



4. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

4. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

4.1 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA DE ACABADOS DE PIEL

Como primera etapa en el desarrollo del presente proyecto, es necesario llevar a cabo una caracterización de los efluentes. Un punto clave en la caracterización es la **toma de muestras**, ya que si desde un principio no se realiza este proceso de forma adecuada, los resultados no serán representativos. Los métodos que se emplearán están basados en los métodos normalizados establecidos por APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation) (1989).

4.1.1 TOMA DE MUESTRAS

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de efluente cuyo volumen sea adecuado para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio, sin que por ello deje de representar con exactitud al efluente de donde procede.

Este objetivo implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes serán las mismas en las muestras que en las corrientes de donde proceden, y que dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes.

Las muestras de aguas residuales vertidas por la industria de acabados de piel se toman de una balsa de homogeneización de que dispone la empresa de 200 m³.

PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS

Para la realización de las tomas de muestras se han seguido las siguientes indicaciones:

- 1) Se utiliza una botella de 100 mL de plástico para la determinación de fluoruros, y tres botellas de 2 L de vidrio para la determinación del resto de parámetros.
- 2) Antes de llenar el envase con la muestra se homogeniza tres veces con el agua que se va a recoger, a menos que el envase contenga un conservante.
- 3) Inmediatamente después, se traspasa a botellas, de menor volumen, pequeñas fracciones de la muestra tomada, dejando un espacio de alrededor del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica.
- 4) Cada muestra es tratada de forma individual según las sustancias a analizar conforme indica la **tabla 4.1**, los parámetros no incluidos en esta tabla no necesitan la adición de conservantes.

Tabla 4.1: Conservación de las muestras en función del parámetro a caracterizar

DETERMINACIÓN	CONSERVACIÓN	V _{BOTELLA}
Aceites y grasas, Fenoles	+ H ₂ SO ₄ conc. hasta pH<2, refrigerar a 4°C	2 L
DBO ₅ , color, Cr ⁶⁺ , NO ₃ ⁻ , sólidos, SO ₄ ²⁻	Refrigerar a 4°C	2 L + 0.5 L
CN ⁻	+ NaOH conc. hasta pH>12, refrigerar a 4°C	0.5 L
P _{Total}	+ 1 mL HCl _{conc.} /L	125 mL
Metales	+ HNO ₃ conc. hasta pH <2	125 mL

4.1.2 ANÁLISIS DEL AGUA

Se han realizado diversos análisis en función de los parámetros a determinar en cada caso:

- Un análisis del agua potable utilizada en los procesos.
- Un análisis de cada una de las diferentes etapas del proceso de tintura donde se vierten aguas residuales (en la tintura se utiliza un 97% del agua total).
- Dos caracterizaciones del agua residual vertida basadas en el Real Decreto 849/1986.
- Once caracterizaciones del agua residual vertida de los parámetros característicos.

4.1.2.1 Parámetros determinados en los análisis

- Con el fin de conocer las características iniciales del agua potable utilizada en los procesos industriales, se realizaron las siguientes caracterizaciones:

Parámetros físicos:

- pH
- Conductividad

Parámetros químicos:

- Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Cr, CO_3^{2-} , HCO_3

- Se realizaron análisis al agua vertida en las diferentes etapas del proceso de tintura, ya que es el tratamiento en que más agua se consume. Los parámetros determinados son:

Parámetros físicos:

- pH
- Conductividad
- Sólidos en suspensión
- Turbidez
- Color

Parámetros químicos:

- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Aceites y grasas
- Cr

- Para poder conocer las características de las aguas a tratar, se realizaron dos caracterizaciones completas del agua residual vertida basadas en el Real Decreto 849/1986 del 11 de abril (BOE nº 103 de 30/04/1986), estos parámetros son:

Parámetros físicos:

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- Turbidez
- Color
- Sólidos (SS, STD, STV, MS, ST)

Parámetros químicos:

- Sulfatos
- Nitratos
- Sulfitos
- Fósforo total
- Cromo (VI)
- Cianuros
- Cloruros
- Fluoruros
- Detergentes
- Fenoles
- Contenido en materia orgánica (DQO, DBO₅, CT, COT)
- Aceites y grasas
- Sodio
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Cromo total

4. Materiales y métodos experimentales

- Hierro
- Manganeso
- Aluminio
- Arsénico
- Bario
- Boro
- Cadmio
- Cobre
- Estaño
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Selenio
- Zinc
- Cloro libre
- Toxicidad

- Para poder estudiar la variación de las características del agua vertida se realizó un seguimiento de toma de muestras, dos veces por semana, hasta un total de once muestras. Los parámetros determinados son:

Parámetros físicos:

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- Turbidez
- Sólidos (SS, STD, STV)
- Color

Parámetros químicos:

- Sulfatos
- Nitratos
- Fósforo total
- Cromo (VI)
- Aceites y grasas
- Contenido en materia orgánica (DBO₅, DQO, CT, COT)
- Sodio
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Cromo total
- Hierro
- Cloro libre

4.1.2.2 Métodos analíticos

Los análisis para la determinación de las características de los efluentes se han realizado conforme a los “Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water”, 1992.

pH

Se realizó la medida a temperatura ambiente con un pH-metro CRISON micropH 2000. El electrodo fue calibrado con disolución tampón de pH 4 y 7 antes de realizar las medidas.

Conductividad

La medida de la conductividad se llevó a cabo a temperatura ambiente con un conductímetro CRISON modelo microCM 2200.

Color

Con la medida de la absorbancia (en la longitud de onda para la cual se obtiene la máxima absorbancia) se ha estudiado la variación del color, para ello se ha empleado un espectrofotómetro Shimadzu UV-1601.

Turbidez

La turbidez se ha determinado mediante un turbidímetro DINKO modelo 12D-15.

Sólidos

Los *sólidos en suspensión* se determinaron mediante filtración con filtro de fibra de vidrio y secado en una estufa a 105°C.

Los *sólidos totales* se analizan mediante la evaporación de un volumen determinado de agua a 105°C.

Los *sólidos totales disueltos y volátiles* se determinan mediante filtración con filtro de fibra de vidrio y secado en una mufla a 180 y 550°C respectivamente.

La *materia sedimentable* se caracterizó mediante sedimentación durante una hora en un cono Imhoff.

DBO₅

El método utilizado consiste en llenar por completo frascos Winkler e incubarlos bajo condiciones controladas (20°C, oscuridad y 5 días).

Se determina la cantidad de oxígeno disuelto, tanto al inicio como al cabo de los 5 días, mediante la oxidación del ión yoduro, contenido en el reactivo álcali-yoduro-azida, a yodo por el oxígeno disuelto en la muestra y posterior valoración del yodo con tiosulfato de sodio usando almidón como indicador. La valoración se lleva a cabo en medio ácido en presencia de sulfato de manganeso.

DQO

El método utilizado es colorimétrico. Se adiciona a la muestra una solución de digestión formada por dicromato potásico sulfúrico concentrado y sulfato de plata. Se deja reaccionar en un Termoreactor TR300 (Merk) durante dos horas a 150°C. Finalmente se mide el desarrollo del color a 620 nm en un espectrofotómetro (Hach DR/2000).

Cloruros

Se determinaron por el método de Mohr mediante valoración con nitrato de plata usando cromato potásico como indicador.

Sulfatos

Se llevó a cabo mediante turbidimetría del sulfato de bario al agregar a la muestra ion bario, con posterior medida en espectrofotómetro a 420 nm. Las medidas se realizaron con un espectrofotómetro Shimadzu UV-1601.

Nitratos

Se comprobó que la absorbancia medida, por tratar la muestra con HCl 1 N, a 270 nm era mayor del 10% de la absorbancia medida a 220 nm, por lo que se utilizó el método de brucina para la determinación de nitratos. Este

consiste en adicionar a la muestra un reactivo mezcla de brucina-ác. sulfanílico, dejar transcurrir media hora, adicionando ác. sulfúrico, y medir la absorbancia a 410 nm. Las medidas se realizaron con un espectrofotómetro Shimadzu UV-1601.

Sulfitos

La determinación se realiza mediante la titulación de la muestra acidificada con yoduro-yodato potásico. El yodo liberado reacciona con el sulfito, utilizándose almidón como indicador.

Fósforo total

Para la determinación del fósforo total se realiza en primer lugar una digestión de la muestra con persulfato, con lo que se consigue la conversión de la forma fosforada en ortofosfato disuelto. Posteriormente se determina espectrofotométricamente (Shimadzu UV-1601) el compuesto formado después de la adición de molibdato amónico, que en medio ácido forma un heteropoliácido que reacciona con el vanadio para dar un color amarillento.

Cromo (VI)

El cromo (VI) se determina colorimétricamente (Shimadzu UV-1601) a 450 nm por su reacción con difenilcarbazida en medio ácido.

Cianuros

Se realiza en primer lugar una destilación de la muestra. Se añade el reactivo CyaniVer4 (HACH) y se mide el color generado en el espectrofotómetro (HACH DR/2000).

Fluoruros

Se realizó la medida a temperatura ambiente con un electrodo selectivo de fluoruro previamente calibrado.

Aceites y grasas

La determinación se realizó mediante gravimetría. En primer lugar se realiza la extracción con 1,1,2-triclorotrifluoroetano, se evapora el disolvente y por pesada se obtienen las ppm de aceites y grasas extraíbles por este disolvente.

Detergentes

Para la determinación de los surfactantes se realizaron sucesivas extracciones de la muestra acidulada, previa adición de azul de metileno, con cloroformo, realizándose la medición mediante un espectrofotómetro (Shimadzu UV-1601) a 652 nm.

Fenoles

En esta determinación se realiza una destilación para eliminar las impurezas no volátiles. A continuación se efectúa la medición a 500 nm del color (Shimadzu UV-1601) al reaccionar el fenol con 4-aminoantipirina a pH fijo en presencia de ferricianuro potásico.

CT, COT

La medida se realizó mediante un analizador de carbono orgánico total Shimadzu modelo TOC-5000A. Consiste en medir en primer lugar el carbono total (CT) mediante vaporización de la muestra y oxidación del carbono

orgánico e inorgánico a CO₂ y H₂O midiéndolo en un analizador IR. A continuación se vaporiza otra fracción de muestra y se oxida únicamente el carbono inorgánico con ác. fosfórico, de la diferencia entre ambos se obtiene el carbono orgánico total (COT).

Na, K, Ca, Mg

La determinación de estos parámetros se realizó mediante espectroscopia de emisión de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) en un equipo Perkin-Elmer, modelo Optima 3000.

Cr, Fe, Mn, Al, As, Ba, B, Cd, Cu, Sn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn

La determinación de estos parámetros se realizó mediante espectroscopia de emisión de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) en un aparato Perkin-Elmer, modelo Optima 3000.

Cloro libre

Para su determinación se utilizó un kit de reactivos de la casa Hach, midiéndose la concentración mediante un espectrofotómetro HACH DR/2000.

Toxicidad

Se estudió la disminución de la luminiscencia de las bacterias fotobacterium fosforeum en un 50 %, para lo cual se utilizó un Microtox M50.

En la **tabla 4.2** se muestran, de forma resumida, los métodos utilizados en cada caso.

Tabla 4.2: Métodos empleados en la caracterización basados en el Standard Methods

PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO
pH	-	pH-metro
Conductividad	-	Conductímetro
Color	Método Normalizado 2120 B	Método de comparación visual
Turbidez		Turbidímetro
Sólidos suspensión	Método Normalizado 2540 D	Sólidos totales en suspensión secados a 103-105°C
Sólidos totales	Método Normalizado 2540 B	Sólidos totales secados a 103-105°C
Sólidos totales disueltos	Método Normalizado 2540 C	Sólidos totales disueltos secados a 180°C
Sólidos totales volátiles	Método Normalizado 2540 E	Sólidos fijos y volátiles incinerados a 550°C
Materia en suspensión	Método Normalizado 2540 F	Sólidos sedimentables
DBO ₅	Método Normalizado 5210	Requerimiento de oxígeno bioquímico
DQO	Método Normalizado 5220	Requerimiento de oxígeno químico
Cloruros	Método Normalizado 4500 Cl ⁻ B	Método argentométrico
Sulfatos	Método Normalizado 4500 SO ₄ ²⁻ E	Método turbidimétrico
Nitratos	Método Normalizado 4500 NO ₃ ⁻	Método espectrométrico UV selectivo

4. Materiales y métodos experimentales

PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO
Sulfitos	Método Normalizado 4500 SO ₃ ²⁻ B	Método yodométrico
Fósforo total	Método Normalizado 4500 P B5 Método Normalizado 4500 P C	Digestión con persulfato Método colorimétrico del ác. vanadomolibdo- fosfórico
Cromo (VI)	Método Normalizado 3500 D	Método colorimétrico
Cianuros	Método Normalizado 4500 E	Método colorimétrico (Hach)
Fluoruros	Método Normalizado 4500 F ⁻ C	Método del electrodo selectivo
Aceites y grasas	Método Normalizado 5520 B	Método de partición gravimetría
Detergentes	Método Normalizado 5540 C	Surfactantes aniónicos como SAAM
Fenoles	Método Normalizado 5530 B Método Normalizado 5530 D	Procedimiento de limpiado Método fotométrico directo
Carbono orgánico total	Método Normalizado 5310	Método combustión – IR
Na, K, Ca, Mg, Cr, Fe, Mn, Al, As, Ba, B, Cd, Cu, Sn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn	Método Normalizado 3120	Determinación de metales por espectroscopia de emisión de plasma
Cloro libre	-	Método colorimétrico (Hach)
Toxicidad	-	Microtox

4.2 ENSAYOS REALIZADOS

4.2.1 COLORANTES SELECCIONADOS

Para la realización de los diferentes ensayos, en primer lugar se procedió a la selección de cuatro de los colorantes más utilizados por las industrias de acabados de piel (estos colorantes fueron suministrados por Clariant Ibérica).

En la **figura 4.1** se muestra la denominación del colorante comercial junto con su nombre según el Color Index (recopilatorio de fórmulas de gran cantidad de colorantes utilizado ampliamente por las industrias y casas comerciales), además de la estructura molecular de la parte que da el color al colorante.

- **Carbón Derma NBS / Direct Black 168**

Este colorante debe su color a los tres grupos azo que posee (colorante tri-azo). Además, tiene tres grupos auxocrómicos que intensifican el color de la molécula: -OH, -NH₂ y -CH₃.

- **Azul Corácido 2B-175 / Acid Black 24**

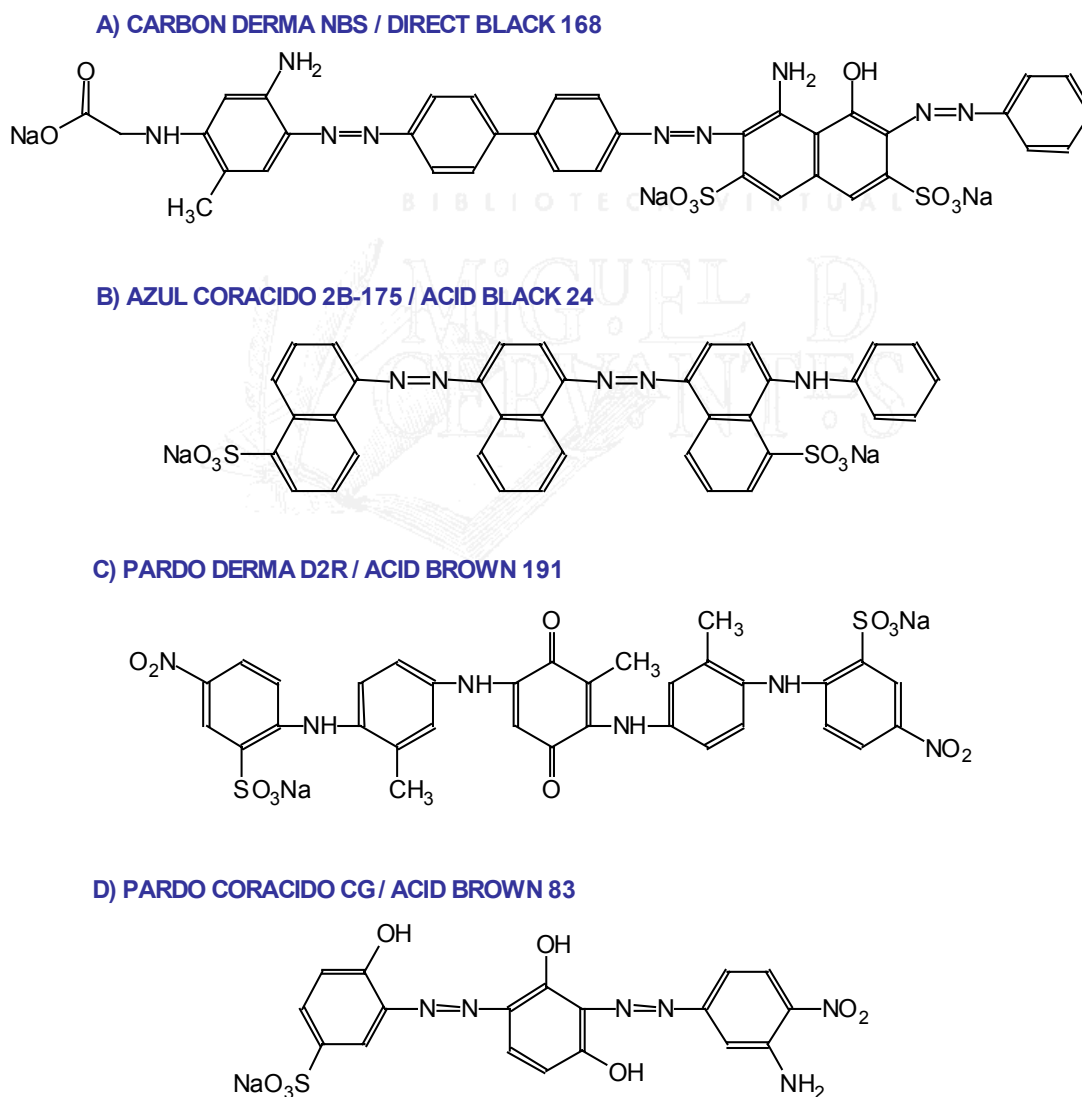
En este caso, el color se debe únicamente a los dos grupos azo que posee la molécula, ya que no tiene ningún grupo auxocrómico.

- **Pardo Derma D2R / Acid Brown 191**

El colorante pardo derma D2R debe su color a la presencia de dos grupos cromóforos: el grupo quinona, concretamente la *p*-benzoquinona; y el grupo -NO₂, además de posee el grupo auxocrómico, el -CH₃.

▪ **Pardo Corácido CG / Acid Brown 83**

El grupo cromóforo en este colorante es el grupo azo, debido a que posee dos, se considera un colorante di-azo. Los grupos auxocrómicos que se encuentran en esta molécula son dos; el grupo $-OH$ y el $-NH_2$.



**Figura 4.1: Formulación de los colorantes empleados
(nombre comercial/Color Index)**

Para la realización de los diferentes ensayos, la concentración de colorante escogida ha sido de 40 ppm (mg colorante / L disolución) escogida por ser la concentración más usada para estudiar la eliminación de color en la bibliografía recogida^{11,37,99}. Estas soluciones fueron preparadas a partir de una disolución madre de 2000 ppm en colorante.

4.2.1.1. Longitud de onda óptima

Para estudiar la eliminación del color, se ha empleado la absorbancia como parámetro indicativo de la eficacia en la eliminación del mismo. Por ello se ha realizado un barrido de longitudes de onda, para cada colorante, comprendido entre 200 y 800 nm con intervalos de 1 nm. La longitud de onda para la cual se obtiene una mayor absorbancia será la *longitud de onda óptima*.

El espectrofotómetro utilizado para la realización del barrido de longitudes de onda ha sido el modelo Unicam Helios Gamma α Delta de la casa Spectronic Unicam. Para las medidas de la absorbancia (a la longitud de onda óptima) de cada colorante se empleó un espectrofotómetro modelo Shimadzu UV-1601.

4.2.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Una vez escogidos los colorantes a tratar y sus longitudes de onda óptimas, se seleccionaron cuatro tratamientos tradicionales y cinco tratamientos considerados como nuevas técnicas para la eliminación del color en las aguas residuales:

Tratamientos clásicos:

- Cloración
- Peróxido de hidrógeno + pH
- Peróxido de hidrógeno + hierro (II)
- Reactivo Fenton

Nuevos tratamientos:

- Radiación ultravioleta
- Radiación ultravioleta + peróxido de hidrógeno
- Ozono
- Ozono + peróxido de hidrógeno

Una breve descripción del procedimiento seguido en cada caso se muestra a continuación.

4.2.2.1. Cloración

A 400 mL de una disolución de colorante de 40 ppm se adicionaron diferentes cantidades de hipoclorito sódico (5% p/v Cl_2 activo) mientras se mantenía una agitación constante de 50 rpm.

Las medidas del color (absorbancia a la longitud de onda óptima) se realizaron a la media hora y a la hora de la adición del reactivo para cada concentración de hipoclorito sódico añadido.

4.2.2.2. Peróxido de hidrógeno + pH

Se ajustó el pH (2, 3 y 4) con ácido sulfúrico a 400 mL de disoluciones de colorante (40 ppm). A continuación, se añadieron diferentes cantidades de peróxido de hidrógeno (30% p/v), manteniendo una agitación continua de 50 rpm.

Al cabo de media hora se comenzó a tomar alícuotas y medir su absorbancia, realizándose la medición a los siguientes tiempos: 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas y 21 horas.

4.2.2.3. Peróxido de hidrógeno + hierro (II)

Se prepararon soluciones de 40 ppm de colorante en volúmenes de 400 mL y se les adicionaron diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno.

Para concentraciones iguales de peróxido de hidrógeno se varió la cantidad de hierro (II) (sulfato ferroso) añadida, Obteniéndose diferentes combinaciones de peróxido de hidrógeno con hierro (II). En todo momento se mantuvo una agitación constante de 50 rpm.

Las medidas de las absorbancias se llevaron a cabo a la hora y las 15 horas.

4.2.2.4. Reactivo Fenton

Este tratamiento se lleva a cabo en dos pasos:

1º Optimización del pH: a soluciones de 40 ppm de colorante (400 mL) se les añade una cantidad fija de peróxido de hidrógeno y se varía el pH con ácido sulfúrico. El pH óptimo será aquel con el que se consiga una mayor eliminación del color. La absorbancia se mide al cabo de media hora.

2° Optimización de hierro (II): a volúmenes de 400 mL de soluciones de 40 ppm de colorante se les ajusto el pH al pH óptimo, obtenido en el paso anterior, y se les adiciono una cantidad fija de peróxido de hidrógeno. A continuación se vario la concentración de hierro (II) en solución, obteniendo las condiciones óptimas para una mayor eliminación del color. Las medidas de la absorbancia se realizaron al cabo de 30 minutos, una hora y dos horas.

Durante todo el ensayo la solución se mantuvo con una agitación de 50 rpm.

4.2.2.5. Radiación ultravioleta

El volumen de la muestra a tratar fue de 100 mL con una concentración de 40 ppm en colorante.

Inicialmente se realizó un precalentamiento de la lámpara de 15 minutos con el fin de alcanzar una emisión estable de radiación ultravioleta. A continuación se sometió la muestra a radiación ultravioleta, variando el tiempo de exposición y midiéndose la absorbancia a cada uno de los tiempos. Los tiempos estudiados fueron: 10 minutos, 30 minutos, 1, 2, 7 y 9 horas.

El equipo de radiación ultravioleta empleado pertenece a la casa Selecta (UV estéril, P. Selecta), y consta de una lámpara de radiación ultravioleta. Su interior está recubierto de espejos para que la radiación no sea absorbida por las paredes y sea reflejada. Además, consta de un dispositivo de seguridad mediante el cual se apaga la lámpara de radiación ultravioleta en el momento en que se abre el equipo.

La lámpara de luz ultravioleta es de la casa Philips y emite en la franja de UV-C (TUV 15 W / G15 T8).

Las muestras se depositaron en medios cilindros de vidrio (no absorbe la radiación ultravioleta) que se situaron justo debajo de la lámpara de radiación ultravioleta.

En las **figura 4.2 y 4.3** se muestran unas fotografías del equipo empleado.

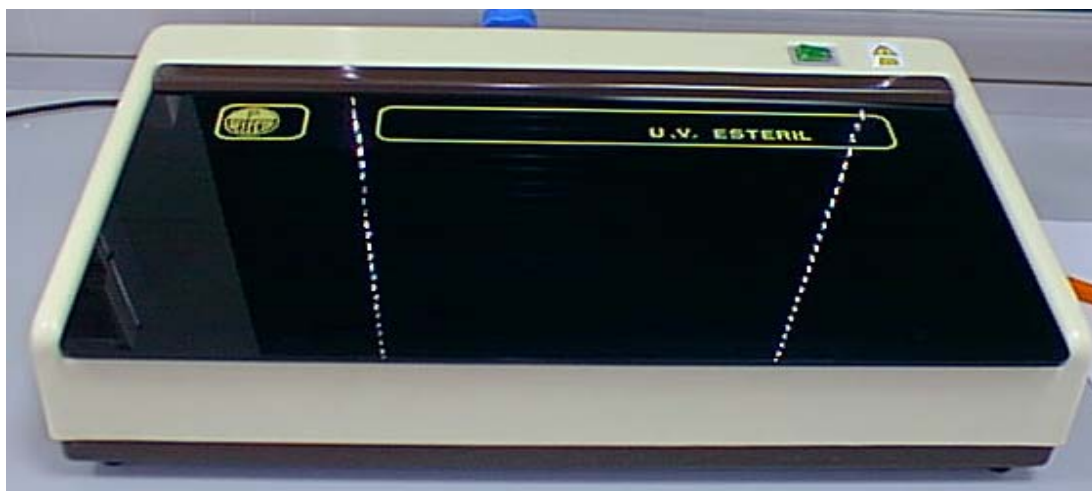


Figura 4.2: Parte exterior del equipo de radiación ultravioleta



Figura 4.3: Parte interior del equipo de radiación ultravioleta

4.2.2.6. Radiación ultravioleta + peróxido de hidrógeno

Al igual que en el apartado anterior, el volumen de la muestra a tratar fue de 100 mL con una concentración de 40 ppm en colorante.

Con el fin de alcanzar una radiación estable de luz ultravioleta, se realizó un precalentamiento de la lámpara de 15 minutos. Seguidamente, para un mismo tiempo de exposición, se varió la concentración de peróxido de hidrógeno en la muestra. En función de los resultados observados, los tiempos estudiados fueron de 5, 10 y / o 15 minutos, al final de los cuales se procedía a la lectura de la absorbancia correspondiente.

El equipo de radiación ultravioleta fue el mismo que ha descrito en el apartado 4.2.2.5.

4.2.2.7. Ozono

En este caso se trataron 500 mL de muestra con una concentración de 40 ppm de colorante. Como reactor se empleó una probeta de vidrio de 1 L para obtener el máximo recorrido de contacto entre el ozono y la muestra.

Para obtener una generación de ozono constante durante el tratamiento, se procedió a un precalentamiento del generador de ozono de 30 minutos. Una vez estable el generador de ozono, se trató la muestra de colorante hasta conseguir la máxima eliminación del color. Las medidas de la absorbancia se realizaron cada minuto durante los cinco primeros minutos y cada 5 minutos hasta el final del ensayo.

El equipo empleado pertenece a la casa IBEROZONO, modelo esmeralda 80. Este generador de ozono está concebido para la producción de 80 mg O₃/h y todos sus componentes se encuentran dentro de una caja de poliéster

de la firma HIMMEL, con doble capa de aislamiento y totalmente ignífuga. Su consumo es de 8 W/h.

En la **figura 4.4** se muestra el equipo de generación de ozono empleado para el tratamiento de las muestras de colorante.

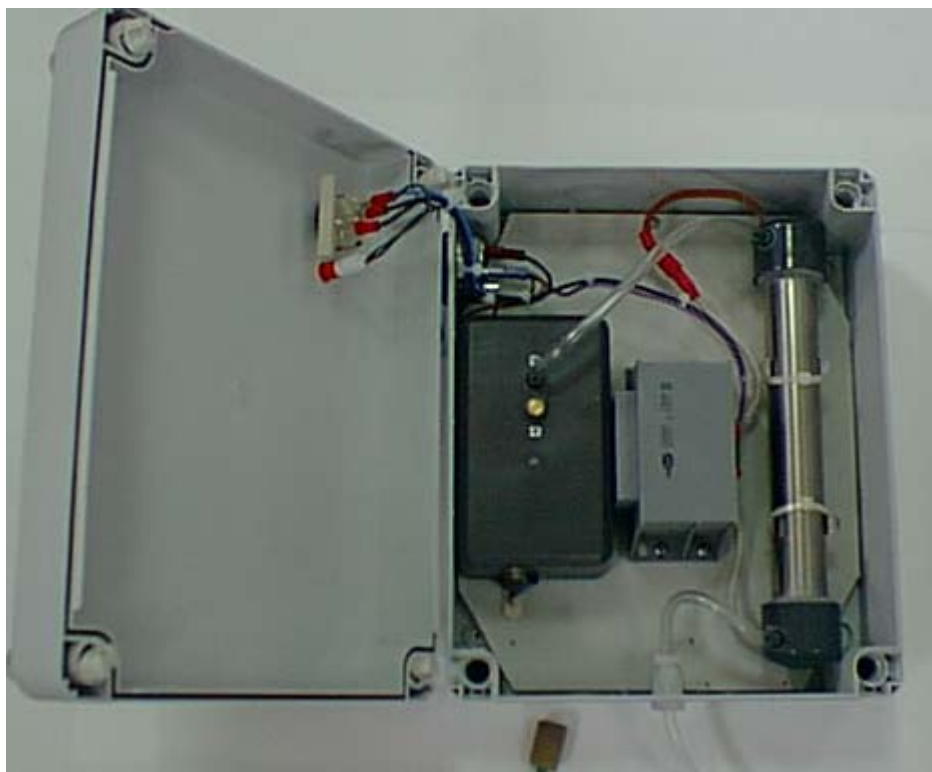


Figura 4.4: Parte interior del generador de ozono

Con el fin de conocer la cantidad de ozono que queda en el agua, es decir, la cantidad de ozono (aproximada) que reacciona con el colorante, se utilizó el método colorimétrico de índigo (4500-O₃ B) del “Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water” para determinar el ozono disuelto. Este es un método espectrofotométrico en el que el reactivo de índigo reacciona con el ozono disminuyendo la absorbancia inicial ($\lambda = 600\text{nm}$), pudiéndose calcular la concentración de ozono presente en el agua a partir de la diferencia de absorbancias.

4.2.2.8. Ozono + peróxido de hidrógeno

El procedimiento seguido y el material empleado en estos ensayos fue el mismo que en el apartado 4.2.2.7, con la diferencia de que en cada experimento se adicionó una determinada cantidad de peróxido de hidrógeno (30% p/v) con el fin de estudiar si se producía una mejora en la eliminación del color.

Las cantidades estudiadas de H_2O_2 fueron cuatro: 0, 6, 30 y 60 mg H_2O_2/L disolución de colorante, procediéndose a tomar alícuotas de muestra tratada cada 5 minutos durante 1 hora.

