




POLICÍA FEDERAL ARGENTINA
SUPERINTENDENCIA DE INVESTIGACIONES FEDERALES
DEPARTAMENTO DELITOS AMBIENTALES


Auxiliario Superior Técnico Matías Gabriel FERNÁNDEZ
Gabinete de APOYO CIENTÍFICO-JURÍDICO
Departamento DELITOS AMBIENTALES

Buenos Aires, 18 de diciembre de 2025

Al Sr. Jefe del Departamento Delitos Ambientales

Elevo el **Informe Científico** realizado por el Auxiliar Superior 5^{ta} (Biólogo) Matías FERNÁNDEZ, a cargo de la investigación biológica del Departamento Delitos Ambientales, confeccionado en relación al cumplimiento requerido por el Juzgado Federal de Primera Instancia N° 1 de Mar del Plata, a cargo del Dr. Santiago INCHAUSTI, Secretaria a cargo del Dr. Pedro Federico HOOFT, en el marco de la causa n° 12014951/2002. Encontrándose conformado el presente en concepto de TRES (3) fojas útiles. -

OBJETIVOS DEL INFORME

En virtud del requerimiento judicial se procede a confeccionar el presente informe para;

- a- Determinar las implicancias ambientales y en la biota del compuesto químico llamado trimetilamina.

ANÁLISIS

TRIMETILAMINA (TMA): DINÁMICA AMBIENTAL, ECOLOGÍA Y RIESGO EN ECOSISTEMAS COSTEROS

La trimetilamina (TMA) es una molécula pequeña, volátil y altamente reconocible por su olor intenso, un olor que suele asociarse al pescado en descomposición. Sin embargo, más allá de esta percepción sensorial inmediata, la TMA es un compuesto de enorme interés ambiental, tanto por su comportamiento dinámico en la atmósfera, el agua y los sedimentos, como por el papel que desempeña en procesos biogeoquímicos y ecológicos clave de los ambientes costeros. Se trata de una amina terciaria de fórmula C_3H_9N , cuyo peso molecular reducido y su estructura simple determinan un patrón de movilidad y transformación particularmente activo en la naturaleza.

La volatilidad es quizá la propiedad fisicoquímica que más distingue a la TMA. Con un punto de ebullición cercano a los 3–4 °C, la molécula pasa con gran facilidad desde la fase acuosa hacia la fase atmosférica, incluso a temperaturas relativamente bajas. Esta característica, combinada con su presión de vapor elevada, explica por qué la TMA se detecta con tanta frecuencia en las capas bajas de la atmósfera costera, especialmente en zonas donde la turbulencia del oleaje y los vientos marinos facilitan permanentemente el intercambio entre aire y agua. De hecho, en aguas superficiales agitadas (como las rompientes o las áreas portuarias con actividad constante) la TMA puede volatilizarse de manera continua, generando lo que se conoce como “stripping” atmosférico.

QUEDA AGREGADO A SUS ANTECEDENTES. CONSTE.

Of. 7º de Infr. Alvin D. SANCHEZ
POLICIA FEDERAL ARGENTINA



Comisario Diego Francisco NOVOA
Departamento DELITOS AMBIENTALES

Su comportamiento en la columna de agua está profundamente influido por la química ácido-base. Con un pKa cercano a 9.8, la TMA en el agua de mar se encuentra mayoritariamente en su forma protonada, es decir, como TMAH^+ . Como el pH marino ronda valores de 8.0 a 8.3, entre el 85 y el 95 % de la molécula permanece ionizada. Esta condición modifica drásticamente su dinámica: la forma protonada es más soluble, tiende a permanecer más tiempo en la fase acuosa y presenta una mayor interacción con la materia orgánica disuelta. Aun así, la volatilización continúa siendo significativa, especialmente cuando aumentan la temperatura del agua, la presencia de viento o la agitación superficial. Esta dualidad (una fracción retenida en agua y otra que escapa al aire) hace que la TMA sea un compuesto de movilidad bidireccional constante en zonas costeras.

Desde un punto de vista ecológico, la TMA es ante todo un producto natural. Surge de la degradación bacteriana del óxido de trimetilamina (TMAO), un compuesto osmoprotector esencial para la fisiología de numerosos organismos marinos, desde peces óseos y tiburones hasta moluscos, crustáceos y diversas bacterias. Cuando la biomasa marina se descompone (ya sea por procesos naturales, por mortalidades masivas o por aportes antrópicos de restos orgánicos) las bacterias transforman el TMAO en TMA, liberando esta molécula al agua y eventualmente al aire. En sedimentos anóxicos, ricos en materia orgánica, este proceso puede intensificarse aún más, convirtiendo a los fondos blandos en reservorios temporales y fuentes secundarias de emisión.

Sin embargo, las actividades humanas también contribuyen de manera significativa. Las industrias pesqueras, plantas procesadoras de pescado, harineras, frigoríficos, embarcaciones que manipulan biomasa marina y ciertas plantas de tratamiento de efluentes generan condiciones ideales para que los compuestos nitrogenados se degraden hacia aminas volátiles, siendo la TMA una de las más abundantes. En zonas costeras urbanizadas o con fuerte actividad pesquera, los episodios recurrentes de "olor a aminas" suelen estar directamente relacionados con la volatilización de TMA proveniente de residuos proteicos, subproductos mal gestionados o efluentes con alta carga orgánica.

Una vez en la atmósfera, la TMA no permanece inalterada. Reacciona rápidamente con radicales hidroxilo, con una vida media de apenas unas pocas horas. Durante este breve tiempo, sin embargo, puede intervenir en procesos de importancia climática y sanitaria. Es bien conocido que aminas como la TMA participan en la formación de aerosoles orgánicos fines, actuando como núcleos de condensación que facilitan el crecimiento de partículas atmosféricas. Estas partículas influyen en la visibilidad, en la dinámica del vapor de agua, en la acidez atmosférica y en la química de compuestos como los óxidos de nitrógeno y azufre. Además, bajo ciertas condiciones, la TMA puede transformarse en nitrosaminas, compuestos altamente peligrosos por su carácter carcinogénico, que pueden ser transportados y depositados posteriormente sobre cuerpos de agua o suelos costeros.

En la matriz acuática, el destino de la TMA depende en gran medida de la actividad microbiana. En aguas oxigenadas, diversas bacterias especializadas (entre ellas especies de *Pseudomonas*, *Aminobacter* o *Rhodococcus*) son capaces de degradarla en cuestión de horas o días, incorporándola a rutas metabólicas que remueven nitrógeno orgánico. En ambientes anóxicos, como ciertos sedimentos de estuarios o zonas eutrofizadas, la degradación se vuelve más lenta y puede extenderse por varias semanas. Esta diferencia explica por qué la TMA



suele acumularse en estuarios, lagunas costeras o bahías con bajo recambio, especialmente en verano, cuando las altas temperaturas intensifican tanto la producción bacteriana como la liberación desde sedimentos.

Aunque la TMA es de toxicidad aguda baja para la mayoría de los organismos marinos, sus efectos ambientales no deben subestimarse. Más que un tóxico directo, la TMA actúa como un modulador ecológico. En primer lugar, su aparición suele estar asociada a altas cargas de materia orgánica y, por ende, a aumentos de la demanda biológica y química de oxígeno. Esto puede desencadenar episodios de hipoxia, afectando gravemente a bivalvos, equinodermos, poliquetos y otros organismos bentónicos sensibles. Las comunidades bentónicas responden con disminución de biodiversidad y aumento de especies oportunistas capaces de tolerar bajos niveles de oxígeno.

En peces, la presencia ambiental de TMA puede interferir con el metabolismo del TMAO endógeno, un compuesto clave para la estabilidad proteica, particularmente en especies sometidas a altas presiones osmóticas o a ambientes ricos en urea como algunos tiburones. Experimentalmente se ha comprobado que exposiciones elevadas de TMA pueden alterar rutas de oxidación y reducción ligadas al TMAO, con posibles implicancias en la osmorregulación. Asimismo, el olor a aminas, perceptible incluso a concentraciones minúsculas, interfiere con el comportamiento alimentario de peces costeros, afectando la detección de presas y la respuesta a señales químicas en el agua.

Los invertebrados costeros también pueden verse afectados. Numerosas larvas de invertebrados utilizan señales químicas para orientarse, asentarse y completar su ciclo de vida. La presencia de TMA en concentraciones atípicas, especialmente en puertos y estuarios cargados de materia orgánica, puede generar campos químicos anómalos que inhiben el asentamiento larval o desorientan a especies que dependen de gradientes químicos sutiles para identificar hábitats adecuados. De esta manera, la TMA actúa indirectamente sobre procesos fundamentales como el reclutamiento y la estructuración de comunidades bentónicas.

El fitoplancton también puede experimentar efectos indirectos. En condiciones eutrofizadas, la TMA puede servir como fuente de nitrógeno reducido para ciertas bacterias y microorganismos, favoreciendo desequilibrios en la comunidad planctónica. En algunos casos, el aporte elevado de compuestos nitrogenados derivados de la descomposición proteica puede contribuir al surgimiento o mantenimiento de floraciones algales nocivas, incluidas mareas rojas dominadas por dinoflagelados.

La presencia sostenida de TMA en un ambiente costero es, en definitiva, un indicador de un sistema sometido a una carga excesiva de materia orgánica y a una alteración significativa de sus procesos de renovación. Su aparición suele anticipar problemas mayores asociados a eutrofización, hipoxia, proliferación bacteriana y cambios estructurales en las comunidades biológicas. Desde una perspectiva de conservación y gestión ambiental, monitorear TMA junto con parámetros como amonio, nitritos, TMAO, clorofila-a, DBO y oxígeno disuelto puede ofrecer un diagnóstico integral del estado ecológico de áreas costeras, particularmente aquellas sometidas a presión antropogénica intensa.

En suma, la TMA no es peligrosa por sí sola en términos toxicológicos directos, pero constituye un actor central en la dinámica ecológica y química de las zonas costeras. Su papel en la conexión entre procesos microbianos, ciclos del nitrógeno, funciones ecosistémicas, comportamiento animal, calidad del aire y formación de compuestos secundarios tóxicos hacen de esta molécula un indicador sensible y multifacético del estado ambiental de los sistemas marino-costeros. El entendimiento profundo de su origen, destino y efectos permite no solo evaluar riesgos ambientales presentes, sino anticipar procesos degradativos que afectan de manera acumulativa a los ecosistemas costeros.


Asesor/a Técnico/a María Gabriela FERNANDEZ
CENTRO DE APOYO CIENTÍFICO-JURÍDICO
Departamento DELITOS AMBIENTALES

QUEDA AGREGADO A SUS ANTECEDENTES. CONSTE.



REPUBLICA ARGENTINA
POLICIA FEDERAL ARGENTINA
DEPARTAMENTO
DELITOS AMBIENTALES


Of. 3º de Idia. Alexis D. SANCHEZ
POLICIA FEDERAL ARGENTINA


Comisario Diego Francisco NOVOA
Departamento DELITOS AMBIENTALES

Principal Mariana G. SACK
POLICIA FEDERAL ARGENTINA

Comisario Diego Francisco NOVATI
Departamento DELITOS AMBIENTALES



DILIGENCIA: Análisis de lo actuado.-



En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a los 05 días del mes de enero del año 2026, la Instrucción hace **CONSTAR**: Que en el marco de las presentes actuaciones se realizaron diversas tareas investigativas e informes con el objeto de poder establecer la existencia de fluidos oleosos, hidrocarburos y diversas sustancias químicas provenientes de la actividad portuaria que podrían encontrarse en infracción a la Ley 24.051, especialmente en las inmediaciones de los puntos "A", "B" y "C" de la Ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires e indicados en el oficio judicial.-----

Ante lo expuesto la magistratura interviniente dispuso la necesidad de realizar un análisis interpretativo en especial relación al analito TRIMETILAMINA, resultante de la actividad productiva de harina de pescado y sus posibles efectos tanto sobre el ambiente y salud humana. -----

Es dable destacar que en primera medida personal de esta Dependencia se hizo presente en los puntos sindicados como: "A" (Escollera Sur), "B" (Epicentro del Puerto) y "C" (Playa dentro de jurisdicción militar Base Naval) de la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires, al solo efecto de realizar toma de muestras líquidas con la finalidad de detectar presencia de Hidrocarburos.-----

Que en relación con el punto indicado ut supra se realizaron diversos análisis en el Laboratorio de Análisis Químico del Departamento DELITOS AMBIENTALES, de aquellas muestras identificadas como "M1 DDA", "M2 DDA" y "M3 DDA" con interés en los parámetros pH, TDS, Conductividad, DQO, SAAM, SS 10 minutos, SS 2 horas, las cuales según **Informe de Laboratorio L71/25 NO EVIDENCIARON** valores por fuera de lo establecido en la Tabla 3 del Decreto Reglamentario 831/93 de la Ley 24.051, como así tampoco de la Resolución 336/03 del ADA de la provincia de Buenos Aires.

Asimismo las muestras identificadas como "M1 BOMB", "M2 BOMB" y "M3 BOMB" fueron remitidos a la División LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOQUIMICOS de la Superintendencia Federal de Bomberos de la Policía Federal Argentina, con interés en los parámetros HEM (Aceites y Grasas) y SGT-HEM (Materia orgánica no polar o Hidrocarburos Totales) los cuales según **Informe Pericial N° 1305-44-000.034/25 evidenció de forma NEGATIVA** la presencia de los analitos indicados ut supra.-----

Que en relación al analito TRIMETILAMINA y sus posibles afecciones a la salud, conforme a **Informe Médico Legal N° 5497/2025** realizado por la División MEDICINA LEGAL, de la Dirección General de POLICIA CIENTIFICA, de la Superintendencia de INVESTIGACIONES FEDERALES de la Policía Federal Argentina, se puede inferir que la misma resultaría de las actividades de fabricación de harinas de pescado o que generen desechos de pescados, siendo dicho compuesto "un gas irritante, incoloro y con fuerte olor a pescado en descomposición. Es ligeramente más alcalino que el amoniaco, fácilmente soluble en agua y causa corrosión y necrosis después del contacto con las membranas mucosas". Asimismo, en relación a afecciones a la salud indica que "en la intoxicación aguda la Trimetilamina es un irritante del tracto respiratorio pudiendo causar desde dolor de garganta, tos, disnea hasta edema pulmonar, piel y mucosas en el humano. En la piel puede producir desde enrojecimiento (eritema) hasta quemaduras graves, incluso puede producir petequias, lo cual significa que puede producir fragilidad vascular local. La exposición ocular a TMA puede producir desprendimiento del epitelio de la córnea". En relación a la intoxicación crónica "podría producir en los trabajadores expuestos a Trimetilamina, irritación y opacidad corneal observándose también uremia (aumento de urea en sangre) e hipertiroidismo con síntomas neurotóxicos".-----

En el mismo orden el informe médico legal agrega que "con respecto a la carcinogenicidad de TMA, no hay datos que avalen el potencial carcinogénico, aunque hay preocupación por la formación de Nitrosaminas cancerígenas que puedan resultar de una reacción de TMA con nitritos en medios ácidos", y que con respecto a la afectación de los animales "la toxicocinética es similar a la de los humanos al igual que los síntomas en vías respiratorias", llegando por ultimo a la conclusión de que si bien los valores emitidos y

Principal Mariana G. SACK
POLICIA FEDERAL ARGENTINA

Comisario Diego Francisco NOVOA
Departamento DELITOS AMBIENTALES



detectados de Trimetilamina son inferiores a los valores umbral descriptos por los diferentes organismos, el mismo resultó ser perceptible por el olor, lo que se considera odoríficamente ofensivo aunque no representó un riesgo cierto para la salud y de los animales.

Que respecto a las implicancias ambientales y la biota del compuesto Trimetilamina, según consta de Informe Científico realizado por personal numerario de este Departamento a cargo de la investigación biológica pudo concluir que “la presencia sostenida de TMA en un ambiente costero es, en definitiva, un indicador de un sistema sometido a una carga excesiva de materia orgánica y a una alteración significativa de sus procesos de renovación. Su aparición suele anticipar problemas mayores asociados a la eutrofización, hipoxia, proliferación bacteriana y cambios estructurales en las comunidades biológicas”.---

Que también surge del mencionado informe científico que “la TMA no es peligrosa por sí sola en términos toxicológicos directo, pero constituye un actor central en la dinámica ecológica y química de las zonas costera. Su papel en la conexión entre procesos microbianos, ciclos del nitrógeno, funciones ecosistémicas, comportamiento animal, calidad de aire y formación de compuestos secundarios tóxicos, hacen de esta molécula un indicador sensible y multifacético del estado ambiental de los sistemas marino-costeros”.---

Que a modo de resumen de todo lo enumerado hasta el momento puede dilucidarse que:-----

- La TRIMETILAMINA puede resultar riesgosa tanto para la salud humana como animal pudiendo ser peligrosa para el ambiente y biota en forma no directa.
- Es resultado de la propio de la actividad productiva de fabricación de harinas de pescado o que generen desechos de pescado.

Es importante destacar lo establecido por la Ley 25.675 “Ley General del Ambiente” en cuanto dispone en su artículo 27 al definir como daño ambiental “como toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los

ecosistemas, o los bienes o valores colectivos”, pudiendo la TMA resultar ser un menoscabo o alteración de los ecosistemas, incluso de la salud humana y animal. -----

Que asimismo el artículo 4° de la Ley General de Ambiente 25.675 establece aquellos principios ambientales fundamentales del Derecho Ambiental entre los que se encuentran el principio de prevención donde indica que “Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir”, siendo de esta manera necesario intervenir con el propósito de evitar que un daño ambiental pueda producirse o en su caso lograr minimizarlo como suele suceder ante la ausencia de sistemas de tratamientos de residuos o que los mismos resultaran defectuosos, y el principio de precautorio que refiere “cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”, teniendo interés respecto a dicho principio la indicado por el Informe Pericial de la División de MEDICINA LEGAL al referir que en relación a la carcinogenecidad de TMA, no hay datos que avalen el potencial carcinogénico, aunque hay preocupación por la formación de Nitrosaminas cancerígenas que puedan resultar de una reacción de TMA con nitritos en medios ácidos .-----

Según consta en actuaciones sumariales resultaron ser de importancia investigativa las empresas sindicadas en autos como **AGUSTINER** y **COMARPES** dedicadas a la actividad productiva de fabricación de harinas de pescado. -----

Acorde a lo normado por la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos, en relación a la posible presencia de TRIMETILAMINA la cual podría afectar la salud de las personas y el ambiente y biota, dado que dicho compuesto podría presentar características enumeradas en el Anexo II de la presente ley como ser:-----

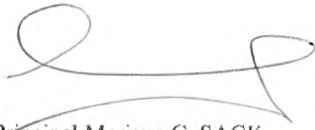
H 11 Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos): Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogenia.-----



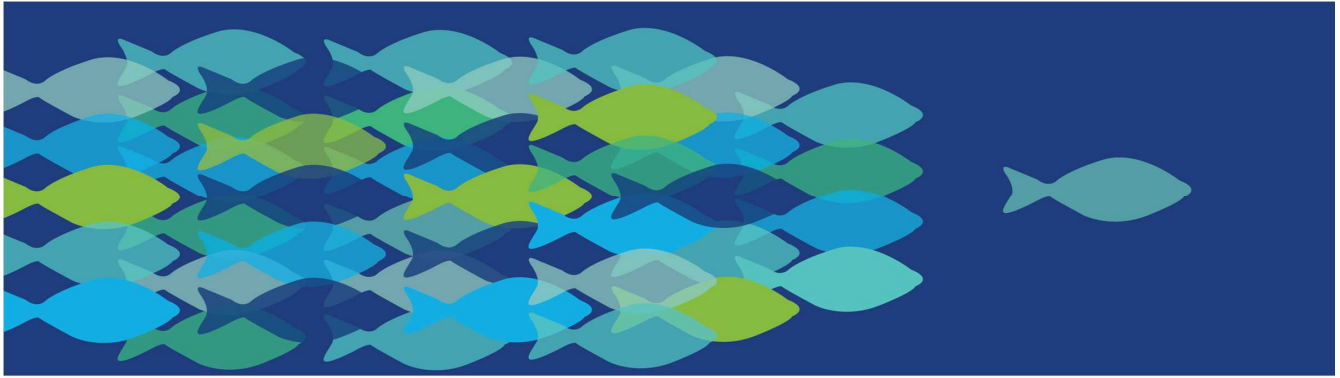
H 12 Ecotóxicos: Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.-----

Ante todo lo expuesto y de considerarlo el Magistrado Interventor, sería importante ingresar a los predios conjuntamente con personal específico e idóneo de ambiente de la provincia de Buenos Aires que cuente con material y equipo de muestreo líquido y gaseoso adecuado, como así también que proceda a su posterior análisis, debido a que este Departamento no cuenta con equipo e insumos destinados a determinar la presencia del analito TRIMETILAMINA, y asimismo poder corroborar el correcto funcionamiento de sus plantas de tratamiento y contención de gases, solicitando toda la documentación ambiental de interés que corresponda. Aclarando que este Departamento podría coordinar la diligencia, llevando a cabo la medida y finalmente elaborar un informe general mediante los especialistas en la materia. CONSTE. -----




Principal Mariana G. SACK
POLICIA FEDERAL ARGENTINA


Comisario Diego Francisco NOVOA
Departamento DELITOS AMBIENTALES



TECNOLOGIAS APLICADAS PARA LA MITIGACION DE OLORES EN LA INDUSTRIA PESQUERA DEL NORTE

ASIPNOR

ENERO 2020



ASIPNOR

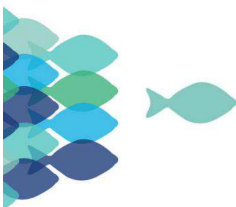
Tecnologías y Practicas Aplicadas:

1. Primarias

- Hermeticidad en las líneas de proceso
- Lavado y condensación en Torres lavadoras de gases

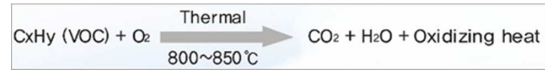
2. Secundarias

- Incineración de gases en cámara de combustión de calderas
- Oxidación y quemado de gases en equipo RTO



RTO: Oxidadores Térmicos Regenerativos

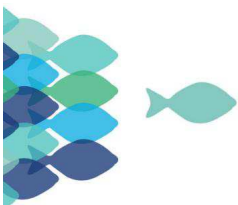
- Los RTO u oxidadores térmicos regenerativos son equipos que destruyen los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los contaminantes peligrosos del aire (HAP), que se crean a través de procesos químicos y vapores de escape industriales y los convierte en CO₂ y Vapor de Agua.



- Este tipo de equipo usa calor extremadamente alto, aproximadamente entre 800 a 850 °C, para limpiar el flujo de aire de contaminantes y compuestos peligrosos.
- Estos equipos pueden ser desarrollados para grandes volúmenes y diversas aplicaciones, la tecnología de oxidación térmica regenerativa se basa en el uso de medios cerámicos como intercambiadores de calor y elementos de intercambio.
- La tecnología de los RTO en lugar de permitir que el aire caliente limpio se escape a la atmósfera, la unidad RTO logran capturar hasta el 95% del calor antes de expulsarlo a la atmósfera.
- La eficacia obtenida depende de la relación tiempo de residencia/temperatura.
- La tasa de reacción se controla mediante tres (3) factores críticos e interdependientes: tiempo, temperatura y turbulencias



Diseños Típicos

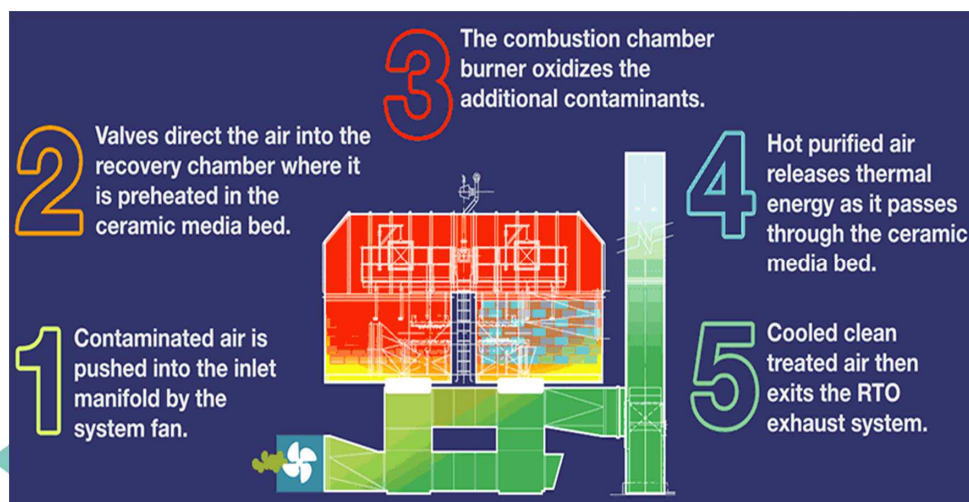


Cómo funciona el RTO

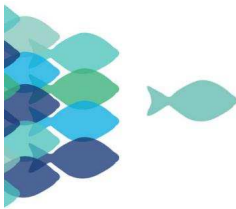
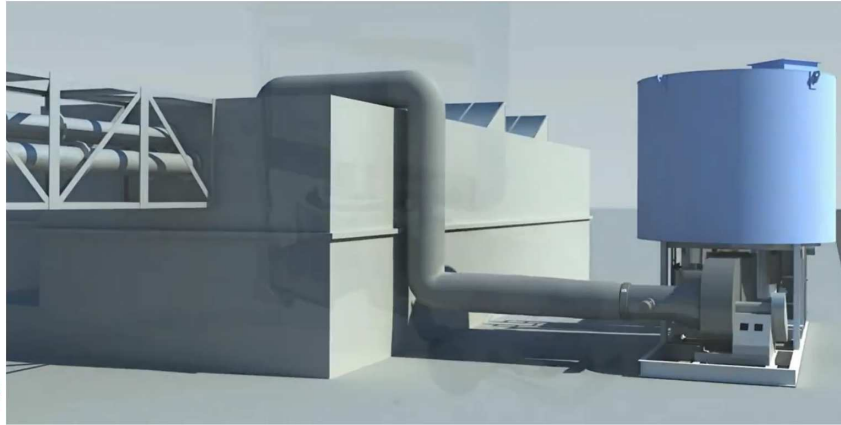
- El gas de proceso cargado de VOC y HAP se introduce a través de un ventilador en el colector de entrada del RTO.
- El control de flujo dirige este gas a las cámaras de recuperación de energía donde se precalienta. El gas de proceso y los contaminantes se calientan progresivamente en los lechos cerámicos a medida que avanzan hacia la cámara de combustión.
- En la cámara de combustión utilizando combustible suplementario como gas natural, propano, diésel o biocombustible los VOC y HAP son oxidados.
- Una vez purificado, el aire caliente que abandona la cámara de combustión libera energía térmica a medida que pasa a través del lecho cerámico en la dirección del flujo de salida.
- El lecho cerámico de salida se calienta y el gas se enfría para que la temperatura del gas de salida sea solo un poco más alta que la temperatura de entrada del proceso.
- Las válvulas de salida alternan la dirección del flujo de aire hacia los lechos cerámicos para maximizar la recuperación de energía dentro del RTO.
- La alta recuperación de energía dentro de estos RTO reduce el requerimiento de combustible auxiliar y ahorra costos de operación.



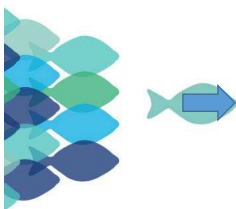
Diagrama de Flujo en un RTO típico



Esquema Corpesca Planta Oriente Iquique Sala proceso “encapsulada” y RTO



Video Descriptivo Equipo

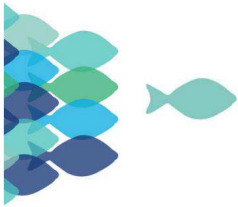


Ventajas:

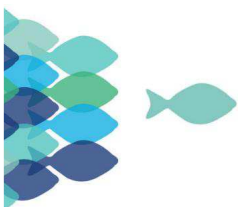
- Adaptable a flujos de aire de caudal bajos, medios y altos
- Destructor de una amplia variedad de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) a tratar
- Costo operativo y de mantenimiento razonable
- Alta eficiencia térmica
- No genera ningún residuo
- Simplicidad debido a pocas partes móviles

Desventajas:

- Consumo de Combustible
- Alto costo Inversión



MUCHAS GRACIAS



TERMORREACTORES

Autor: José Enrique Castells Estela

Doctor en Ciencias Químicas y Administrador de Envirolia, S.L.

Zaragoza, a 31 de marzo de 2020.

Tabla de contenido

1	FUNCIONAMIENTO.....	2
2	COMPONENTES	6
2.1	Torres de recuperación térmica	6
2.1.1	Sillas de montar o "Saddles"	7
2.1.2	"Honeycombs".....	7
2.1.3	Multi-Layer Media	10
2.2	Cámara de oxidación	12
2.3	Aislamiento interno	12
2.3.1	Colocación en capas	14
2.3.2	Colocación en bandas perpendiculares.....	15
2.3.3	Colocación en forma de libro.....	16
2.3.4	Colocación en modo "stack bond"	18
2.4	Quemador	21
2.5	Válvulas de las torres	22
2.5.1	Válvulas de mariposa	22
2.5.2	Válvulas de plato	24
2.6	Ventilador.....	25
2.6.1	Ventilador en cabeza	25
2.6.2	Ventilador en cola	26
2.7	Evacuación del excedente de calor	26
2.7.1	"By-pass caliente".....	27
2.7.2	"By-pass" frío.....	29

1 FUNCIONAMIENTO

Un sistema de depuración de gases por oxidación térmica regenerativa, también conocido como termorreactor o RTO (Regenerative Thermal Oxidator), es un caso particular de oxidación térmica que recupera el calor de los gases depurados y lo utiliza para precalentar los gases a depurar.

El sistema elimina los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y otros compuestos oxidables de los gases a depurar produciendo su oxidación térmica. Esto se consigue elevando la temperatura de los gases lo suficiente como para que estos compuestos orgánicos se combinen con el oxígeno para formar CO_2 , agua y los compuestos que puedan resultar de las reacciones de oxidación.



Fotografía 1: Vista de un termorreactor.

Las temperaturas necesarias para llevar a cabo esta oxidación térmica están por encima de los $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que es muy importante conseguir la recuperación de la energía contenida en los gases ya depurados para disminuir el gasto energético de la depuración.

Para recuperar esta energía, el termorreactor hace uso de unos lechos cerámicos que actúan como acumuladores de calor, captando el calor de los gases depurados para cederlo, posteriormente, a los gases a depurar. Con este sistema se consiguen eficacias de recuperación de calor que pueden llegar al 97%, por lo que los gases de salida pueden llegar a estar a una

temperatura de unos 30 a 40 °C más que la temperatura de entrada. Por lo tanto, el consumo energético en la depuración es muy bajo.

El termorreactor consta de tres torres rellenas de elementos cerámicos, comunicadas por su parte superior mediante la cámara de oxidación.

Los gases a depurar entran por una de las torres, cuyo lecho cerámico ha sido calentado en un ciclo anterior. El calor acumulado en el lecho es cedido a los gases, que alcanzan prácticamente la temperatura de oxidación al llegar a la cámara de oxidación.

En la cámara de oxidación hay instalado un quemador que se encargará, cuando sea necesario, de aportar la energía para que los gases alcancen la temperatura necesaria para la oxidación de los compuestos orgánicos. Esta oxidación es exotérmica, y el consumo energético en el quemador dependerá, por tanto, de la concentración de contaminantes en los gases a depurar.

Los gases calientes que salen de la cámara de oxidación se hacen pasar por otro lecho cerámico. Inicialmente, este lecho estará frío y captará el calor contenido en los gases depurados que, a su vez, se enfriarán antes de salir por la parte inferior del lecho y ser enviados a la chimenea.

Cuando el primer lecho esté frío y el segundo caliente, se invierte el sentido del gas y se hace pasar por el lecho caliente, que cederá el calor acumulado al gas a depurar.

El momento en el cual se realiza un cambio de ciclo viene determinado por la diferencia de la temperatura de los gases entre la salida y la entrada. Cuanto más bajo sea este valor, mayor será la recuperación energética pero más frecuentes tendrán que ser los cambios de sentido del gas. Normalmente, se trabaja con tiempos de cambio de válvulas entre 60 y 120 segundos.

Si el termorreactor tuviera únicamente dos torres, en cada cambio de sentido de los gases se emitirían por la chimenea parte de gases sin depurar, ya que el gas que ocupa la parte inferior de la torre de entrada y los huecos del lecho cerámico sería enviado a la chimenea sin haber pasado por la cámara de oxidación. Además, en cada cambio de válvulas hay un momento en el que coinciden que las válvulas de entrada y salida están parcialmente abiertas: una se está abriendo y la otra se está cerrando. Durante ese tiempo, hay comunicación directa entre la entrada y la salida, produciendo una variación brusca de presión además del paso de una importante cantidad de gases sin depurar directamente a la chimenea, ya que no han podido pasar por la cámara de oxidación.

Para evitar emisiones de gases sin depurar en cada cambio de ciclo, se instala una tercera torre que está en fase de purga mientras las otras dos torres trabajan. Así, cuando una torre ha recibido el gas sin depurar, se purga aspirando un pequeño volumen de gases limpios (aire o gases de chimenea). De esta forma, todo el gas sin depurar que queda en los huecos del lecho y en la parte inferior de la torre es arrastrado hacia la cámara de oxidación donde se depura. Si el termorreactor está en sobrepresión (ventilador antes

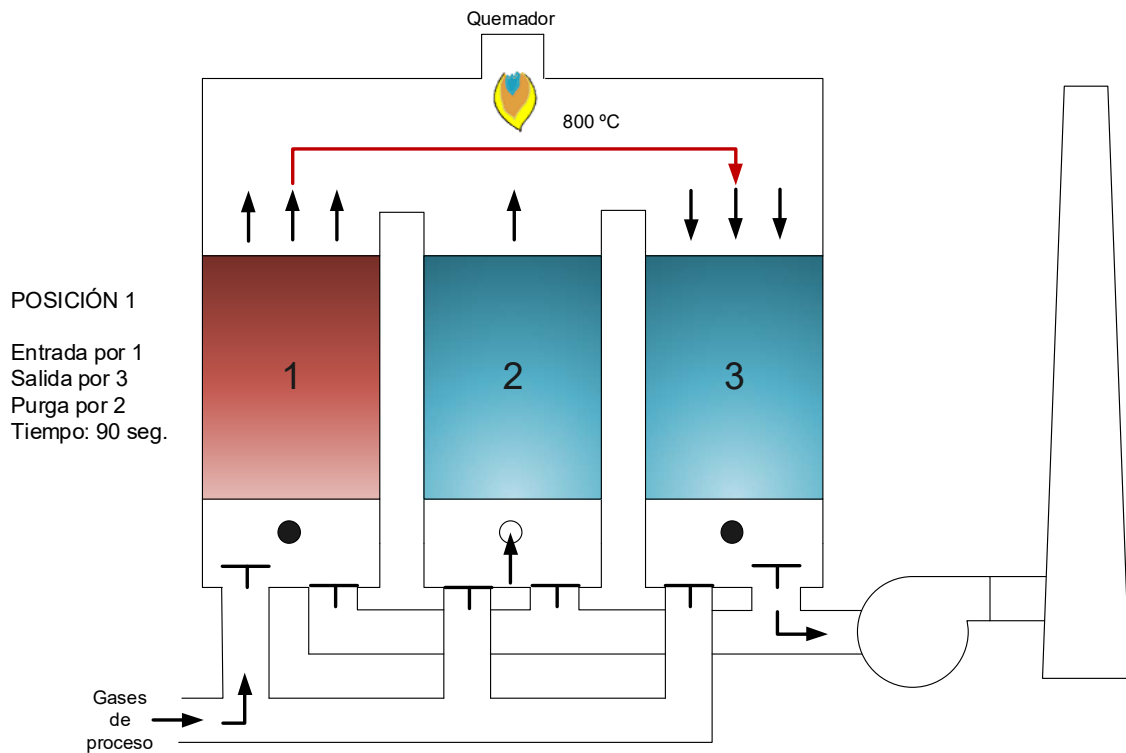
del equipo), la purga se realiza aspirando gases por la parte baja de las torres, de manera que los gases limpios de la cámara de oxidación llenan los huecos del relleno y las tolvas. La aspiración de los gases se realiza mediante el ventilador de gases de proceso.

Otra ventaja de la instalación de una tercera torre es que no se producen oscilaciones bruscas de presión en el conducto de aspiración de gases a depurar. Hay que tener en cuenta que la diferencia de presión entre la entrada y salida del RTO es de unos 25 mbar. Si el sistema fuera de 2 torres, durante el cambio de válvulas hay comunicación directa entre la entrada y la salida, produciendo una variación brusca de presión. En un termorreactor de 3 torres, se abre una válvula antes de cerrar la anterior, por lo que las variaciones de presión son pequeñas y no hay ningún momento en que estén abiertas simultáneamente las válvulas de entrada y salida de una misma torre.

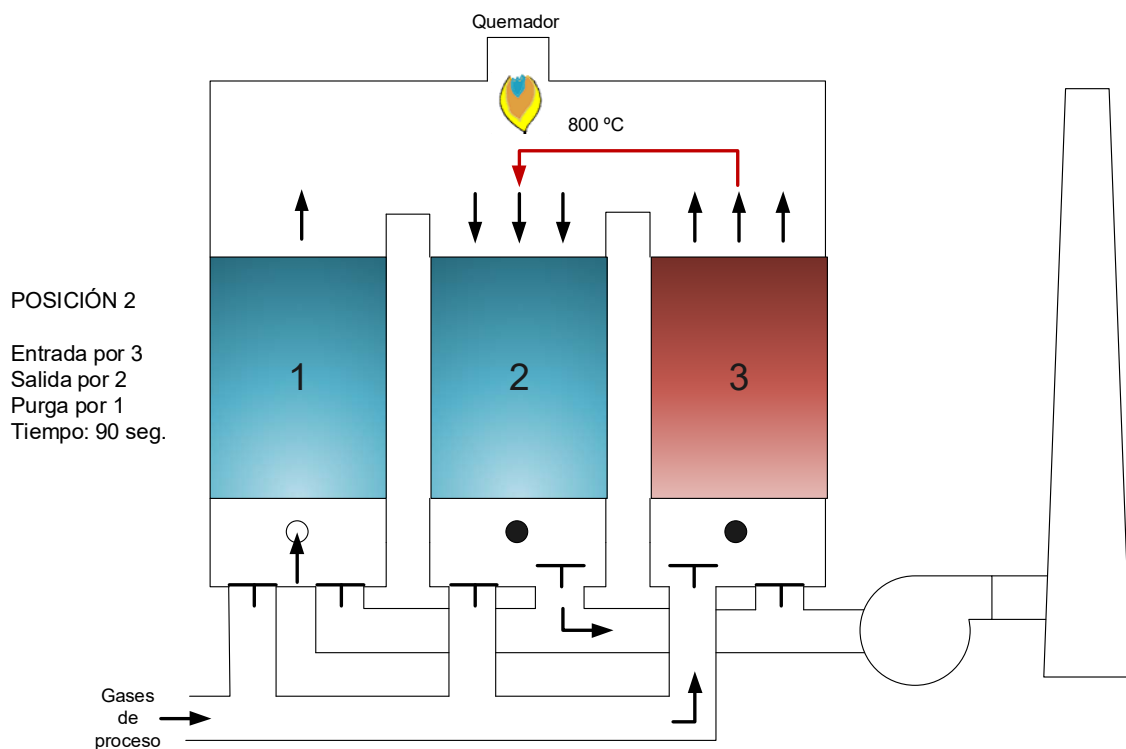
Se han hecho intentos de eliminar la tercera torre instalando "pulmones" que recogieran temporalmente los gases de proceso durante el cambio de válvulas y lo fueran introduciendo a la entrada del termorreactor durante todo el resto del ciclo, pero estos sistemas no han funcionado de manera satisfactoria. Además, el ahorro económico que eso supone no es tan importante como lo es la pérdida de fiabilidad del sistema.

Para que se entienda mejor el funcionamiento de un RTO de tres torres, a continuación, se describen y representan las tres posiciones por las que se pasa en cada ciclo de cambio de válvulas de un termorreactor que estaría en depresión.

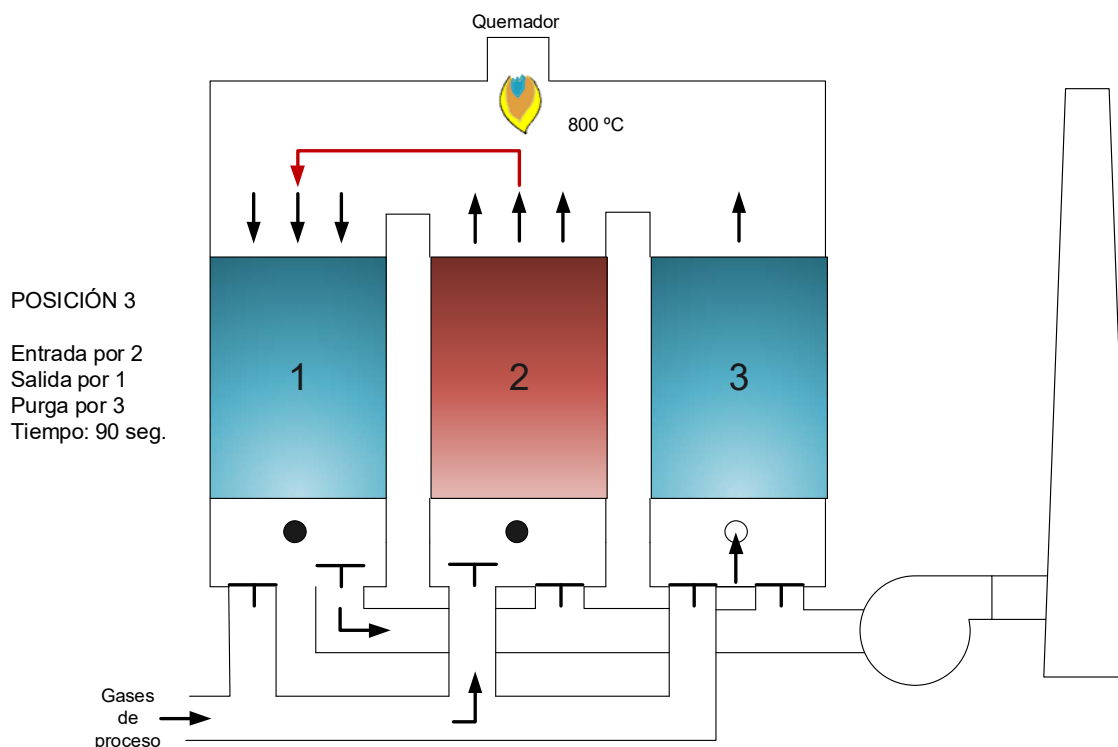
Posición 1: Los gases a depurar entran por la torre 1 (que está caliente de un ciclo anterior) y salen por la 3. De esta forma, recogen el calor de la torre 1, precalentándose hasta casi la temperatura de la cámara de oxidación y, una vez han pasado por ésta, salen por la torre 3 cediendo el calor a las masas cerámicas. La torre 2 está cerrada y en fase de purga (limpieza). Esta purga se realiza abriendo una válvula que permite la entrada de aire ambiente. Si se desea aumentar la eficacia del sistema en cuanto a ahorro energético, puede tomarse gases de salida para la purga, debido a que, de esta forma, no se calienta el gas de purga para emitirlo por chimenea, ya que su temperatura de entrada al RTO es la misma que la de salida, por lo que el balance térmico es cero.



Posición 2: La torre 3 se ha calentado en el ciclo anterior y las torres 1 y 2 están frías. Pero la torre 1 está llena de los gases a depurar que no han llegado a la cámara de oxidación. Por tanto, en esta posición, los gases entrarán por la torre 3 (caliente) y saldrán por la torre 2 (fría y limpia), mientras que la torre 1 (sucia) estará en fase de purga.



Posición 3: La torre 2 se ha calentado en el ciclo anterior y las torres 1 y 3 están frías. Pero la torre 3 está llena de los gases a depurar. Por tanto, en esta posición los gases entrarán por la torre 2 (caliente) y saldrán por la torre 1 (fría y limpia), mientras que la torre 3 (sucia) estará en fase de purga.



2 COMPONENTES

En este apartado se van a describir los principales componentes de un termorreactor.

2.1 Torres de recuperación térmica

En las torres de recuperación térmica es donde tiene lugar la transferencia de calor entre los gases y el material cerámico que sirve de acumulador de calor.

La estructura exterior está construida de acero aislado interiormente. El aislamiento interno suele ser de fibra cerámica. El modo de colocación del aislamiento de fibra cerámica se verá en el apartado 2.3.

Las torres están rellenas de material cerámico, que es el que actúa de acumulador de calor. Los rellenos de material cerámico son el componente que más ha evolucionado desde la aparición de estos equipos, pudiendo tener diferentes configuraciones, algunas de las cuales se presentan a continuación:

2.1.1 Sillas de montar o "Saddles"

En un principio, el relleno cerámico estaba compuesto de sillas de montar u otros elementos individuales, como bolas cerámicas, que llenaban las torres. Este sistema tenía la desventaja de conseguir poca eficacia de recuperación de calor con una pérdida de carga muy elevada (unos 50 mbar), lo que aumentaba mucho el consumo energético de la depuración, tanto en energía térmica como eléctrica (mayor consumo en el ventilador).



Fotografía 2: Distintos tipos de sillas de montar o "saddles". ([+info](#))



Fotografía 3: Torre rellena de bolas cerámicas.

2.1.2 "Honeycombs"

Posteriormente a las sillas de montar, se pasó a rellenos ordenados. El más popular fue el de tipo "panal de abeja" o "Honeycombs". Se trata de un relleno constituido por bloques cerámicos formados por una red de canales prismáticos muy estrechos (desde 2 x 2 mm a 5 x 5 mm).



Fotografía 4: Bloque cerámico tipo "Honeycombs". ([+info](#))

Estos rellenos consiguen reducir la pérdida de carga y aumentar la eficacia de recuperación de calor, pero tienen algunas desventajas:

- El relleno cerámico está sometido a continuos ciclos de calentamiento y enfriamiento, por lo que se producen continuas dilataciones y contracciones de la cerámica. Al ser los bloques rígidos, estas tensiones por dilatación térmica dan lugar a roturas de los bloques.



Fotografía 5: Bloques de "Honeycombs" agrietados.

- Los bloques cerámicos pueden quedar separados, con holgura entre ellos, creando caminos preferenciales por los que pasarán los gases con mayor facilidad y menor intercambio de calor.

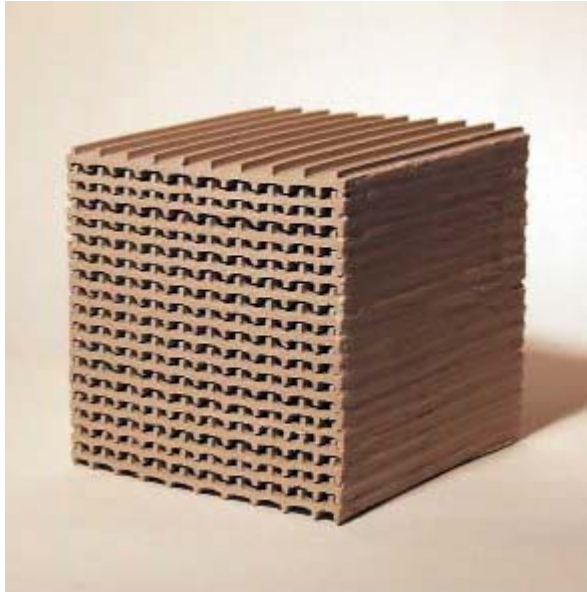


Fotografía 6: Bloques de "Honeycombs" separados.

- Al montar las distintas filas de bloques, es imposible que éstos queden perfectamente encajados unos sobre otros, sino que entre ellos siempre hay un ligero desplazamiento. Por tanto, se producen estrechamientos del paso entre cada fila de bloques, aumentando la pérdida de carga. Para evitar esto, los fabricantes han optado por dotar a los bloques de pies para separarlos unos de otros y que no se produzca dicho estrechamiento. Este fenómeno puede verse muy bien en este [video](#).

2.1.3 Multi-Layer Media

El relleno cerámico del tipo Multi-Layer Media[®] (MLM) es una evolución del "Honeycombs" que intenta mejorar los puntos débiles de aquél. Está formado por placas cerámicas paralelas e independientes, de 102 x 102 mm, separadas mediante separadores, que permiten empacar mayor cantidad de cerámica por m³ de relleno a la vez que conseguir una menor resistencia al paso de los gases. Al estar el relleno compuesto de placas independientes, se eliminan las tensiones por dilatación térmica y se permite el flujo transversal del gas a depurar, con lo que se consigue mejor homogeneidad de flujo y, por tanto, menor pérdida de carga.



Fotografía 7: Relleno cerámico tipo MLM. ([+info](#))

Las placas cerámicas son de mayor espesor que en el caso de "Honeycombs", lo que lo hace más resistente y durable.



Fotografía 8: Interior de una torre rellena con MLM.

En aplicaciones en los que hay siliconas o silanos, se forma sílice cuando se oxidan estos compuestos, y se deposita sobre la cerámica, taponando el lecho. Estos rellenos MLM se fabrican en versión "Silicon Resistant" para disminuir al máximo este efecto.

2.2 Cámara de oxidación

La cámara de oxidación va montada sobre las torres de recuperación térmica y tiene como finalidad someter a los gases a una temperatura y un tiempo suficientes para conseguir la completa oxidación de los compuestos orgánicos. La temperatura mínima suele ser de 800 °C y el tiempo de residencia mínimo suele ser de 0,80 segundos.

La cámara está aislada interiormente con fibra cerámica. En la cámara se aloja el quemador, encargado de mantener la temperatura mínima de oxidación.



Fotografía 9: Interior de una cámara de oxidación.

2.3 Aislamiento interno

El aislamiento interno suele hacerse con fibra cerámica refractaria. Se trata de un material de alto poder aislante fabricado a partir de sílice y óxido de aluminio que tiene las siguientes características:

- Resiste temperaturas hasta 1.425 °C, aunque la utilizada más habitualmente resiste temperaturas hasta 1.260 °C.
- Tiene muy baja conductividad térmica, por lo que se consigue un buen aislamiento con reducidos espesores. Para conseguir temperaturas de

unos 60 °C en la chapa exterior de una cámara de oxidación que trabaja a 800 °C, basta con un espesor de fibra cerámica de 200 mm.

- Su densidad es muy baja (entre 64 y 160 kg/m³), por lo que, con respecto a los hormigones o ladrillos refractarios, reduce enormemente el peso de los equipos.
- Tiene buena absorción del sonido, por lo que tiene propiedades insonorizantes.
- Posee muy bajo calor específico, por lo que acumula poco calor. Esto es especialmente interesante para el aislamiento de hornos que trabajan por ciclos de trabajo cortos, ya que disminuye los tiempos de calentamiento y enfriamiento y reduce las pérdidas de energía que se producen al arrancar y parar el horno, ya que, en los arranques, es necesario calentar el aislamiento y todo ese calor que acumula se pierde en el enfriamiento.
- Tiene una excelente resistencia a los choques térmicos, por lo que no se deteriora por calentamientos o enfriamientos rápidos.
- No necesita curado previo, a diferencia del hormigón.
- No está afectada por la mayoría de los productos químicos, a excepción de los ácidos fluorhídrico y fosfórico y de los álcalis fuertes como los hidróxidos de sodio y potasio.

La principal limitación que tienen las fibras cerámicas es que no pueden utilizarse en lugares donde la velocidad de los gases es muy alta (superior a 12 m/s) o donde hay un impacto permanente de gases a alta velocidad (entrada de gases en una cámara de oxidación).

La fibra cerámica que suele usarse en el aislamiento interno de los termorreactores se suministra en forma de bandas que suelen tener 610 mm de ancho y espesores que oscilan entre los 13 y los 50 mm. La longitud de las bandas puede ser muy variable, aunque es habitual encontrar rollos de 7.320 mm de largo.



Fotografía 10: Rollo de fibra cerámica refractaria ([+info](#)).

La principal diferencia entre los distintos aislamientos realizados con fibra cerámica es el modo de colocación ya que, según sea éste, el poder aislante y la durabilidad del revestimiento varían mucho. Los principales modos de colocación de la fibra cerámica se describen a continuación.

2.3.1 Colocación en capas

La fibra cerámica se coloca en capas sobre la superficie a aislar. Suelen emplearse mantas de 50 mm de espesor. Las mantas se fijan clavándolas sobre unas varillas de acero inoxidable soldadas a la chapa. Al final de cada varilla, se coloca una arandela que evita el desprendimiento de las mantas.

Esta solución es la más económica de colocación, pero presenta algunos inconvenientes:

- La manta no se puede comprimir, por lo que la capacidad aislante es menor. Para mejorar esto, se suelen emplear mantas de la mayor densidad (160 kg/m^3).
- Con la temperatura, la fibra suele contraerse ligeramente (entre un 3 y un 5%), y pueden quedar fisuras que permitan a los gases calientes llegar hasta la chapa. Para evitar esto, las capas se colocan solapadas, para que no haya fisuras que lleguen a la chapa.
- Se puede desprender fácilmente de los anclajes. De hecho, en muchas cámaras aisladas de esta forma, se observan, después de un tiempo, zonas que se han desprendido y es necesario su reparación.

- Los anclajes metálicos están en contacto con los gases calientes y hacen de puentes térmicos, transmitiendo calor a la chapa exterior. Esto reduce la eficacia del aislamiento. Para mejorar esto, pueden sustituirse las arandelas metálicas por tapones cerámicos, pero la situación no mejora notablemente.

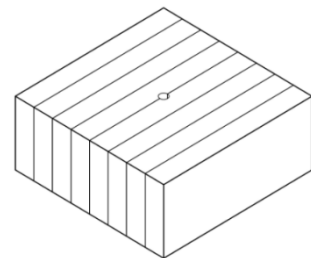


Fotografía 11: Cámara de oxidación aislada con fibra cerámica colocada en capas.

2.3.2 Colocación en bandas perpendiculares

La fibra cerámica se corta en bandas de la anchura deseada para el espesor del aislamiento y estas bandas se colocan perpendicularmente a la chapa que se quiere aislar, sujetándolas mediante anclajes tipo H y U soldados.

Tiene la ventaja de que se elimina la posibilidad de que la fibra se pueda desprender y de que los anclajes metálicos no están en contacto con los gases calientes (suelen estar ubicados a una distancia entre un tercio y la mitad del espesor de aislamiento desde la chapa). Por tanto, se reducen mucho los puentes térmicos.



Sin embargo, con esta solución sigue sin poder comprimirse la fibra cerámica, por lo que la capacidad aislante tampoco mejora y pueden quedar pequeñas fisuras entre las bandas debidas a la contracción.



Fotografía 12: Aislamiento de un segmento de cámara de oxidación con fibra cerámica colocada en bandas perpendiculares a la chapa.

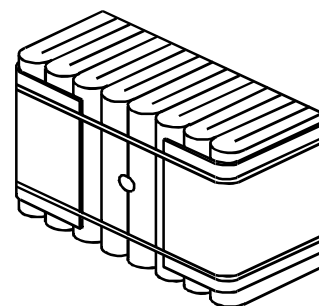
2.3.3 Colocación en forma de libro

Se cortan tiras del doble de anchura que el espesor deseado y se doblan, haciendo bloques que suelen tener unas medidas de 610 x 400 mm o 610 x 600 mm. Los bloques se comprimen ligeramente y se sujetan con flejes de plástico.

Se recubre la pared con estos bloques, anclándolos con anclajes en forma de H y de U soldados a la chapa.

Una vez recubierta la pared, se cortan los flejes, con lo que la fibra se expande y se comprimen unos bloques contra otros.

Esta solución tiene la ventaja de poder comprimir la fibra, con lo que se consigue un mayor poder de aislamiento y compensar la contracción que sufre la fibra con la temperatura. Además, la cara que presenta la fibra al paso de los gases es mucho más resistente y puede soportar mayores velocidades de paso sin deshilacharse.

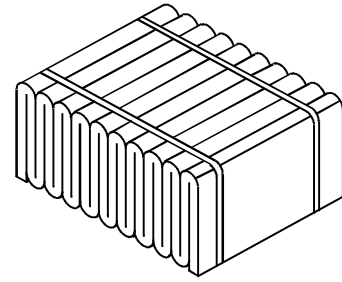




Fotografía 13: Aislamiento con fibra cerámica colocada en forma de libro.

2.3.4 Colocación en modo "stack bond"

Se conforman bloques de fibra cerámica plegando la manta en zig-zag. Una vez terminado el bloque, se comprime (sobre el 20%) y se fleja con plástico.



Fotografía 14: Bloque de fibra cerámica plegado en zig-zag.

Se reviste la pared con estos bloques, sujetándolos a la chapa mediante anclajes soldados. Una vez terminado el revestimiento, se cortan los flejes y los bloques se expanden, con lo que la fibra queda compacta.

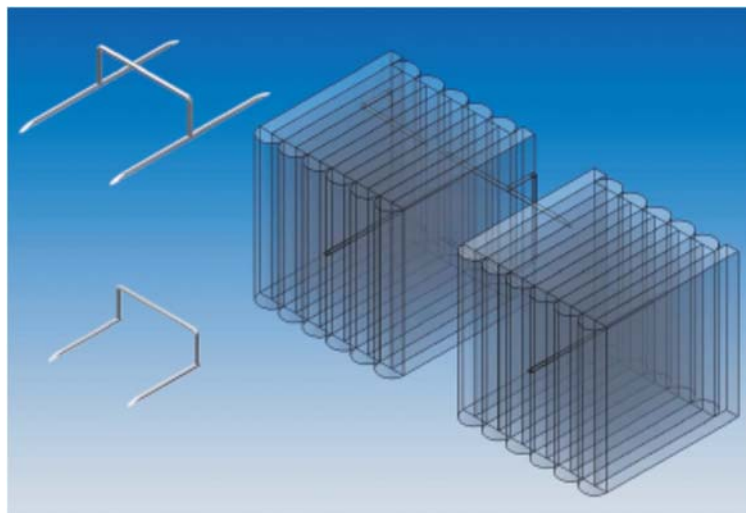


Ilustración 1: Anclajes de tipo H y U para módulos de fibra cerámica.

Este sistema es el más ventajoso por las siguientes razones:

- La fibra se puede compactar un 20% o más, consiguiendo un mayor poder aislante.
- La contracción de la fibra queda absorbida por la compactación de ésta.
- La cara que presenta la fibra al paso de los gases es muy resistente, por lo que se puede emplear para zonas de paso de gases a mayor velocidad (incluso, en chimeneas).
- El hecho de que la fibra esté plegada en zig-zag evita que los gases puedan entrar en contacto directo con la chapa por los resquicios entre capa y capa.

Este sistema de colocación es el que presenta las mayores ventajas, pero resulta el más costoso de colocación.



Fotografía 15: Aislamiento con fibra cerámica colocada en modo "stack bond".

2.4 Quemador

En la cámara de oxidación se instala un quemador para calentar el equipo en el arranque y para garantizar una temperatura adecuada en la cámara de oxidación.

Los quemadores instalados suelen ser de media-alta velocidad de llama para que su llama no se perturbe por la circulación transversal de los gases, aunque la velocidad de paso de gases por la cámara de oxidación suele ser muy baja (del orden de 6 m/s). Además, estos quemadores son de llama corta, para evitar el impacto de la llama en la pared opuesta al quemador.

Es recomendable que la boca del quemador esté fabricada con hormigón refractario para evitar que se deteriore al estar trabajando en una cámara de oxidación a temperaturas superiores a 800 °C.

Es muy recomendable que el quemador se apague por completo cuando se alcanza una temperatura excesiva en la cámara de oxidación (que podrían ser 850 °C) y que se vuelva a encender cuando la temperatura descienda. De esta forma, si se tiene una concentración suficiente de compuestos orgánicos, el sistema puede funcionar en autotermia con un consumo nulo de gas natural (quemador apagado).

Cuando el tamaño del equipo es muy grande, suelen instalarse dos quemadores (colocados entre torre y torre) para que la distribución de calor sea más uniforme. No hay un criterio claro sobre cuándo instalar dos quemadores, pero suelen instalarse cuando el caudal de gases a depurar supera los 50.000 Nm³/h. No obstante, hay equipos de 90.000 Nm³/h que funcionan con un solo quemador y funcionan correctamente.



Fotografía 16: Boca de un quemador.

2.5 Válvulas de las torres

Las válvulas de las torres son unos elementos clave para conseguir una buena eficacia de depuración. Hay que tener en cuenta que, si las válvulas fugan, una parte de los gases pasarán directamente desde el conducto de entrada al de salida, sin pasar por la cámara de oxidación. Por tanto, es imprescindible que las válvulas tengan una muy buena estanqueidad (normalmente, superior al 99%). La mayoría de las deficiencias en la eficacia de la depuración de estos equipos tiene su origen en una mala estanqueidad de las válvulas.

Los tipos de válvulas que con mayor frecuencia se instalan en las torres de los termorreactores se indican a continuación.

2.5.1 Válvulas de mariposa

Las válvulas de mariposa fueron las que primero se instalaron en este tipo de equipos y, cuando la normativa no era tan restrictiva, podían servir. Sin embargo, en la mayor parte de las comunidades autónomas españolas se están imponiendo límites de emisiones de COV's de 20 mg/Nm³, y la estanqueidad de las válvulas de mariposa no suele ser suficiente para conseguir estos niveles de emisiones. Evidentemente, cuando las emisiones de COV's por chimenea se deben a una mala estanqueidad de las válvulas, los valores de emisión serán función de las concentraciones a la entrada.



Fotografía 17: Conductos de entrada y salida de un RTO con válvulas de mariposa.

Para mejorar la estanqueidad, se empezaron a emplear válvulas de mariposa de doble clapeta. El principio de funcionamiento de estas válvulas es que, cuando la válvula está cerrada, se introduce aire entre las dos clapetas a una presión superior a la que hay a ambos lados de la válvula. En el caso de que los cierres fuguen, lo que ocurre es que pasa aire limpio a un lado y a otro de la válvula, pero la cámara de aire intermedia impide que haya paso de gases de un lado a otro de la válvula. En realidad, no se puede decir que la estanqueidad de la válvula sea mejor; lo que se consigue es impedir la comunicación entre los dos lados de la válvula mediante un sello de aire intermedio. Sobre el papel, estas válvulas tienen una estanqueidad muy elevada, pero en la práctica hemos visto muchos problemas de funcionamiento en este tipo de válvulas. Además, en válvulas de 1.100 mm de diámetro hemos podido medir que se estaba introduciendo un caudal de aire de sellado entre 1.500 y 2.500 Nm³/h por válvula. Una buena parte de ese aire pasará por la cámara de oxidación, se calentará y saldrá por la chimenea caliente, incrementando el consumo energético de la depuración y disminuyendo la capacidad de ésta.



Fotografía 18: Válvula de mariposa de doble clapeta.

2.5.2 Válvulas de plato

Las válvulas de plato consisten en un disco de acero que descansa sobre un aro. Estas válvulas no tienen discontinuidades a lo largo del cierre (como ocurre con las de mariposa) y, por tanto, su cierre es mucho más estanco. Además, a diferencia de las válvulas de mariposa, es relativamente sencillo colocar una junta que aguante las temperaturas de salida de los gases. Por tanto, este tipo de válvulas son las que se están instalando con mayor frecuencia en los termorreactores.



Fotografía 19: Válvula de plato con junta.

2.6 Ventilador

Existen dos posibilidades a la hora de colocar el ventilador que tienen ventajas e inconvenientes. Estas dos posibilidades se describen a continuación.

2.6.1 Ventilador en cabeza

Si el ventilador se instala a la entrada del termorreactor, todo el sistema estará en sobrepresión. Esto tiene la ventaja de que el ventilador va a trabajar a menor temperatura y con mayor presión en el gas, por lo que el consumo eléctrico será menor y también lo será el tamaño y el coste del ventilador.

Sin embargo, tenemos algunos inconvenientes como son:

- Si el equipo está en sobrepresión, cualquier fuga que haya en la cámara de oxidación a través de juntas, quemador, etc. supondrá la salida de gases calientes al exterior. Esto puede ocasionar daños materiales y puede suponer un riesgo de seguridad. Asimismo, si los cilindros neumáticos que actúan sobre las válvulas no son perfectamente estancos, pueden salir gases calientes dañando los

cilindros. Esto se daría en el caso de que los gases que salen del termorreactor estén a elevada temperatura.

- Si los gases tienen compuestos que puedan ensuciar las superficies (como resinas o barnices) o condensan, el ventilador va a sufrir y se deteriorará antes que si trabaja con gases limpios. Por tanto, en estos casos, es más conveniente instalarlo a la salida.

2.6.2 Ventilador en cola

La instalación del ventilador en cola hace que todo el sistema esté en depresión. Esto tendrá ventajas e inconvenientes que son justo el inverso del ventilador en cabeza. Además, tiene algunas ventajas sobre el ventilador en cabeza como:

- Es posible purgar las torres simplemente instalando un orificio de entrada con una válvula. Cuando se abra la válvula, entrará aire ambiente que limpiará la torre. Si la concentración de COV's es suficientemente elevada para que el termorreactor trabaje en autotermia, esto no tendrá efecto en el consumo energético y reducirá el coste de la instalación. Si el equipo no trabaja en autotermia porque la concentración de COV's es muy baja, puede ser conveniente instalar conductos de purga para limpiar las torres aspirando gases desde la chimenea.
- Cuando el quemador está apagado, es posible apagar también el ventilador de aire de combustión sin riesgo de que salgan gases calientes desde la cámara de oxidación hacia el conducto de aire de combustión, deteriorando los componentes del quemador. En el caso de que el equipo esté en sobrepresión, es conveniente mantener dicho ventilador constantemente encendido, aunque se instala una válvula de mariposa que impida el retroceso de gases calientes (hemos visto algún equipo en sobrepresión que apaga el ventilador de aire de combustión y cierra una válvula previa, y al equipo no le ocurre nada; pero es algo arriesgado por si la válvula fuga).
- Si se instalan válvula de mariposa de doble clapeta, es posible realizar el sellado con aire simplemente abriendo una entrada que comunique con el exterior, ya que los dos lados de la válvula está a una presión inferior a la atmosférica.

2.7 Evacuación del excedente de calor

Cuando hay un incremento de la concentración de compuestos orgánicos en la corriente de gases a depurar puede ocurrir que, debido al calor generado en la oxidación, la temperatura de la cámara aumente hasta valores peligrosos. En esos casos, es necesario evacuar calor del sistema y emitirlo en forma de gases calientes por chimenea.

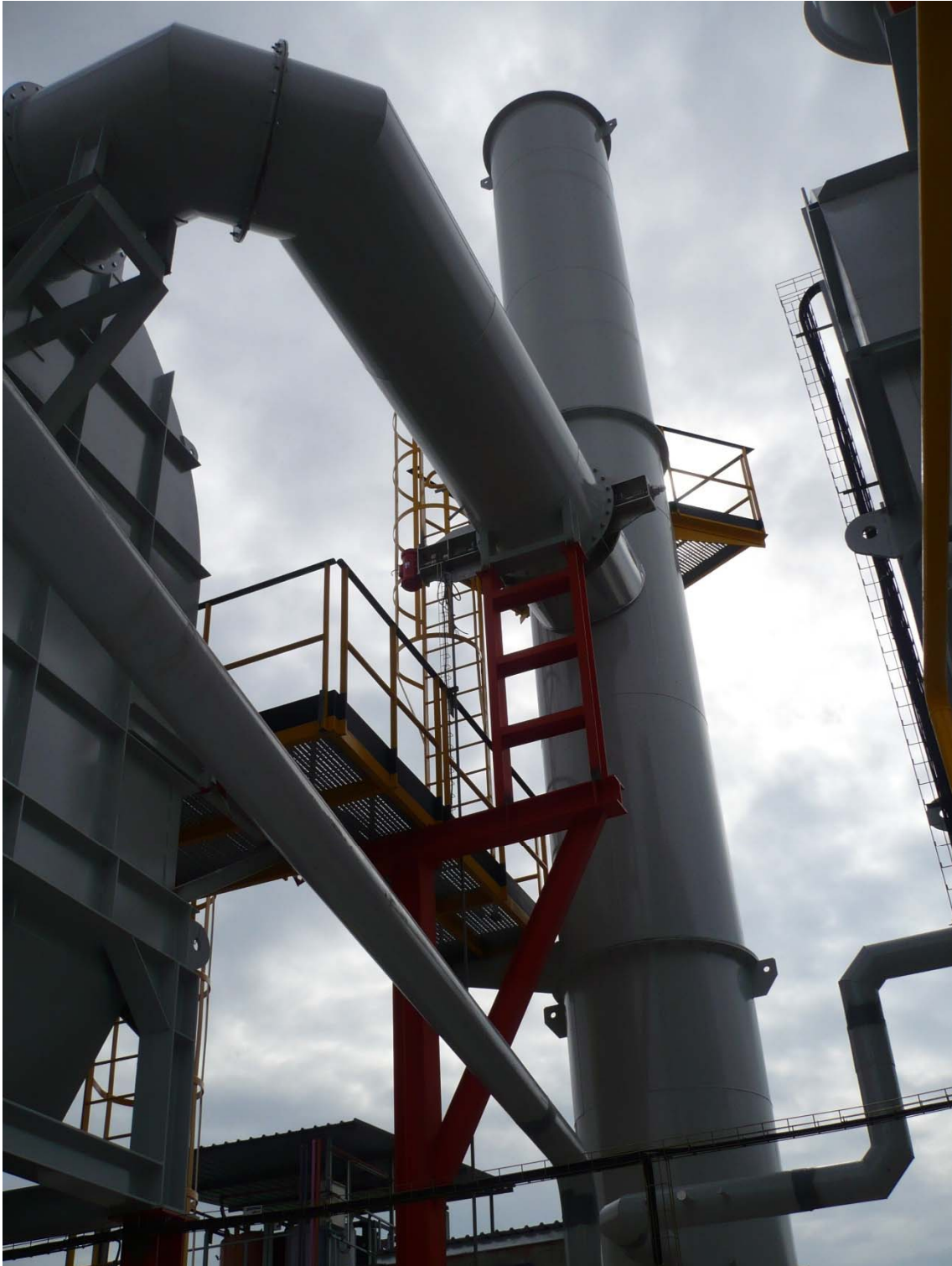
Para evacuar el excedente de calor, hay dos sistemas posibles que se describen a continuación.

2.7.1 "By-pass caliente"

El "By-pass" caliente consiste en desviar una parte de los gases desde la cámara de oxidación hasta la chimenea, sin pasar por las masas cerámicas.

Se realiza instalando un conducto entre la cámara de oxidación y la chimenea e intercalando en dicho conducto una válvula de mariposa de alta temperatura y con apertura regulable.

El efecto que la apertura de dicha válvula tiene sobre el sistema es que, al desviar una parte de gases calientes directamente a chimenea, el caudal de gases que pasan por el lecho cerámico de salida es menor y, por tanto, el calor que se acumulará también será menor. Cuando dicha torre de salida actúe como torre de entrada, al haber acumulado menos calor, los gases a depurar se precalentarán menos y la temperatura de la cámara de oxidación bajará.



Fotografía 20: "By-pass" caliente.

Este sistema de funcionamiento tiene bastantes inconvenientes:

- Es un sistema muy costoso de fabricación, ya que el conducto de "by-pass" tiene que estar refractariado interiormente (normalmente, con hormigón refractario) y la válvula de mariposa tiene que ser de

alta temperatura. Normalmente, estas válvulas dan muchos problemas de funcionamiento, ya que la lenteja, aunque sea de Avesta 253-MA (aleación refractaria), suele deformarse por las elevadas temperaturas de los gases.

- El efecto de la evacuación de los gases calientes se nota en la temperatura de la cámara de oxidación después de, al menos, un ciclo completo de cambio de válvulas (entre 3 y 6 minutos). Por tanto, no es, ni mucho menos, inmediato. Por tanto, si se producen aumentos súbitos de la concentración de compuestos orgánicos (como suele ocurrir cuando se depuran gases procedentes de venteos de reactores o en el arranque de procesos discontinuos), este sistema no funciona bien puesto que no se puede controlar el aumento rápido de la temperatura en la cámara de oxidación.
- Es muy difícil regular la apertura de la válvula en función de la temperatura de la cámara de oxidación, ya que el efecto de la apertura de la válvula tiene efecto en dicha temperatura después de bastante tiempo.
- Las válvulas de mariposa de alta temperatura tienen bastante holgura entre la clapeta y el cuerpo de la válvula para permitir dilataciones. Por tanto, su estanqueidad no es del todo buena y esto se traduce en que, estando la válvula cerrada, hay un paso importante de gases por el conducto "by-pass" y esto conlleva una pérdida de calor que aumenta el coste de la depuración cuando el sistema no trabaja en autotermia.

Los intentos que se han hecho de fabricar el conducto con acero Avesta 253-MA o acero inoxidable AISI 310 para reducir costes eliminando el refractariado interior han fracasado, ya que las tensiones por dilatación son tan grandes que se producen fisuras en las soldaduras y deformaciones en el conducto.

2.7.2 "By-pass" frío

El "by-pass" frío consiste en desviar una parte de los gases a depurar directamente desde el conducto de entrada hasta la cámara de oxidación. Se realiza instalando un conducto desde el colector de entrada hasta la cámara de oxidación, e insertando en dicho conducto una válvula de mariposa de apertura regulable. Para que haya una mejor distribución de los gases en la cámara de oxidación, el conducto suele dividirse y se introducen en la cámara los gases a depurar a través de dos entradas.

El efecto que tiene este desvío de gases es una disminución inmediata de la temperatura de la cámara de oxidación. Además, por la torre de entrada habrá entrado un menor caudal de gases, con lo que se habrá extraído menos calor de las masas cerámicas, que se mantendrán más calientes que si hubiéramos pasado todo el caudal de gases a depurar. Cuando la torre de entrada actúe como torre de salida, al tener acumulado algo de calor, los gases saldrán de dicha torre a mayor temperatura que si no hubiera actuado el "by-pass". De esta forma, se pierde el calor excedentario.

Las ventajas que tiene el "by-pass" frío sobre el by-pass caliente son las siguientes:

- Su construcción es muy económica, ya que no es necesario refractariar conductos ni utilizar válvulas de alta temperatura.
- El efecto de la apertura de la válvula sobre la temperatura de la cámara de oxidación es inmediato, por lo que es adecuado para casos en los que se producen aumentos súbitos de la concentración de COV's.
- La regulación de la apertura de la válvula de mariposa en función de la temperatura de la cámara de oxidación es muy fácil, ya que el efecto es inmediato, y suele realizarse mediante un lazo de regulación PID.
- La estanqueidad de una válvula de mariposa a baja temperatura es lo suficientemente buena como para que no represente un consumo energético significativo el pequeño caudal de gases que puedan pasar por la válvula cerrada.

Como único inconveniente puede decirse que el calor se pierde por la parte baja de las torres, aumentando la temperatura de los gases, por lo que hay que tenerlo en cuenta de cara a la elección de los materiales de construcción.



Fotografía 21: "By-pass" frío.

DEPURACIÓN DE GASES POR OXIDACIÓN TÉRMICA

Autor: José Enrique Castells Estela

Doctor en Ciencias Químicas y Administrador de Envirolia, S.L.

Zaragoza, a 31 de marzo de 2020.

Tabla de contenido

1	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	2
2	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA OXIDACIÓN TÉRMICA	5
2.1	Temperatura de reacción.....	5
2.2	Tiempo de permanencia de los gases en la cámara de reacción.....	6
2.3	Turbulencia	6
3	VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA OXIDACIÓN TÉRMICA.....	7
4	DISEÑO DE LOS EQUIPOS.....	8
5	RECUPERACIÓN DE CALOR.....	9
5.1	Pre calentamiento del gas a depurar	9
5.2	Generación de calor para el proceso industrial	10
6	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN.....	11
6.1	Cámara de oxidación	11
6.2	Quemador.....	12
6.3	Dispositivos de seguridad	13

1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La oxidación térmica es un proceso que se utiliza para eliminar contaminantes gaseosos que, cuando se oxidan, producen otros que son inocuos o mucho menos perjudiciales. Así, esta técnica puede dar resultados satisfactorios en muy diversas aplicaciones como:

- Eliminación de compuestos olorosos, ya que la mayoría son combustibles o pueden ser modificados químicamente a sustancias menos olorosas cuando se calientan suficientemente en presencia de oxígeno. Entre los contaminantes olorosos del aire, destruidos por la oxidación térmica, se incluyen los mercaptanos, los gases del cianuro, y el ácido sulfhídrico.
- Los aerosoles orgánicos que causan penachos visibles en chimeneas se destruyen eficazmente por oxidación térmica. Los tostadores de café, las factorías de ahumado de carne, y las estufas de horneado de los esmaltes, emiten tales aerosoles.
- Ciertos gases y vapores orgánicos, si se descargan en la atmósfera, intervienen en reacciones de oxidación fotoquímica. La oxidación térmica destruye eficazmente dichos materiales.
- Todos los compuestos orgánicos (VOC's) emitidos por una gran variedad de procesos industriales (pintado de superficies o piezas, impresión en plásticos, tejidos o papel, laminación de madera o plástico, industria química, etc.) son eliminados mediante oxidación térmica y producen compuestos inocuos (CO_2 , y agua)

Los sectores industriales que usan los procesos de oxidación térmica son:

- Eliminación de vapores de disolventes.
- Industria química.
- Industria textil
- Industrias de impresión y flexografía.
- Industria farmacéutica.
- Industria alimentaria.
- Industrias que producen olores.
- Fabricación de plásticos.
- Fabricación de resinas.

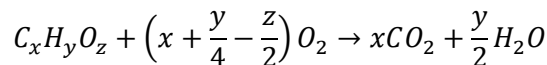
La oxidación térmica de los compuestos que queremos eliminar se consigue sometiendo los gases a una temperatura lo suficientemente elevada y manteniendo los gases a esa temperatura el tiempo suficiente para que la oxidación se produzca. De esta forma, los compuestos contaminantes se transforman en otros que no los son.



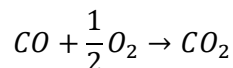
Fotografía 1: Planta de oxidación térmica de gas de síntesis con recuperación de calor para generar vapor.

Algunas de las reacciones de oxidación son las siguientes:

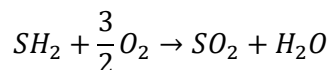
Compuestos orgánicos:



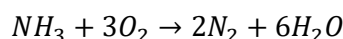
Monóxido de carbono:



Sulfuro de hidrógeno:



Amoníaco:



En ocasiones, los compuestos formados en la oxidación térmica pueden requerir un tratamiento de depuración posterior, como puede ser el caso del SO_2 .

Si los compuestos orgánicos son halogenados, se formarán los haluros de hidrógeno correspondientes (HCl, HF, etc.), y también requerirán un tratamiento de eliminación posterior a la oxidación térmica.

Asimismo, los compuestos nitrogenados formarán óxidos de nitrógeno (NO_x), que también pueden requerir un tratamiento de reducción de óxidos de nitrógeno.

Algunos compuestos orgánicos se descomponen a altas temperaturas, como es el caso de óxido nitroso (N_2O) o del dióxido de nitrógeno (NO_2).

En algunos ámbitos, a esta técnica se le denomina "incineración", pero esta denominación resulta incorrecta ya que la definición de incineración es "la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas". Ya que la combustión de los compuestos orgánicos volátiles no produce cenizas, no sería apropiado llamarla "incineración", reservando esta palabra para el tratamiento de residuos sólidos.

2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA OXIDACIÓN TÉRMICA

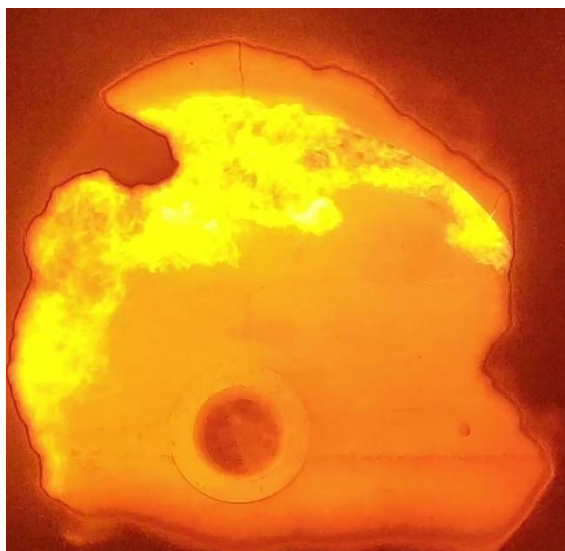
Los procesos de oxidación o descomposición térmicas se llevan a cabo en cámaras de oxidación diseñadas para conseguir la mayor eficacia posible con el menor tamaño. Y en esta eficacia intervienen lo que llamamos las "tres Tes" de la oxidación: temperatura, tiempo y turbulencia.

2.1 *Temperatura de reacción*

La reacción de oxidación de compuestos orgánicos se desarrolla de forma inapreciable a la temperatura ordinaria. Para conseguir una velocidad apreciable de oxidación, la temperatura de reacción se establece entre 750 °C. (apropiada para los compuestos orgánicos no halogenados) y los 1.200 °C. (necesarios para la oxidación de compuestos halogenados y P.C.B.).

A menudo, la temperatura de reacción está definida por aquella a la cual los valores de monóxido de carbono (CO) producidos se encuentran por debajo de lo permitido por la legislación, ya que este compuesto requiere temperaturas de oxidación más altas que las de los compuestos orgánicos.

La reacción de oxidación de sustancias orgánicas es siempre exotérmica, aunque, a veces, no es posible mantener la temperatura idónea de reacción simplemente por oxidación de los compuestos presentes en los gases a depurara y es preciso usar fuentes de energía adicionales, lo que aumenta el coste de operación. Por tanto, las temperaturas de operación se deben minimizar tanto cuanto sea posible.



Fotografía 2: Interior de una cámara de oxidación.

Las temperaturas de operación usadas en las cámaras de oxidación varían con la naturaleza de los contaminantes combustibles presentes en el gas efluente. Estos contaminantes pueden ser hidrocarburos en general, monóxido de carbono, olores, o una combinación de varios de ellos.

Si los compuestos orgánicos son sólo parcialmente oxidados como resultado de una baja temperatura, un mezclado defectuoso u otros problemas de diseño, se podrá formar una cantidad considerable de monóxido de carbono (CO). Si la temperatura de diseño no es suficientemente alta para permitir una oxidación prácticamente completa del monóxido de carbono, puede que sea necesario aumentar tiempo de residencia. Las cámaras de oxidación que

operan a temperatura por debajo de 780 °C, muestran frecuentemente altos contenidos de CO. Una oxidación incompleta de los compuestos orgánicos puede llevar a la formación de productos de oxidación intermedios que pueden ser altamente tóxicos. Y lo peor es que no hay ningún control sobre la naturaleza de los compuestos formados por una oxidación incompleta. Por tanto, es muy importante que la oxidación de los compuestos orgánicos tenga una eficacia muy elevada.

2.2 Tiempo de permanencia de los gases en la cámara de reacción

La oxidación de los compuestos orgánicos, como toda reacción química, posee una determinada cinética. Por tanto, será necesario mantener los gases a la temperatura de reacción durante un tiempo mínimo necesario para que la oxidación se complete. El tiempo de permanencia de los gases en la cámara dependerá de la temperatura de reacción, de la mezcla con el aire y del tipo de sustancia a oxidar.

Para la mayoría de disolventes no halogenados usados en la industria, y operando a temperaturas de 800 °C, el tiempo necesario para que la oxidación se complete en un 99% es de 0,5 a 1 segundo.



2.3 Turbulencia

La turbulencia se refiere a la cantidad requerida de mezclado mecánico a fin de asegurar el completo contacto el oxígeno, los contaminantes combustibles y el calor de la llama.

Un mezclado completo es usualmente más importante en el control de los olores que en el control general de los hidrocarburos, debido a que el escape del compuesto odorífero en concentraciones de sólo unas pocas partes por billón, se pueden frecuentemente detectar. Se requerirá menos tiempo de residencia cuando ocurra un mezclado adecuado y se utilice una llama corta.



Un aumento de una o las tres cantidades aumentará la posibilidad de una eliminación razonablemente completa de los compuestos oxidables. Una disminución en cualesquiera de los factores requerirá un aumento concomitante de uno o ambos de los factores restantes, a fin de mantener el

mismo nivel de eficacia en la eliminación del contaminante. Un aumento en la turbulencia, por el apropiado diseño del quemador y de la cámara, es en general la alteración más fácil y barata de un sistema de oxidación. Un aumento de la eficacia de la oxidación a través de un aumento en el tiempo de residencia significa un mayor tamaño de la cámara de oxidación, con el consecuente aumento del coste y del tamaño del equipo.

En general, en los cálculos de las cámaras de oxidación se determina la cantidad de combustible adicional requerida para obtener la temperatura deseada del gas a depurar (y con ello, la potencia del quemador), el volumen de los gases de escape generados y, con base en este último valor, el tamaño de la cámara de oxidación requerida para proveer el tiempo de permanencia deseado.

3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA OXIDACIÓN TÉRMICA

Las ventajas de la oxidación incluyen:

- Destrucción prácticamente completa de todos los contaminantes combustibles, cuando el equipo esté diseñado y operado de manera adecuada
- Posibilidad de adaptar el equipo a cambios moderados en el caudal y concentración del efluente.
- Gran durabilidad de los equipos.
- Posibilidad de recuperación económica del calor generado por la oxidación de los compuestos orgánicos.

Entre las desventajas frecuentemente citadas se tienen:

- Costes de inversión relativamente altos.
- La posibilidad de introducir problemas especiales de contaminación cuando estén presentes en el hidrocarburo otros átomos diferentes de C, H y O. Como ejemplo de este último problema se tienen los compuestos que contienen cloro, nitrógeno y azufre. En estos casos, los productos de la incineración podrán requerir tratamiento adicional, como por ejemplo el lavado, y podrán presentarse problemas de corrosión.
- Si la concentración de contaminantes es baja, puede ser necesario suministrar combustible adicional a fin de mantener la temperatura en la cámara de oxidación.

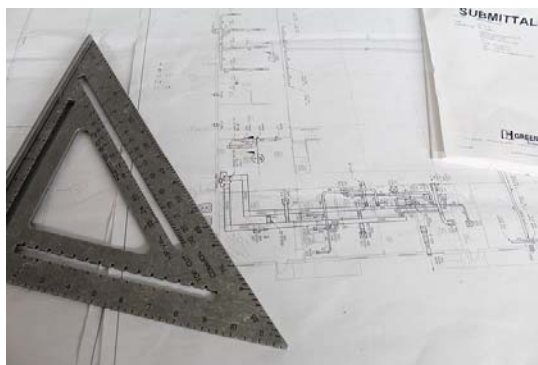
4 DISEÑO DE LOS EQUIPOS

Para diseñar un sistema de depuración de gases por oxidación térmica, es necesario conocer diversos factores que incluyen:

- Caudal del gas a tratar
- Temperatura
- Composición química del gas a depurar, principalmente, el porcentaje de oxígeno que contiene
- Composición química de los contaminantes
- Concentración de contaminantes
- Niveles permisibles de emisión para los contaminantes.

Con la ayuda de esta información se podrá determinar el volumen de la cámara de oxidación, la potencia necesaria en el quemador y la posible necesidad de realizar un tratamiento posterior de los gases generados.

El diseño de los equipos de oxidación de compuestos orgánicos en gases requiere el conocimiento de los límites de explosión o de inflamabilidad de las mezclas de contaminantes con el aire. Dichos conocimientos demostrarán si es posible que un gas residual dado pueda mantener la combustión sin tener que recurrir al enriquecimiento adicional con combustibles. Se deberá observar que una mezcla de material combustible con el aire es explosiva dentro de ciertos límites. Las concentraciones de combustible en el lado rico y pobre de la mezcla, más allá de las cuales no se propagará la llama, se conocen como los límites de explosión (o inflamabilidad) superior e inferior. Como una regla aproximada, una mezcla estequiométrica de hidrocarburos y aire tiene un calor de combustión de cerca de 3.725 kJ/m^3 . El límite inferior de explosión equivale aproximadamente a la mitad de este valor. Por razones de seguridad, cuando se transporten industrialmente gases, la concentración de los combustibles deberá estar por debajo del límite inferior de explosión. Por lo general, se recomienda que la corriente de gas tenga un valor calórico no mayor de 370 a 550 kJ/m^3 . La mayoría de los reglamentos de seguridad requieren que el gas residual transportado a la cámara de oxidación esté por debajo del 25% del límite inferior de explosión. Si el gas se encendiera, el incremento de temperatura de la corriente del gas no será entonces suficientemente alto para mantener la combustión.



5 RECUPERACIÓN DE CALOR

El proceso de oxidación térmica genera un caudal de gases que están a elevada temperatura.

Con objeto de reducir el consumo de energía exterior o de recuperar la contenida en los gases depurados, se recurre al uso de dispositivos recuperadores de calor.

Las distintas formas de recuperar el calor de los gases ya depurados son:

5.1 Precalentamiento del gas a depurar

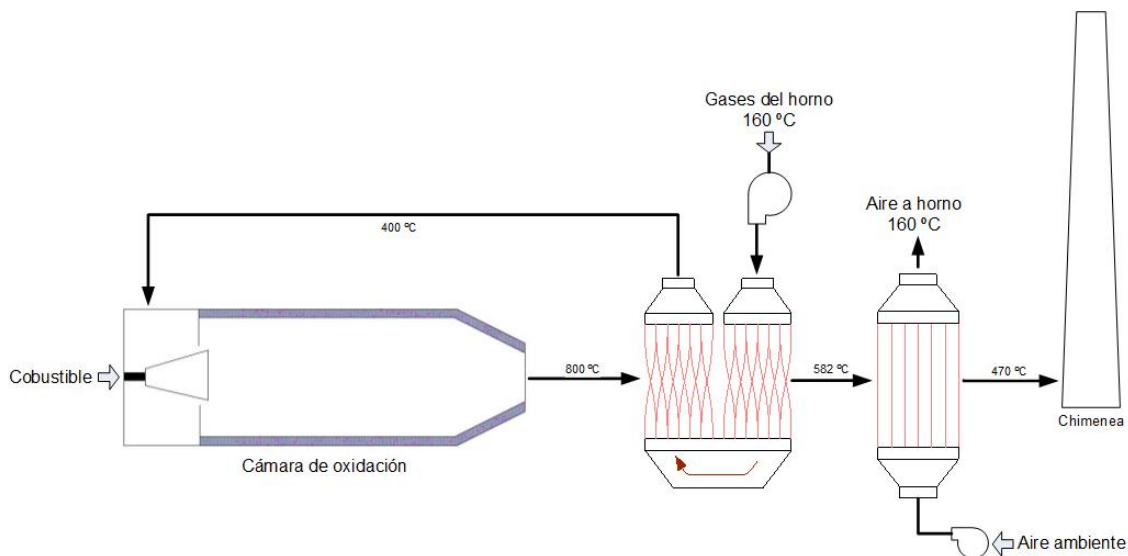
Consiste en un precalentamiento de la corriente gaseosa contaminada, posibilitando alcanzar la temperatura de reacción con un menor consumo energético. Los gases ya depurados que salen de la cámara de reacción ceden su calor a los gases contaminados antes de que entren en la cámara de reacción.

La forma de llevar a cabo este precalentamiento es mediante intercambiadores de calor gas/gas, normalmente del tipo carcasa y tubos.

El precalentamiento suele hacerse hasta temperaturas de unos 450 °C a 470 °C. Esta temperatura deberá ser siempre inferior a la de autoencendido de los compuestos orgánicos a eliminar. En cualquier caso, siempre será necesario tener en cuenta el calor desarrollado por la oxidación de los contaminantes y limitar el precalentamiento del gas contaminado de forma que no se alcancen temperaturas excesivas en la cámara de oxidación.

Es preciso, asimismo, verificar el valor del límite de explosión de la mezcla de compuestos orgánicos a la temperatura de precalentamiento, para no alcanzar valores peligrosos.

Un caso especial de precalentamiento del gas a depurar lo constituyen los llamados termorreactores. En un termorreactor se recupera el calor de los gases depurados mediante el llamado *sistema regenerativo*. Con este sistema se consiguen recuperaciones de calor de hasta el 97%, y se emplea cuando la concentración de contaminantes es muy baja (inferior a 8 g/Nm³ de COV's). Debido a las características tan particulares de este tipo de equipos, la explicación de su funcionamiento lo haremos en otro apartado.



5.2 Generación de calor para el proceso industrial

En ocasiones, la temperatura de los gases a depurar es elevada o la concentración de contaminantes es tan alta que no hacen aconsejable precalentar la corriente de gas a depurar.

En estos casos, la energía calorífica contenida en los gases que salen de la cámara de oxidación puede emplearse para generar energía aprovechable en el proceso productivo de la planta donde se ha instalado el sistema de depuración. Para recuperar el calor contenido en los gases depurados a la salida de la cámara de oxidación se disponen de las siguientes opciones:

- Calentamiento de aire de proceso que pueda emplearse, por ejemplo, en hornos de secado.
- Generación de vapor que se utiliza como vehículo de transporte de calor a diferentes puntos del proceso productivo.
- Calderas generadoras de agua caliente.
- Calentadores de fluido térmico, que se usa como medio de calentamiento.

Estos elementos contribuyen a rentabilizar la inversión económica y a valorizar los compuestos orgánicos presentes en el aire contaminado, ya que la energía desprendida en su oxidación se emplea como energía térmica en el proceso productivo, disminuyendo el consumo energético general de la planta.

6 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN

Se describen a continuación los elementos principales que componen una instalación de oxidación térmica.

6.1 Cámara de oxidación

La cámara de oxidación es el lugar donde se conducen los compuestos orgánicos volátiles y el aire usado para la oxidación.

En ese lugar se alcanzará la temperatura adecuada para que la oxidación tenga lugar de forma eficaz.

Las cámaras de oxidación suelen ser cilíndricas y, para soportar las elevadas temperaturas del proceso, se revisten interiormente con hormigón refractario o fibra cerámica. En el caso de que, por razones técnicas, no pueda colocarse un aislante interno, la cámara deberá construirse de aleaciones refractarias especiales. No obstante, las cámaras así construidas suelen dar problemas de deformaciones por la elevada temperatura que alcanza el acero, que debilita su resistencia y genera importantes tensiones por dilatación.

Las cámaras tradicionales, de hormigón refractario, son mucho más pesadas que las realizadas con fibra cerámica y, además, poseen una mayor inercia térmica. Esto cobra mayor importancia cuando la planta debe operar en régimen discontinuo, ya que se requerirá mayor tiempo para alcanzar la temperatura de trabajo. Además, el hormigón es sensible a los ciclos de calentamiento y enfriamiento, mientras que la fibra cerámica no lo es. Por tanto, siempre que sea posible, es preferible la utilización de fibra cerámica.

En ocasiones, si la cámara se aísla interiormente con hormigón refractario, puede construirse algún elemento que aumente la turbulencia de los gases y, por tanto, mejore su homogeneización y, con ello, la eficacia de la depuración. Estos elementos pueden ser anillos deflectores o tabiques.



Fotografía 3: Cámara de oxidación.

6.2 Quemador

El quemador proporciona la energía térmica necesaria para asegurar que la reacción de oxidación se desarrolla a la temperatura adecuada.

Los combustibles usados para la depuración térmica de emisiones suelen ser gasóleo, gas natural o propano.

Si los gases a depurar contienen más del 17% de oxígeno, pueden emplearse quemadores del tipo "cono" o "vena de aire", que tienen la particularidad de utilizar los gases a depurar como aire comburente. De esta forma, al no aumentar el volumen de gases con el aire de combustión del quemador, reducimos el consumo energético y el volumen de la cámara de oxidación.

Los quemadores más usados son del tipo "cono", en los que el aire contaminado pasa a través de los orificios de un difusor troncocónico, generando un vórtice y provocando una adecuada mezcla de aire, compuestos orgánicos y combustible adicional.

Esta mezcla entra en ignición al introducirse en la cámara de reacción debido a la alta temperatura del interior.

Además, el vórtice creado genera una depresión en su zona central atrayendo parte de los gases de la parte posterior de la cámara, favoreciendo así que parte de los gases calientes se mezclen con los gases de entrada.



Fotografía 4: Interior de una cámara de oxidación con un quemador de tipo cono.

6.3 Dispositivos de seguridad

Cuando la concentración de compuestos orgánicos a tratar es elevada, puede ser necesario el uso de dispositivos de seguridad antiexplosiones. Estos dispositivos consisten en:

- Filtros estáticos de llamas (“apagallamas”): Detienen la deflagración y evitan que se produzca la detonación.
- Filtros dinámicos de llamas: Hacen pasar los gases a través de un conducto a una velocidad superior a la de retroceso de llama, por lo que evitarán que la llama retroceda por el conducto de gases desde la cámara de oxidación.
- Detectores de límite inferior de explosión: Detectan si la concentración de compuestos orgánicos contenidos en los gases llega a su límite inferior de explosión y, antes de que esto ocurra, se activa una alarma que lleva al equipo a un modo de trabajo seguro.

Estos elementos no son necesarios para instalaciones que trabajen con valores inferiores al 25% del límite inferior de explosión de la mezcla de compuestos orgánicos.

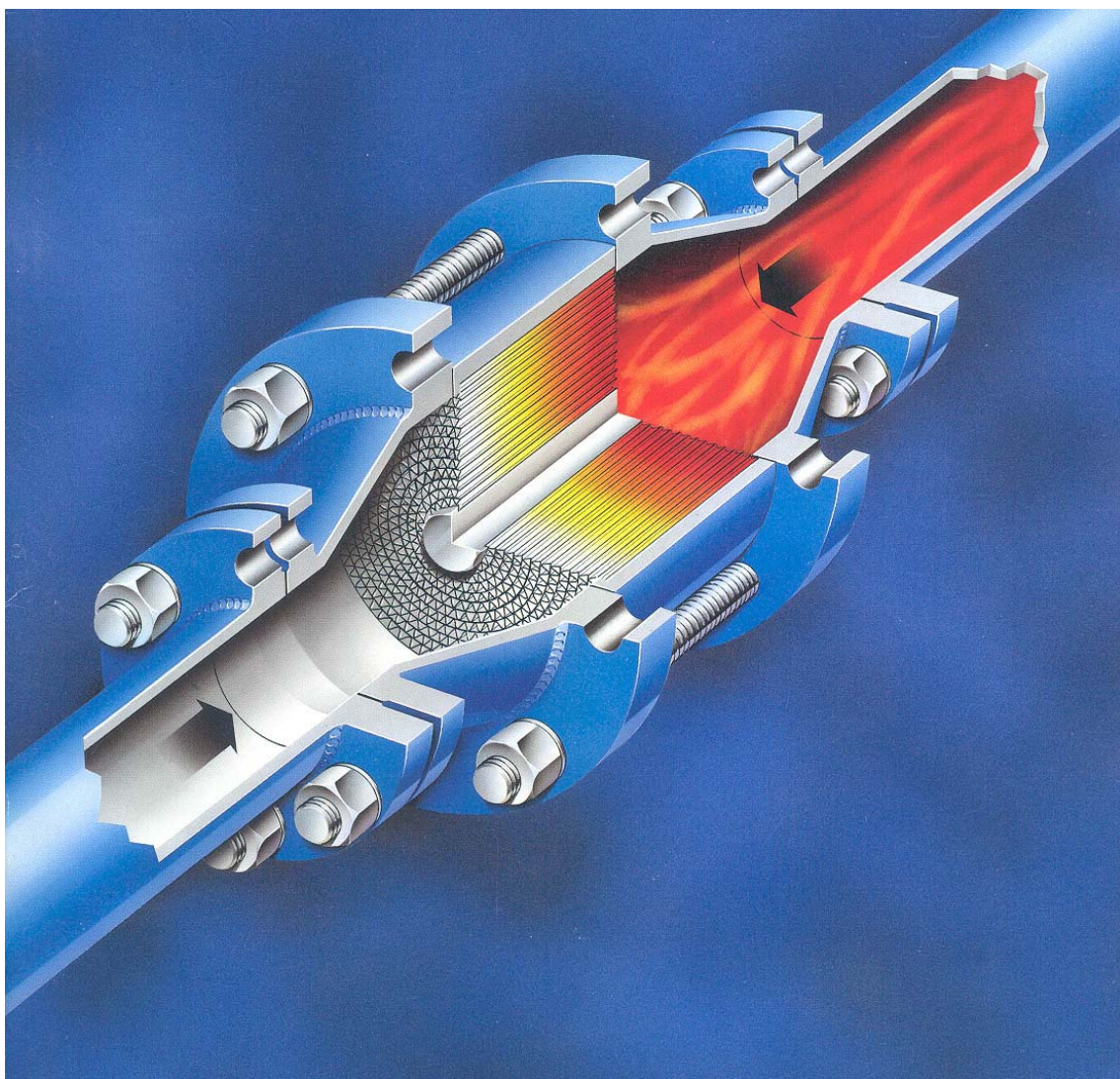


Ilustración 1: Filtro de llamas estático o apagallamas.



Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

Solicito información equipo RTO.

4 mensajes

Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>
Para: info@envirolia.com

18 de mayo de 2026 a las 9:19 a.m.

Buenos dias, soy Roberto V Maturana querellante en una causa ambiental en Mar del Plata Argentina, recomendé al Juzgado que obligue a las empresas harineras de pescado locales la colocación de equipos RTO, necesito la información para mi causa. Muchas gracias.
Atentamente. RVM

enrique@envirolia.com <enrique@envirolia.com>
Para: Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

22 de mayo de 2026 a las 5:30 a.m.

Estimado Sr. Maturana:

Muchas gracias por su correo y por pensar en nosotros para esta consulta.

Lamentablemente, Envirolia, S.L. es una empresa de estructura muy reducida y, en estos momentos, no nos es posible atender asuntos o prestar asistencia técnica en Argentina.

No obstante, le comento brevemente nuestra experiencia en este ámbito. Tenemos experiencia en la depuración de gases procedentes de instalaciones de harinas cárnicas y de pescado, aunque nuestra experiencia se centra en sistemas de oxidación térmica recuperativa, normalmente integrados con caldera de vapor para el aprovechamiento energético del calor generado.

En nuestro caso, no hemos instalado sistemas de oxidación térmica regenerativa (RTO) específicamente para esta aplicación (aunque existen), por lo que no disponemos de experiencia práctica suficiente sobre el comportamiento de este tipo de equipos con gases procedentes de harineras de pescado, que suelen presentar un elevado contenido de humedad, circunstancia que puede tener una influencia importante en el diseño, eficiencia energética y operativa del sistema.

Por ello, preferimos ser prudentes y no emitir opiniones técnicas concluyentes sobre la conveniencia de implantar un RTO en este caso concreto sin un análisis detallado de la composición de los gases, caudales, temperaturas y condiciones de operación de las plantas afectadas.

En cualquier caso, le adjunto información técnica general sobre sistemas RTO y sobre equipos de oxidación térmica recuperativa, por si pudiera resultarle de utilidad en el contexto de su causa.

Lamento no poder ayudarle más en esta ocasión.

Reciba un cordial saludo,

Enrique Castells

ENVIROLIA, S.L.

Pol. Empresarium; c/ Salvia, nº 1, nave B35

50720 La Cartuja Baja (Zaragoza)

Tfno.: 876 772 001

Móvil: 647 735 273

E-mail: enrique@envirolia.com

<https://envirolia.com>

De: Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

Enviado el: lunes, 18 de mayo de 2026 14:19

Para: info@envirolia.com

Asunto: Solicito información equipo RTO.

Buenos días, soy Roberto V Maturana querellante en una causa ambiental en Mar del Plata Argentina, recomendé al Juzgado que obligue a las empresas harineras de pescado locales la colocación de equipos RTO, necesito la información para mi causa. Muchas gracias.

Atentamente. RVM

2 archivos adjuntos



Termorreactores_p.pdf

2485K



Oxidación térmica.pdf

1056K

Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

25 de mayo de 2026 a las 7:53 a.m.

Para: enrique@envirolia.com

Estimado Enrique. Muchísimas gracias por su respuesta, demore la mia por temas médicos. Su información ha sido muy clara y precisa.

Le envío un fuerte abrazo desde Mar del Plata-Argentina.

El vie, 22 may 2026 a la(s) 5:30 a.m., <enrique@envirolia.com> escribió:

Estimado Sr. Maturana:

Muchas gracias por su correo y por pensar en nosotros para esta consulta.

Lamentablemente, Envirolia, S.L. es una empresa de estructura muy reducida y, en estos momentos, no nos es posible atender asuntos o prestar asistencia técnica en Argentina.

No obstante, le comento brevemente nuestra experiencia en este ámbito. Tenemos experiencia en la depuración de gases procedentes de instalaciones de harinas cárnicas y de pescado, aunque nuestra experiencia se centra en sistemas de oxidación térmica recuperativa, normalmente integrados con caldera de vapor para el aprovechamiento energético del calor generado.

En nuestro caso, no hemos instalado sistemas de oxidación térmica regenerativa (RTO) específicamente para esta aplicación (aunque existen), por lo que no disponemos de experiencia práctica suficiente sobre el comportamiento de este tipo de equipos con gases procedentes de harineras de pescado, que suelen presentar un elevado contenido de humedad, circunstancia que puede tener una influencia importante en el diseño, eficiencia energética y operativa del sistema.

Por ello, preferimos ser prudentes y no emitir opiniones técnicas concluyentes sobre la conveniencia de implantar un RTO en este caso concreto sin un análisis detallado de la composición de los gases, caudales, temperaturas y condiciones de operación de las plantas afectadas.

En cualquier caso, le adjunto información técnica general sobre sistemas RTO y sobre equipos de oxidación térmica recuperativa, por si pudiera resultarle de utilidad en el contexto de su causa.

Lamento no poder ayudarle más en esta ocasión.

Reciba un cordial saludo,

Enrique Castells

ENVIROLIA, S.L.

Pol. Empresarium; c/ Salvia, nº 1, nave B35

50720 La Cartuja Baja (Zaragoza)

Tfno.: 876 772 001

Móvil: 647 735 273

E-mail: enrique@envirolia.com

<https://envirolia.com>

De: Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

Enviado el: lunes, 18 de mayo de 2026 14:19

Para: info@envirolia.com

Asunto: Solicito información equipo RTO.

Buenos días, soy Roberto V Maturana querellante en una causa ambiental en Mar del Plata Argentina, recomendé al Juzgado que obligue a las empresas harineras de pescado locales la colocación de equipos RTO, necesito la información para mi causa. Muchas gracias.

Atentamente. RVM

Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

Para: Maria Carpineto <mariacarpineto@gmail.com>

25 de mayo de 2026 a las 8:17 a.m.

----- Forwarded message -----

De: **Roberto victor Maturana** <robertovmaturana@gmail.com>

Date: lun, 25 may 2026 a la(s) 7:53 a.m.

Subject: Re: Solicito información equipo RTO.

To: <enrique@envirolia.com>

Estimado Enrique. Muchísimas gracias por su respuesta, demore la mia por temas médicos. Su información ha sido muy clara y precisa.

Le envío un fuerte abrazo desde Mar del Plata-Argentina.

El vie, 22 may 2026 a la(s) 5:30 a.m., <enrique@envirolia.com> escribió:

Estimado Sr. Maturana:

Muchas gracias por su correo y por pensar en nosotros para esta consulta.

Lamentablemente, Envirolia, S.L. es una empresa de estructura muy reducida y, en estos momentos, no nos es posible atender asuntos o prestar asistencia técnica en Argentina.

No obstante, le comento brevemente nuestra experiencia en este ámbito. Tenemos experiencia en la depuración de gases procedentes de instalaciones de harinas cárnicas y de pescado, aunque nuestra experiencia se centra en sistemas de oxidación térmica recuperativa, normalmente integrados con caldera de vapor para el aprovechamiento energético del calor generado.

En nuestro caso, no hemos instalado sistemas de oxidación térmica regenerativa (RTO) específicamente para esta aplicación (aunque existen), por lo que no disponemos de experiencia práctica suficiente sobre el comportamiento de este tipo de equipos con gases procedentes de harineras de pescado, que suelen presentar un elevado contenido de humedad, circunstancia que puede tener una influencia importante en el diseño, eficiencia energética y operativa del sistema.

Por ello, preferimos ser prudentes y no emitir opiniones técnicas concluyentes sobre la conveniencia de implantar un RTO en este caso concreto sin un análisis detallado de la composición de los gases, caudales, temperaturas y condiciones de operación de las plantas afectadas.

En cualquier caso, le adjunto información técnica general sobre sistemas RTO y sobre equipos de oxidación térmica recuperativa, por si pudiera resultarle de utilidad en el contexto de su causa.

Lamento no poder ayudarle más en esta ocasión.

Reciba un cordial saludo,

Enrique Castells

ENVIROLIA, S.L.

Pol. Empresarium; c/ Salvia, nº 1, nave B35

50720 La Cartuja Baja (Zaragoza)

Tfno.: 876 772 001

Móvil: 647 735 273

E-mail: enrique@envirolia.com

<https://envirolia.com>

De: Roberto victor Maturana <robertovmaturana@gmail.com>

Enviado el: lunes, 18 de mayo de 2026 14:19

Para: info@envirolia.com

Asunto: Solicito información equipo RTO.

Buenos días, soy Roberto V Maturana querellante en una causa ambiental en Mar del Plata Argentina, recomendé al Juzgado que obligue a las empresas harineras de pescado locales la colocación de equipos RTO, necesito la información para mi causa. Muchas gracias.

Atentamente. RVM