

Procesos de Oxidación Avanzada (AOP):

- Los AOPs son aplicados al tratamiento del agua para beber desde los años '90s
- Este proceso ha sido reconocido por su eficiencia para la remoción de contaminantes orgánicos
- UV/H₂O₂ fue aplicado a escala de plantas de tratamiento de agua (WTPs) entre otros para control de:
 - Olor a “tierra mojada” (geosmina y 2-MIB)
 - N-nitrosodimetilamina (NDMA): “Best Available Technology” para remoción según EPA
 - 1,4-dioxano

La desinfección y el AOP, se puede satisfacer con los equipamientos HOD (Hydro-Optic Disinfection) de Atlantium.

Principales Métodos:

Fotoquímicos

- UV
- H₂O₂/UV
- Cl₂/UV
- O₃/UV
- O₃/H₂O₂/UV
- **Photo-Fenton** : UV/H₂O₂/Fe²⁺

Oxidación Foto-catalítica (UV/TiO₂)

- Se pone en juego un alto potencial de oxidación (ejemplo: duplicar el de la cloración simple)
- Se orienta fundamentalmente a reducción de materia orgánica a valores no medibles como DBO o TOC
- Especialmente se procura la eliminación de micro-contaminantes (baja concentración – alta toxicidad)
- Se llega a la “mineralización” de la materia orgánica a partir de la generación a temperatura ambiental y presión atmosférica normal de oxidantes altamente reactivos, como el radical hidroxilo (HO•).
- La aplicación más difundida es el reúso de efluentes municipales o industriales o recuperación de aguas de procesos antes de su volcamiento (ej: condensados)

No Fotoquímicos

- Ozonización a ph elevado (>8.5)
- Ozono + peróxido de hidrogeno (O₃/H₂O₂)
- Ozono + catálisis (O₃/CAT)
- Sistema Fenton (H₂O₂/Fe²⁺) a ph >3



	Acido Hipocloroso HOCl	Dióxido de Cloro ClO ₂	Peróxido de Hidrogeno H ₂ O ₂	Ozono O ₃	Radical Hidroxilo HO [•]
Formas	Cloro gas, Hipoclorito de sodio	Producción on-site: 25% Clorito de sodio (aq) con Cl ₂ (gas) o HOCl	Solución acuosa	Gas generado on-site a partir de aire o oxígeno puro	Proceso AOP
Potencial Redox Standard E° (V)	1.481	1.57	1.780	2.08	2.80

Micro-contaminantes:

MF	NF or RO	UV-AOP	
●	●	○	Particulates
○	●	○	TOC
○	●	○	Nutrients
○	●	○	TDS (Hardness)
○	●	○	TDS (Chloride)
○	●	●	Microconstituents
●	●	●	Pathogens
●	●	●	Viruses

Incluyen un vasto número de compuestos antropogénicos o naturales

- Están comúnmente presentes en el agua en bajas concentraciones (ng/l o µg/l)
- Aún así pueden resultar tóxicos para la vida acuática del curso receptor
- Las plantas de tratamientos de efluentes no están diseñadas para su eliminación
- Dada la complejidad y variedad de compuestos se clasifican habitualmente en seis categorías:

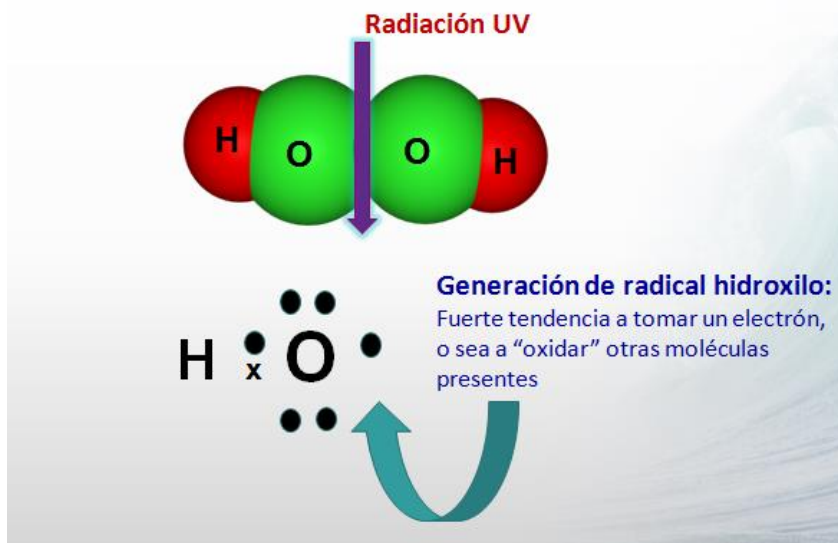
Categorías	Principales Subclases	Principales Fuentes
Residuos farmacéuticos	Antibióticos, estimulantes, β bloqueantes, reguladores de lípidos, etc.	Efluentes Domésticos (excreciones) / Efluentes hospitalarios
Cuidado Personal	Fragancias, desinfectantes, filtros UV, repelentes de insectos	Efluentes domésticos: Duchas, natatorios Excreciones



Hormonas	Estrógenos	Efluentes domésticos (excreciones)
Surfactantes	Surfactantes no iónicos	Efluentes domésticos: - Baño, lavado de vajilla, lavaderos
Químicos Industriales	Plastificantes, productos para combate al fuego	Efluentes domésticos por lixiviación
Pesticidas	Insecticidas, herbicidas, fungicidas	Efluentes domésticos: Jardines, campos deportivos, rutas Agricultura (escurridos)

Acción de los fotones UV en la formación del radical hidroxilo en los AOPs

Foto-descomposición del Peróxido de Hidrógeno



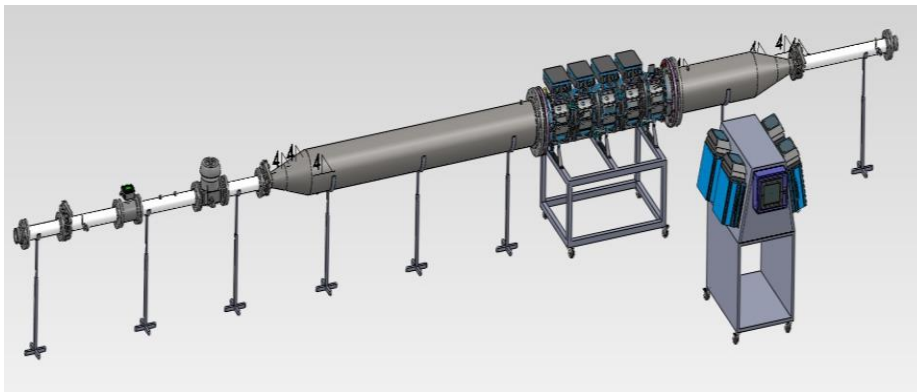
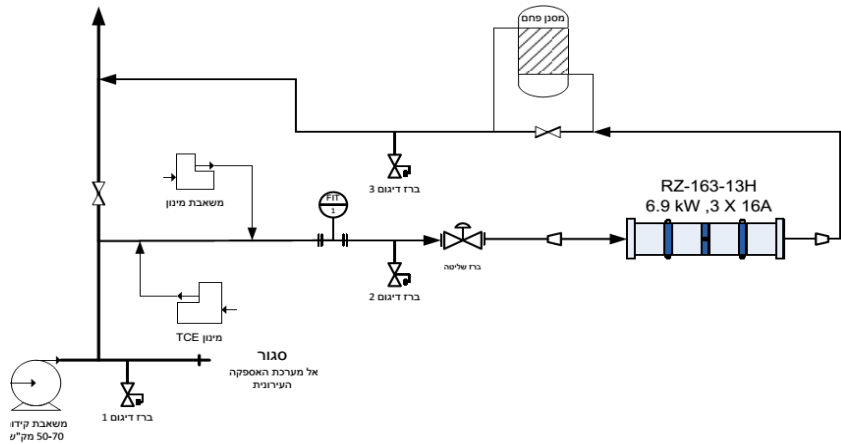
Etapas para la instalación de un AOP

- Detectar y examinar las propiedades de las sustancias micro-contaminantes para el estudio de viabilidad
- Tests en laboratorio
- Escala piloto – Ensayos de laboratorio, si fuera necesario
- Test piloto en campo con sistema mini- escala o plena escala
- Dimensionamiento para instalación a plena escala:
- Determinación de la potencia requerida, que es el factor crítico para evaluar su viabilidad

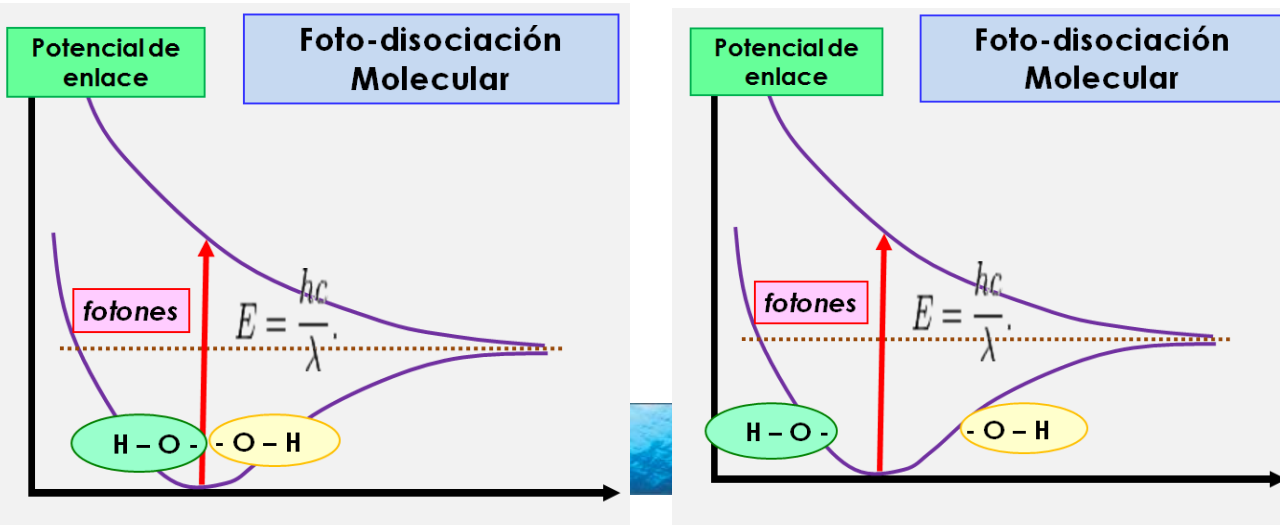


- Dosis de agente oxidante
- Remoción de oxidante remanente

Ensayo Piloto:



Determinación de la potencia requerida:



Atlantium Technologies Ltd

Es el mayor costo operativo y por tanto resulta clave su adecuada determinación

Se calcula a partir de:

$$P [kW] = EEO \cdot \text{Log} \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} \right) \cdot Q \left[\frac{m^3}{hr} \right]$$

Donde EEO es la energía eléctrica por orden de reducción (ejemplo de 100 ppb a 10 ppb)

Si EEO es un valor conocido podemos anticipar la potencia requerida

Ejemplo: Remoción de DBPs (Disinfection by Products)

- Se forman luego de la cloración de agua para consumo e incluye THMs
- Son un conjunto indeterminable de compuestos pero de acuerdo a la bibliografía una EEO de 1 kwh/m³ es representativa de lo requerido para remoción por AOP
- Por ejemplo, para reducir de 0,5 ppm a < 0,1 requerido por el Código Alimentario Argentino, precisamos > 1 kwh/m³ x log 5 = 0,7 kwh/m³

Remoción 1,4-dioxano:

Para la correcta evaluación de la factibilidad de aplicar este proceso al caso presentado por Unilever para remoción de micro-contaminantes hacemos algunas consideraciones generales:

- La clave tanto para el diseño del sistema a proponer como para la posterior evaluación de CAPEX y OPEX involucrados es determinar la potencia requerida, tal como se desprende de la fórmula antecedente
- Esta fórmula está compuesta por tres factores:
 - Caudal: conocido = 3 m³/día, a razón de 0,5 m³/h
 - EEO: energía requerida para reducir en una unidad logarítmica o, dicho de otra forma, en un 90% las concentraciones
 - Relación entre concentración existente y la deseada
- La remoción de compuestos aromáticos ha sido bastante estudiada y se sabe que además de tratarse de un compuesto orgánico recalcitrante no degradables, es poco sensible a la radiación UV excepto a dosis relativamente elevadas comparativamente y en presencia de un dador de radicales oxidantes como el peróxido de hidrógeno, como ha sido ya explicado
- Nuestros ingenieros de aplicaciones han sugerido estimar considerar la EEO requerida en aproximadamente 1,0-2,0 kwh/m³ a tratar
- Debe procurarse minimizar la interferencia de otras sustancias presentes que puedan absorber simultáneamente radiación UV. Por ejemplo, el contenido de materia orgánica degradable, DBO, deberá ser reducido por métodos más sencillos
- En resumen, para poder avanzar debiera prepararse una muestra de laboratorio ultrafiltrada donde medir **TOC y transmitancia UV**, así como determinar las concentraciones específicas de los micro-contaminantes “target” existentes y nivel de reducción deseado



Con mucho gusto acompañaremos este proceso poniendo a disposición el apoyo de nuestros ingenieros de proceso, nuestro instrumental e incluso la posibilidad de instalar un equipo a prueba si los estudios previos demuestran una promisoría factibilidad

Carlos Alberto Rivas
Innovative UV Applications
South America

