



Sr. Richard (Rick) Cooke

Consultor Internacional del PNUD

SERIE DE SEMINARIOS WEB CERRANDO EL CICLO: GESTIÓN AMBIENTALMENTE RACIONAL DE LAS SAO Y LOS HFC AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL

Tecnología de destrucción de SAO al FVU y estrategias de acción

Rick Cooke
Grupo medioambiental Man-
West



El ambiente
es de todos

Minambiente



UNIDAD TÉCNICA OZONO
Colombia



Este seminario virtual es organizado en el marco de un proyecto financiado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA)

Introducción

- **Presentación en dos partes:**
 - ❑ **Tecnologías para la destrucción de SAO al FVU**
 - ❑ **Estrategias/enfoques de acción para su aplicación**
- **Supuestos/principios relevantes**
 - ❑ **El enfoque principal es sobre SAO/HFC concentrados**
 - ❑ **La prioridad es abordar el problema desde la fuente**
 - ❑ **En la práctica, la destrucción no está delimitada por la tecnología, ni para los químicos concentrados ni para los residuos sólidos contaminados diluidos.**
 - ❑ **El reto es el vínculo organizativo/logístico y económico entre la fuente y la destrucción.**

Parte 1: Tecnologías para la destrucción

- Las SAO y los HFC de interés son químicos halogenados que, como una clase general de residuos, son objeto de destrucción o transformación irreversible a nivel mundial de forma rutinaria.
- Existe una serie de tecnologías e instalaciones comerciales que las utilizan en todo el mundo, principalmente en los países desarrollados, pero cada vez más en los países en desarrollo.
- Independientemente del proceso tecnológico o de su aplicación en una instalación específica, los factores clave para calificar/seleccionar lo que se va a utilizar son:
 - ❑ Desempeño técnico/ambiental
 - ❑ Asequibilidad de la destrucción (costo/kg)
 - ❑ Accesibilidad

El PM y la destrucción de SAO/HFC al FVU

- **Definición de destrucción del PM: "Transformación o descomposición permanente de toda o una parte importante de la sustancia controlada".**
- **GETE proporciona orientación tecnológica genérica sobre:**
 - ❑ **Tecnologías aprobadas para los informes de producción**
 - ❑ **Criterios mínimos de desempeño técnico y ambiental recomendados**
 - ❑ **Código de Buena Conducta**
- **En general, se siguen los requisitos de destrucción aplicables a residuos peligrosos halogenados, pero generalmente son menos estrictos y más flexibles.**

Tecnologías de Destrucción

Guía del Protocolo de Montreal/GETE

- Se adopta la destrucción "Aprobada" sólo para efectos del informe de producción obligatorio
- La pueden utilizar los países y otros como orientación en la selección de métodos/requisitos para la destrucción, pero no es obligatoria, ni necesariamente exclusiva, y no reemplaza los requisitos nacionales más estrictos.
- Las tecnologías listadas en el Protocolo de MOntreal NO significan que alguna instalación u operación específica sea adecuada en términos de eficiencia de destrucción o desempeño ambiental - debe proporcionar alguna demostración directa

Decisión XXX-6 Procesos de Destrucción Aprobados -1

Tecnología	Concentrados				Diluidos	
	Anexo A	Anexo C	Anexo F			
	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 2	SAO	HFCs
	CFC primarios	HCFCS	HFCs	HFC-23		
DRE*	99.99%	99.99%	99.99%	99.99%	95%	95%
Hornos de cemento	Aprobado	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado		
Oxidación de gases/vapores	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Incineración por Inyección de líquidos	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Incineración de residuos sólidos municipales					Aprobado	Aprobado
Reactor térmico poroso	Aprobado	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado		
Reactor de Cracking	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Incineración en horno rotatorio	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
Arco de plasma de argón	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		

Decisión XXX-6 Procesos de Destrucción Aprobados - 2

Tecnología	Concentrados				Diluidos	
	Anexo A	Anexo C	Anexo F			
	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 1	Grupo 2	SAO	HFCs
	CFC primarios	HCFCs	HFCs	HFC-23		
DRE*	99.99%	99.99%	99.99%	99.99%	95%	95%
Plasma de radiofrecuencia acoplado inductivamente	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado	No se ha determinado		
Plasma de microondas	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado	No se ha determinado		
Arco de plasma de nitrógeno	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Arco de plasma portátil	Aprobado	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado		
Reacción química con H ₂ y CO ₂	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Deshalogenación catalítica en fase gaseosa	Aprobado	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado		
Reactor de vapor sobrecalentado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado		
Reacción térmica con metano	Aprobado	Aprobado	No se ha determinado	No se ha determinado		

Estándares de desempeño técnico/ambiental para la destrucción

Parámetro de desempeño	PM/GETE	Convenio de Basilea G/L (COP)	CE 2010/75/UE
Partículas (mg/Nm ³)	50	NR	10
HCl (mg/Nm ³)	100	NR	10
HF (mg/Nm ³)	5	NR	1
HBr/Br ₂ (mg/Nm ³)	5	NR	
CO (mg/Nm ³)	100	NR	
Dioxina/furano (ng-ITEQ/Nm ³)	0,2 (Conc.) 0,5 (diluido)	0.1	0.1
DE (%)	n/a	99.999	n/a
DRE (%)	99,99 (Conc.) 95.0 (Diluido)	99.9999	n/a

Incineración Comercial a Alta Temperatura (HTI)

- **Alta DE/DRE >99,99 DE/99,9999 DRE**
- **Proveedores de servicios precalificados fácilmente disponibles en los países desarrollados - Precaución: Variación del desempeño entre las instalaciones.**
- **Generalmente bien controlados/regulados en los países desarrollados - seguimiento y validación**
- **Capacidad variable - Tolerancia Cl/F - 1-4 t/h.**
- **Rango de costo unitario: USD\$1,5 - 15,0 / kg, dependiendo de los volúmenes**
- **Tecnología predominante hasta la fecha**
- **Problemas de aceptación pública/oposición de ONG Ambientales**

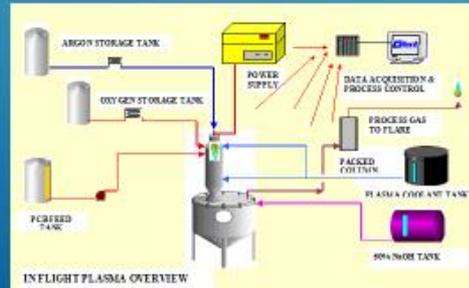
Incineración Comercial a Alta Temperatura (HTI)



Arco de Plasma a Escala Comercial

- Diseñado especialmente para la destrucción de residuos peligrosos, incluyendo SAO/HFC al FVU - Varios proveedores, el principal es PLASCON
- Modular/transportable (contenedor individual)
- Instalaciones comerciales en Australia, México, Japón y Estados Unidos
- Alta DE/DRE >>99,99/99,9999 y bajas emisiones
- Las capacidades oscilan entre -20-40 kg/hr. (125-250 t/año) para SAO/HFC
- Costos de capital - 2,5-3,0 millones de dólares sin infraestructura
- Los costos unitarios se sitúan entre 5 y 20 dólares/kg, dependiendo de la producción global de la planta/del mercado - 9 dólares/kg en México
- Costo de funcionamiento/consumo de energía relativamente alto
- Normalmente necesita otro mercado de residuos estable para ser viable

Arco de Plasma a Escala Comercial



Hornos de Cemento

- **Alta DE/DRE en teoría pero difícil de verificar**
- **Se dispone de pocos datos sistemáticos de calificación directa**
- **El interés de los operadores es limitado debido a los pequeños volúmenes/ingresos y a problemas con la calidad del producto**
- **La opción puede limitarse a las instalaciones de proceso relativamente nuevas/actuales que cumplan las normas de calidad del aire de las BAT/BAP**
- **Los costos unitarios de una instalación establecida/calificada deberían ser similares a los de HTI, pero a menudo son más altos: 7 dólares/kg cotizados en México para el CFC-12**
- **Potencialmente una buena opción en ausencia de acceso a HTI y posible para espumas (bajo costo efectivo en términos de GEB)**

Hornos de Cemento



Arco de Plasma Portátil a Pequeña Escala

- Unidad transportable de tamaño pequeño
- Hay informes de instalaciones en Japón y China, así como en Argentina y Ecuador (ninguna de ellas operativa)
- DE/DRE >99,99 y se informa cumplimiento con las emisiones
- Las capacidades oscilan entre 1-2 kg/hr. (3,6-7,2 t/año)
- Costos de capital: aproximadamente 150.000 dólares, sin los costos de infraestructura, que son elevados (electricidad, almohadilla, etc.).
- Elevados costos de operación (30-50.000 dólares al año) en concepto de mano de obra, servicios públicos, servicio/mantenimiento y consumibles importados
- Los costos unitarios se estiman en más de 25 dólares/kg. dependiendo del refrigerante y del desempeño
- Viabilidad potencial en mercados pequeños pero estables con un mecanismo de financiación sostenible.

Arco de Plasma Portátil a Pequeña Escala



Capacidad de Destrucción Global -1

- **Estados Unidos (según informe de la encuesta de la USEPA de 2021)**
 - ❑ 29 instalaciones comerciales, 13 de las cuales incluyen refrigerantes/agentes espumantes con SAO como mercado
 - ❑ Aproximadamente 40 instalaciones no comerciales dan soporte a residuos químicos/ subproductos generados internamente.
 - ❑ Las tecnologías usaban principalmente varias formas de incineración como parte de un mercado general de residuos peligrosos.
 - ❑ Una instalación dedicada a la destrucción de SAO (Arco de Plasma), una planta integrada de desensamble de refrigeración que incluye la destrucción (proceso de destrucción catalítica)
 - ❑ La generación comercial actual representa <0,1% del mercado comercial de residuos peligrosos de EE.UU.

Capacidad de Destrucción Global - 2

- **Países NA5 (Según el informe de la encuesta de la USEPA de 2021)**
 - ❑ 139 instalaciones comerciales potencialmente disponibles generaron residuos/subproductos químicos.
 - ❑ 54 se encuentran en la UE y 80 en Japón
 - ❑ Las tecnologías usaban principalmente varias formas de incineración, pero se extienden a una gama más amplia listada por el GETE.
- **Países A5**
 - ❑ 27 instalaciones potenciales concentradas en países industrializados (es decir, China, Brasil, Colombia, México y Turquía).
 - ❑ Rango de tecnologías de incineración (hornos rotatorios/hornos de cemento), pero también se incluye el arco de plasma
 - ❑ Datos limitados sobre la calificación del desempeño específico de las instalaciones
- **Existe una capacidad de destrucción global adecuada**

Factores de Costo de la Destrucción

- Los costos de destrucción (incluido el transporte desde la fuente) pueden oscilar entre 2 USD/kg y 15 USD/kg de producto químico.
- Factores que determinan los costos de destrucción:
 - ❑ Cantidad de lotes enviados para su destrucción
 - ❑ Contención utilizada
 - ❑ Distancia entre la fuente y la instalación de destrucción
 - ❑ Costos de transacción relacionados con el transporte
 - ❑ Tecnología utilizada e infraestructura de alimentación necesaria
 - ❑ Tamaño/eficiencia de la instalación de destrucción
 - ❑ Requisitos para la certificación de la destrucción
 - ❑ Madurez del mercado/previsibilidad del negocio
- Podría evolucionar de forma que se aplique generalmente 2-3 USD/kg.

Desarrollo de la Tecnología de Destrucción del Futuro

- **Potencial de pasar de la destrucción a las tecnologías orientadas a la economía circular en el futuro.**
- **Paralelismos con las tendencias en la gestión de residuos de polímeros**
- **GETE (2018) las identifica como Tecnologías de Conversión que generalmente descomponen el halocarburo en elementos de materia prima directamente útiles - aprobadas para SAO/Alto potencial para HFC**
 - Reacción química con H₂ y CO₂**
 - Deshalogenación catalítica en fase gaseosa**
 - Reactor de vapor sobrecalentado**
 - Reacción térmica con el metano**
- **Investigación y Desarrollo activa en todo el mundo sobre otros procesos de conversión - HFC**
- **Desarrollos comerciales similares aplicados a espumas PU y PS**

Estrategias de Destrucción Nacionales y Globales

- En este momento, no hay un mercado significativo para la destrucción en general en los países desarrollados o en vía de desarrollo - Excepciones Japón y partes de la UE
- Requisitos del mercado
 - ❑ política de apoyo compromiso político/normativo
 - ❑ Implementación de mecanismos de financiación disponibles
 - ❑ Concientización sobre el tema entre el público y las partes interesadas.
- El punto de partida para tomar acción está en los países desarrollados en general -Representan la mayoría de los Bancos de SAO/HFC históricos y actuales/próximos

Estrategia de Acción - Países Desarrollados

- **Impulsado por los nuevos compromisos políticos/reglamentarios nacionales orientados al cambio climático**
- **Ampliar la implementación de los mecanismos de financiación disponibles**
- **Los actuales proveedores de servicios de refrigeración y gestión de residuos químicos comerciales tienen la capacidad para responder a la evolución del mercado.**
- **Los costos de destrucción se estabilizarán a medida que se alcancen la economías de escala y aumente la competencia.**
- **Ya existen experiencias replicables en Japón y cada vez más en la UE.**

Estrategia de Acción - Países en Desarrollo Industrializados

- **Compromisos políticos/normativos en materia de clima**
- **Aplicar los enfoques adoptados en los países desarrollados, reproduciendo y adaptando las buenas prácticas según corresponda.**
- **Los bancos de SAO/HFC al FVU en crecimiento se concentran en unos pocos países A5 más avanzados.**
- **La misma lista de condiciones de requisitos aplica/puede aplicarse con apoyo internacional limitado.**
- **La capacidad técnica y comercial básica ya está en marcha y se su puede ampliar gradualmente según el mercado.**
- **Expectativa de la tecnología futura e innovación operativa en estos países.**

Estrategia de acción - Países más pequeños/menos desarrollados

- Dependerá del progreso de los compromisos en política orientada al clima y las políticas/regulaciones
- El centro de atención es la ampliación/formalización del sector de servicios de refrigeración/capacidades básicas de residuos peligrosos.
- Acumulación de cantidades para lograr economías de escala - por país y asociaciones multi-país
- Facilitar el acceso a la capacidad mundial de destrucción calificada
- Distribución equitativa de los ingresos del carbono a largo plazo
- *Se requiere apoyo sustancial internacional!*

Estrategia de Acción - Instituciones/Actores Internacionales

- Se requiere una acción internacional coordinada con carácter prioritario si se quiere abordar el problema de las SAO/HFC al FVU.
- Principales actores:
 - ❑ Convenciones sobre el clima y la capa de ozono, (incluidos los órganos subsidiarios, los instrumentos de financiación y las agencias implementadoras, etc.)
 - ❑ IFIs/Agencias de desarrollo nacionales y regionales
 - ❑ Asociaciones y alianzas empresariales internacionales de partes interesadas del sector privado.
- Promover y acordar la necesidad de acción.
- Facilitar la cooperación entre los países desarrollados o industriales en desarrollo.
- Ayuda internacional directa a los países más pequeños/menos desarrollados

Resumen Final

- La destrucción de las SAO/HFC al FVU no está limitada tecnológicamente
- Existe capacidad de destrucción global mediante gestión ambientalmente racional tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo industrializados
- Los principales obstáculos son:
 - ❑ Disponibilidad de SAO/HFC al FVU (mercado) a la escala requerida
 - ❑ Capacidad/disposición a pagar por la destrucción
- Innovación tecnológica futura coherente con los conceptos de economía circular y la reducción de escala para su aplicación más cerca de la fuente
- Bastante gestión ambientalmente racional de la mayoría de las SAO/HFC al FVU dentro de la capacidad de los países desarrollados y de los países industrializados en vías de desarrollo, si así lo desean.
- Se necesita apoyo internacional para otros países en desarrollo.



El ambiente
es de todos

Minambiente



Este seminario virtual es organizado en el marco de un proyecto financiado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA)



Gracias por su atención

Rick Cooke
Consultor Internacional del PNUD
rickcooke1@compuserve.com
Grupo Ambiental Man-West Ltd.