40W (Sylvania®) protegido por una camisa de vidrio pyrex que está en contacto con líquido.

En la figura III.3 se puede observar el equipo que trata un volumen de 17 L por cada carga que se introduce manualmente, el agua se agita con aireación desde la base del reactor mediante aire a presión regulado por una válvula. También se pueden apreciar los componentes que lo forman y su situación en él:

- 1) Tubería cilíndrica de aluminio.
- 2) Fluorescente UVA.
- 3) Grifo del sobrenadante.
- 4) Grifo de descarga.
- 5) Conducto de aireación.

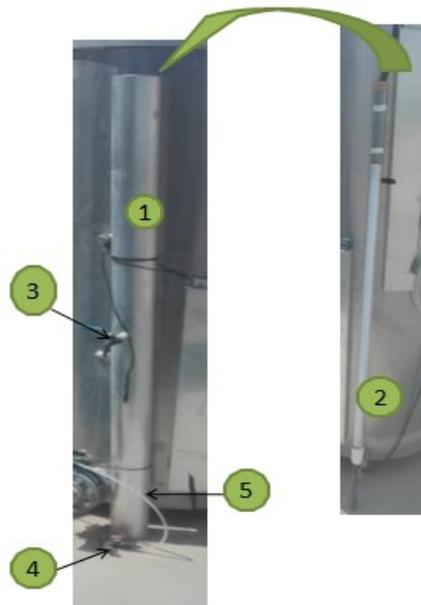


Figura III.3. Montaje y componentes del reactor fotocatalítico de 17L agitado mediante aireación a escala piloto.

Para el montaje de la instalación que se puede observar en la figura III.3 se procede en este orden:

- 1) Se vierten 17L del agua a tratar ya mezclada con la cantidad de compuesto y TiO_2 correspondiente en el reactor.
- 2) Se introduce el fluorescente UVA en una cubierta de pyrex para poder permitir el paso de la luz UVA e impedir al mismo tiempo el contacto de la lámpara con el agua.
- 3) Se introduce la lámpara junto con su camisa protectora de cuarzo en el agua y se sostienen con unas bridas a los soportes interiores del reactor.
- 4) Se regula el paso de aire para comenzar la agitación.
- 5) Se enchufa el fluorescente al cuadro eléctrico y se le da corriente al mismo.

Anexo IV- Resultados

IV.1 Estudio de clarificación del agua con dióxido de titanio

IV.1.1 Resultados detallados relativos a la decantación

En la tabla IV.1 se recogen los valores iniciales de los distintos parámetros que se analizan para las aguas objeto de estudio.

Tabla IV.1. Turbidez inicial de las tres matrices objeto de estudio de la decantación.

Muestra	Concentración TiO ₂ (g/L)	Turbidez (NTU)
AD	0	0,545
AG	0	0,954
AS	0	10,5

En la tabla IV.2 se muestran los resultados de turbidez expresada en NTU que se obtienen del sobrenadante de las muestras, la tabla IV.3 expone los resultados de concentración (g/L) que presenta el sobrenadante. La conversión de turbidez a concentración se calcula a través de las ecuaciones IV.1 (para el AD), IV.2 (para el AG), IV.3 (para el AS).

Tabla IV.2. Valores de turbidez expresados en NTU del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la investigación.

Tiempo(min)	0,2 g/L AG	1 g/L AG	0,2 g/L AD	1 g/L AD	1 g/L AS
20	251	333	375	333	368
20	266	315	338	348	355
25	221	308	302	306	333
25	197	286	315	275	341
30	196	277	283	266	321
40	177	243	271	255	302
40	171	264	253	220	291
50	168	221	248	169	277
50	151	206	206	190	265
60	132	176	208	148	246
60	155	198	191	155	239
70	121	155	190	143	196
70	136	170	175	133	215
80	123	156	160	120	162
80	102	137	145	139	171

Tabla IV.3. Valores de concentración expresados en g/L del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la investigación.

tiempo(min)	0,2 g/L AG	1 g/L AG	0,2 g/L AD	1 g/L AD	1 g/L AS
20	0,050	0,063	0,070	0,063	0,067
20	0,052	0,060	0,064	0,066	0,065
25	0,045	0,059	0,058	0,059	0,062
25	0,041	0,055	0,060	0,054	0,063
30	0,041	0,054	0,055	0,052	0,060
40	0,037	0,048	0,053	0,050	0,056
40	0,036	0,052	0,050	0,044	0,055
50	0,036	0,045	0,049	0,036	0,052
50	0,033	0,042	0,042	0,039	0,050
60	0,030	0,037	0,042	0,032	0,047
60	0,034	0,041	0,040	0,034	0,046
70	0,028	0,034	0,039	0,032	0,039
70	0,031	0,036	0,037	0,030	0,042
80	0,028	0,034	0,034	0,028	0,033
80	0,025	0,031	0,032	0,031	0,035

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 47,99 \quad \text{Ecuación IV.1}$$

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 47,518 \quad \text{Ecuación IV.2}$$

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 37,972 \quad \text{Ecuación IV.3}$$

IV.1.2 Resultados detallados relativos a coagulación-floculación-decantación

Los resultados que se obtienen del estudio de la etapa de floculación a 30 rpm se detallan en las tablas IV.4-IV.6.

En la tabla IV.4 se recogen los valores iniciales de los distintos parámetros que se analizan para las aguas objeto de estudio.

Tabla IV.4. Turbidez inicial de las tres matrices objeto de estudio de la floculación a 30 rpm.

Muestra	Concentración TiO ₂ (g/L)	Turbidez (NTU)
AD	0	0,543
AG	0	0,574
AS	0	12,6

En la tabla IV.5 se muestran los resultados de turbidez expresada en NTU que se obtienen del sobrenadante de las muestras, la tabla IV.6 expone los resultados de concentración (g/L) de

TiO₂ que contiene el sobrenadante. La conversión de turbidez a concentración se calcula a través de las ecuaciones IV.4 (para el AD), IV.5 (para el AG), IV.6 (para el AS) para la etapa de floculación a 30 rpm.

Tabla IV.5. Valores de turbidez expresados en NTU del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la floculación a 30 rpm.

Tiempo(min)	8 min AD	8 min AG	8 min AS	30 min AD	30 min AG	30 min AS
10	67,95	43,9	36,4	64,5	48,5	28,3
20	48,3	33,8	30,1	31,6	39,6	23,6
30	35,6	26,6	24,8	19,6	30,3	18,9
40	28,2	22,3	19,6	14,2	23,2	15,8
50	23,7	18,7	15,6	11,3	19,5	13,9
60	18,2	14,6	12,4	10,1	15,7	12,2

Tabla IV.6. Valores de concentración expresados en g/L del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la floculación a 30 rpm.

Tiempo(min)	8 min AD	8 min AG	8 min AS	30 min AD	30 min AG	30 min AS
10	0,019	0,015	0,012	0,019	0,016	0,011
20	0,016	0,014	0,011	0,013	0,015	0,010
30	0,014	0,012	0,010	0,011	0,013	0,009
40	0,013	0,012	0,009	0,010	0,012	0,009
50	0,012	0,011	0,009	0,010	0,011	0,008
60	0,011	0,010	0,008	0,010	0,011	0,008

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 47,99 \quad \text{Ecuación IV.4}$$

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 47,959 \quad \text{Ecuación IV.5}$$

$$NTU = 6023,4[TiO_2] - 35,933 \quad \text{Ecuación IV.3}$$

Los resultados que se obtienen del estudio de la etapa de floculación a 40 rpm se detallan en las tablas IV.7-IV.9.

En la tabla IV.7 se recogen los valores iniciales de los distintos parámetros que se analizan para las aguas objeto de estudio.

Tabla IV.7. Turbidez inicial de las tres matrices objeto de estudio de la floculación a 40 rpm.

Muestra	Concentración TiO ₂ (g/L)	Turbidez (NTU)
AD	0	0,556
AG	0	0,783
AS	0	10,6

En la tabla IV.8 se muestran los resultados de turbidez expresada en NTU que se obtienen del sobrenadante de las muestras, la tabla IV.9 expone los resultados de concentración (g/L) de TiO₂ que contiene el sobrenadante. La conversión de turbidez a concentración se calcula a través de las ecuaciones IV.7 (para el AD), IV.8 (para el AG), IV.9 (para el AS) para la etapa de floculación a 40 rpm.

Tabla IV.8. Valores de turbidez expresados en NTU del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la floculación a 40 rpm.

Tiempo(min)	8 min AD	8 min AS	8 min AG	30 min AD	30 min AS	30 min AG
10	71,3	39,6	125	65,05	59,5	81,9
20	54,05	26,3	80,55	41,75	28,4	46
30	33,1	18,9	51,25	22,45	24,65	36,8
40	27,25	13,9	39,45	18,45	21,95	22,2
50	18,05	13,6	32,1	17,5	18,9	18,45
60	12	13,3	26,25	15,45	16,3	15,7

Tabla IV.9. Valores de concentración expresados en g/L del sobrenadante de las distintas matrices estudiadas en la floculación a 40 rpm.

Tiempo(min)	8 min AD	8 min AG	8 min AS	30 min AD	30 min AG	30 min AS
10	0,020	0,015	0,027	0,019	0,018	0,020
20	0,017	0,012	0,020	0,015	0,013	0,014
30	0,013	0,011	0,015	0,012	0,012	0,012
40	0,012	0,010	0,013	0,011	0,012	0,010
50	0,011	0,010	0,012	0,011	0,011	0,009
60	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,009

$$\text{NTU} = 6023,4[\text{TiO}_2] - 47,99 \quad \text{Ecuación V.4}$$

$$\text{NTU} = 6023,4[\text{TiO}_2] - 47,763 \quad \text{Ecuación V.5}$$

$$\text{NTU} = 6023,4[\text{TiO}_2] - 37,946 \quad \text{Ecuación V.3}$$

IV.2 Hoja de cálculo (Excel®) para el diseño genérico de un proceso con TiO₂/UV

En las figuras IV.1 y IV.2 se refleja la ficha Excel completa que contiene todas las operaciones para poder diseñar de manera general un reactor en función del caudal que interesa estudiar (C5) y del contaminante que se pretende eliminar a partir de su TRH (C6). Se puede introducir o el número de reactores que interesan (C53) o el volumen de cada reactor (C59) o el número de lámparas por reactor (C64).

	A	B	C	D	E	F
1						
2		DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR				
3						
4						
5		Caudal (m³/d)= C5				Volumen (m³)= =C6*C5*(1/24)
6		TRH(h)= C6				
7						
8						
9						
10						
11		DIMENSIONAMIENTO DE LA RADIACIÓN UVA				
12						
13						
14						
15		Punto óptimo de Intensidad (W/L)= C15				Wattios necesarios emitir durante 2 horas = =C16*C15
16		Volumen (L)= =F5*1000				
17						
18						
19		Wattios medidos con radiómetro(W/m ²)= C19				W reales emite 1 lámpara= =C19*C20
20		Superficie de una lámpara(m ²)= C20				W necesarios emitir durante 2 horas= =F15
21						n° lámparas= =F20/F19
22						
23						
24						
25		El coste de radiación cada 2 horas es				
26						
27		Coste del KWh de Iberdrola (€/KWh)= C27				W consumidos= =F21*C29
28		W necesarios emitir durante 2 horas= =F20				Coste luz suministrada (€/ hora)= =F27*C27*(1/1000)
29		W consume 1 lámpara= C29				Coste luz suministrada (€/ día)= =F28*24
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36		Coste de TiO ₂ (€/L)= 10				Coste de reposición (€/ día)= =C36*C37*C38*C39
37		Pérdida de TiO ₂ (%)= 1				
38		Volumen TiO ₂ necesario= =F47				
39		n°ciclos diarios= 12				
40						
41						

Figura IV.1. Hoja de cálculo (Excel) que se idea para el diseño de reactores a partir de un caudal cualquiera, parte 1.

	A	B	C	D	E	F
42		Tiempo de bombeo(h/ciclo)= 0,25			Coste de bombeo(€/ día)= =C42*C36*C43*0,12438	
43		Potencia bomba(kW)= 1				
44					$\text{Coste bombeo} \left(\frac{\text{€}}{\text{día}} \right) = \text{tiempo de bombeo} \times \text{n}^{\circ} \text{ ciclos} \times \text{potencia bomba (kW)} \times 0,12438 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$	
45						
46						
47					Coste general(€/m3) =((F33+F26+F42)/C5)	
48		CANTIDAD DE TiO2 NECESARIA				
49		Concentración del TiO2 FN2 de Levenger(g/L)= C36				
50		Volumen a tratar(L)= =C13				
51		Concentración objetivo de TiO2(g/L)= C38			Volumen de TiO2 FN2 necesario(L)= =(C50*C51)/C49	
52						
53						
54		DISEÑO DEL REACTOR UNITARIO				
55		Volumen a tratar(L)= =C13			Volumen por reactor unitario(L)= =C55/C56	
56		nº lámparas= =F18			nº de reactores unitarios= =C56	
57						
58						
59		DISEÑO DE REACTORES MULTILÁMPARAS				
60		En función del nº de reactores para el volumen global				
61						
62						
63		nº de reactores que queremos(INTRODUCIR)= C53			Volumen que tratará cada reactor(L)= =C64/C63	
64		Volumen global a tratar(L)= =C55			Wattios necesarios de cada reactor= =C12*F63	
65					nº de lámparas que necesitará cada reactor= =F64/F16	
66						
67		En función del volumen por reactor				
68						
69		Volumen de cada reactor(L)(INTRODUCIR)= C59			Nº de reactores que necesitamos= =C64/C69	
70					wattios por cada reactor= =C69*C12	
71					nº de lamparas= =F70/F16	
72		En función de los fluorescentes por reactor				
73						
74		nº lámparas por reactor(INTRODUCIR)= C64			wattios necesarios de cada reactor= =C74*F16	
75					nº de reactores =C64/F76	
76					Volumen que tratará cada reactor(L)= =F74/C12	

Figura IV.2. Hoja de cálculo (Excel) que se usa para el diseño de reactores a partir de un caudal cualquiera, parte 2.

