



Eliminación y Disposición Final de PCB Parte II: Tecnologías establecidas



Desde el descubrimiento de la toxicidad de los PCB, se han desarrollado múltiples tecnologías que eliminan los PCB con una eficiencia cercana al 99,9999%.

- Los procedimientos son térmicos y no térmicos
- Las tecnologías para PCB pueden ser destructivas o no destructivas
 - Y también establecido o emergente



En esta presentación intentaremos proporcionar descripciones de las tecnologías más utilizadas, pero también incluir tecnologías emergentes.

Desde el descubrimiento de la toxicidad de los PCB, se han desarrollado múltiples tecnologías que eliminan los PCB con una eficiencia cercana al 99,9999%.

- Los procedimientos son térmicos y no térmicos
- Las tecnologías para PCB pueden ser destructivas o no destructivas
 - Y también establecido o emergente



En esta presentación intentaremos proporcionar descripciones de las tecnologías más utilizadas, pero también incluir tecnologías emergentes.

Tipos de tecnologías

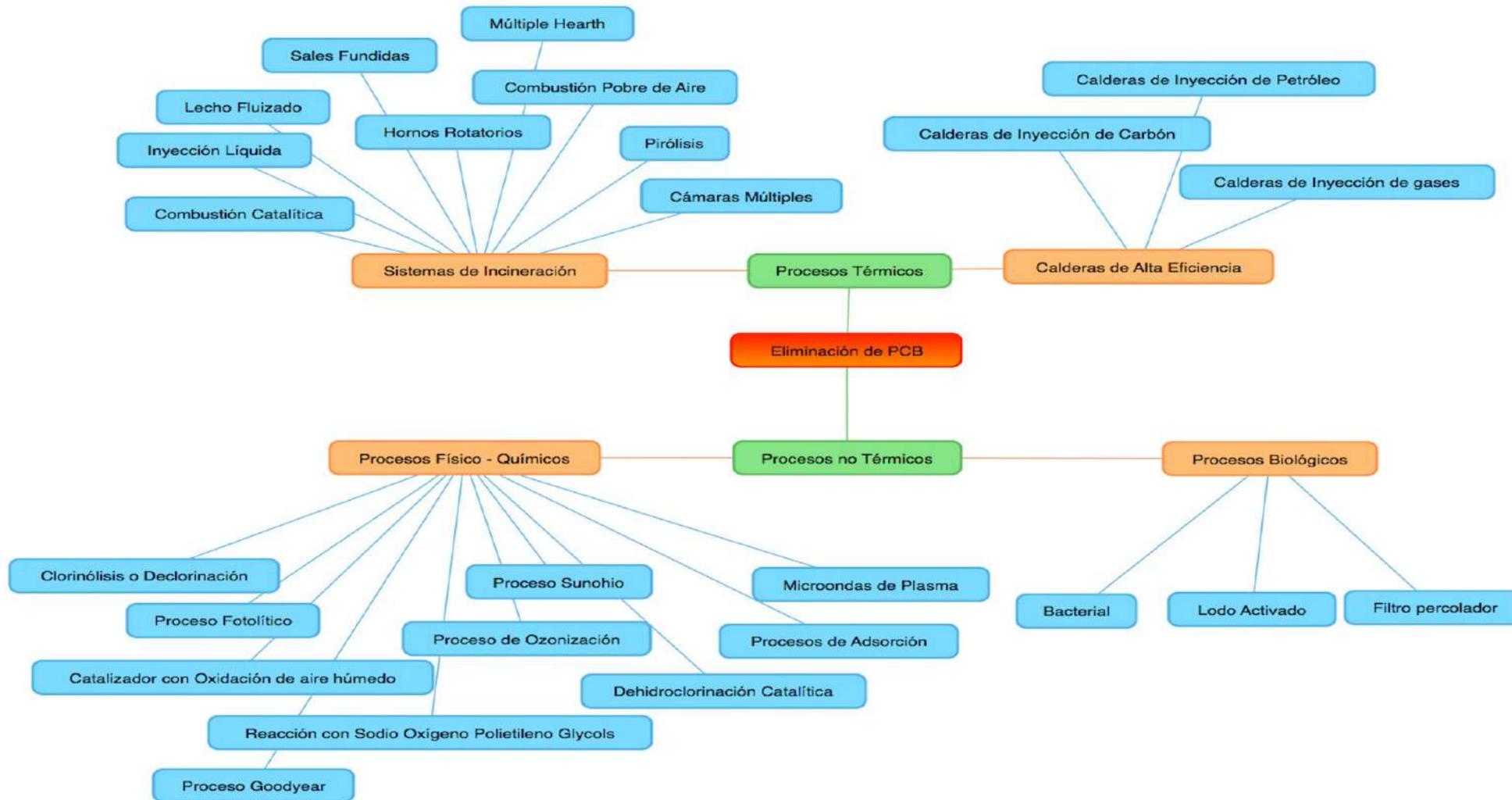
Establecidas:

- Incineración (HTI)
- Arco de plasma
- Declorinación
- Autoclave
- Vitrificación in-situ
- Proceso ecológico
- PCB Gone

Emergente:

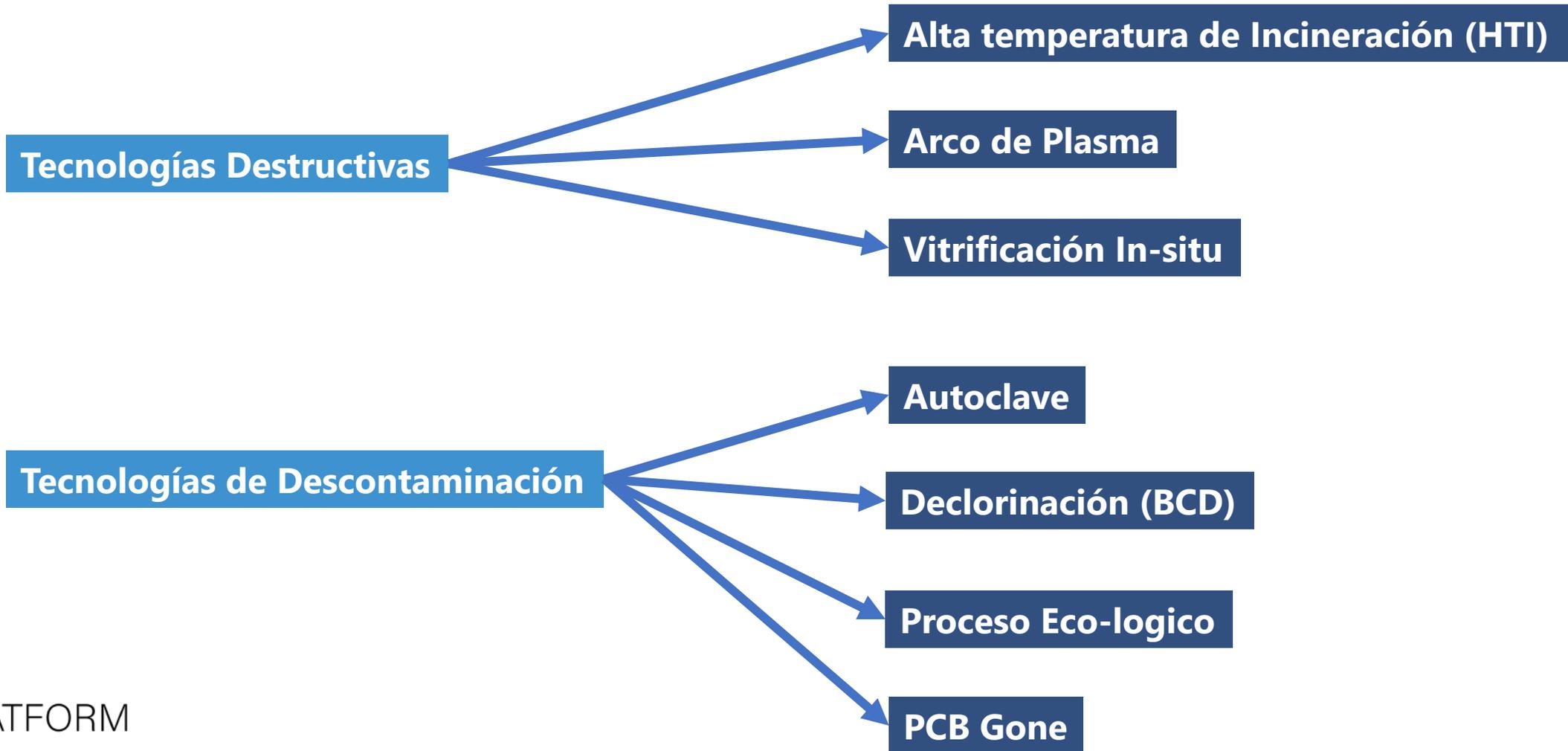
- Biorremediación
- Solidificación y estabilización
- Oxidación química
- Oxidación electroquímica
- ...

Resumen de tecnologías



D.G. Ackerman, L.L. Scinto, P.S. Bakshi, R.G. Delumyea, R.J. Johnson, G. Richard, A.M. Takata, and E.M. Sworzyn, "Destruction and disposal of PCBs by thermal and non-thermal methods", Noyes Data Corporation – 1983.

Esta presentación cubrirá la descripción general de las siguientes tecnologías:



Alta temperatura de Incineración (HTI)

La incineración de desechos peligrosos utiliza la combustión controlada de llama para destruir PCB.

- Requieren un buen control del tiempo, la temperatura y la turbulencia (3Ts).
- Más 850 °C durante 2-3 segundos a la destrucción de PCB.
- Gran capacidad.
- Ubicados en países desarrollados.
- Destrucción total (99,9999%)
- Alto DRE
- Costo medio

REF: Hay una larga experiencia con incineración de residuos peligrosos. (UNEP, 2001, UNEP Draft 2004).



Procesos destructivos – Incineración de alta temperatura (HTI)

PLUOS.

TABLE 1. OPERATIONAL DATA FROM PCB TESTS AT ROLLINS ENVIRONMENTAL SERVICES (12)

	Test		
	1, Fuel Oil	2, Fluff	3, Whole Capacitors
O ₂ , %	10.1	9.8	10.1
CO ₂ , %	9.1	8.8	5.0
CO, ppm			
Fuel Oil Feed, l/hr	2088	2411	2300
PCB Waste Feed, kg/hr*	--	61	104
Kiln Flame, °C	1306	1252	1338
Liquid Burner Flame, °C	1485	1499	1509
Afterburner, °C	1308	1331	1332
Hot Zone, °C	1091	1089	1096
Residence Time, sec.	--	3.2	3.0
Scrubber Water, l/min	3200	3200	3200
Lime Slurry Feed, l/min [†]	6.4	6.4	8.4

* Fluff was 29% PCBs, fluff feed rate was 210 kg/hr, fluff plus fiber drum feed rate was 330 kg/hr. Whole capacitor feed rate was 360 kg/hr.
† Approximately 30% by weight of lime.

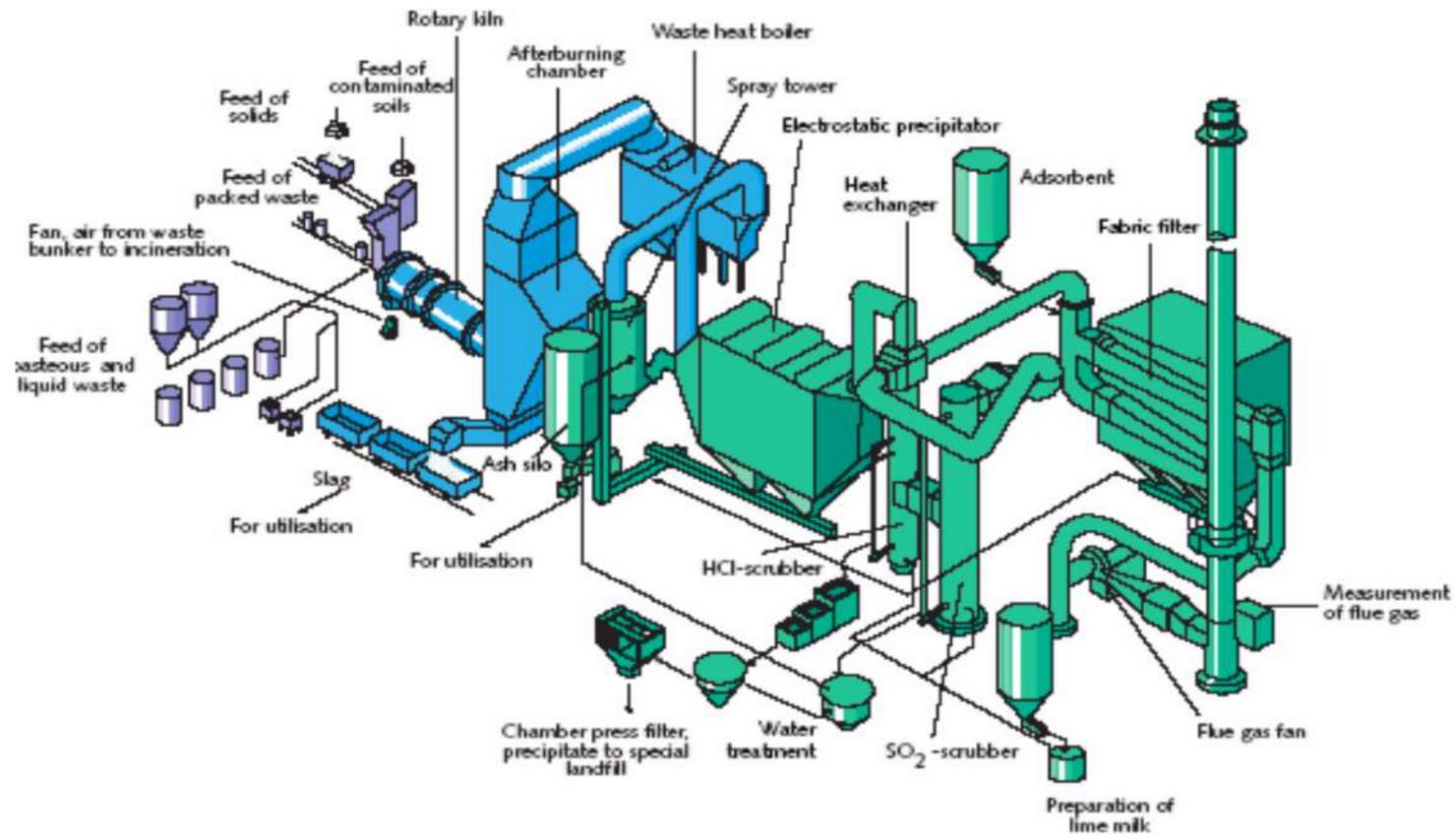
Ventajas

- Total destrucción
- Larga experiencia
- Buen control de los gases de combustión

Desventajas

- Formación de Dioxinas y Furanos
- Transporte transfronterizo costoso

Procesos destructivos – Incineración de alta temperatura (HTI)



Arco de Plasma

La tecnología utiliza un dispositivo de arco de plasma para destruir PCB.

- Altas temperaturas de hasta 10.000 °C para su destrucción.
- Es un proceso de pirólisis.
- El arco de plasma se forma por descarga eléctrica a través de un gas, la energía eléctrica se convierte en energía térmica y es absorbida por las moléculas de gas que se activan en estados ionizados.
- Adecuado para líquidos
- Huella ecológica pequeña.

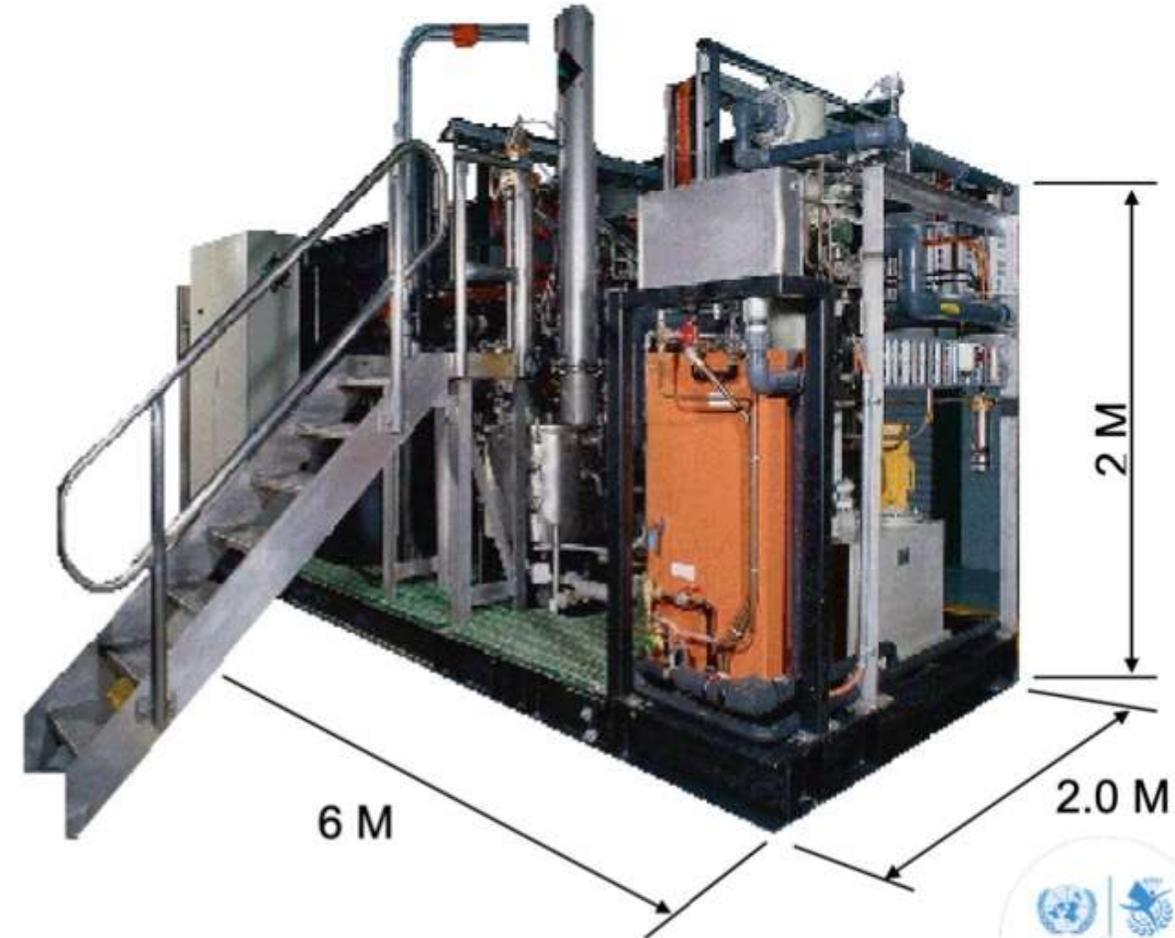
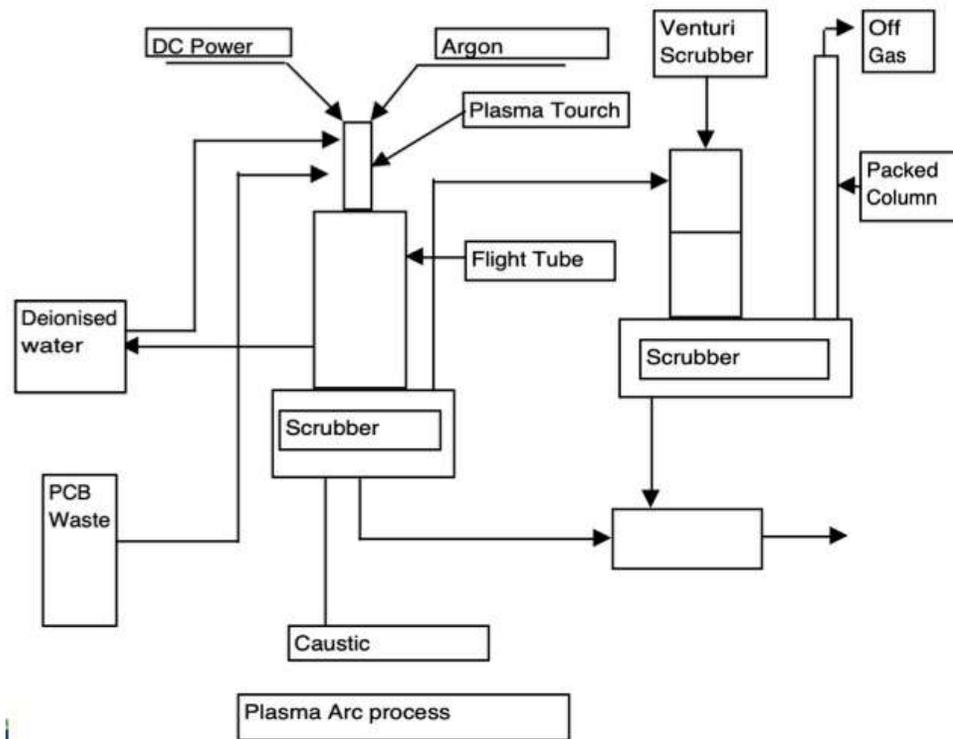


Diagram of Plasma Arc system



Ventajas

- Huella ecológica pequeña
- Sistemas de tratamiento de gases simples y de bajas emisiones.
- Portátil y fácil instalación en el país de origen del PCB.

Desventajas

- Generalmente restringido a líquidos (debe combinarse con autoclave o lavado con disolvente).
- Caro en comparación con la incineración

Vitrificación In-situ (ISV)

ISV es una tecnología móvil disponible comercialmente utilizada para la remediación de sitios contaminados y el tratamiento de desechos.

ISV implica la fusión eléctrica de materiales de tierra a alta temperatura destruyendo contaminantes orgánicos e inmovilizando permanentemente contaminantes inorgánicos no volátiles en un producto vitrificado vítreo, similar a una roca.

- Se puede lograr una eficiencia de destrucción = 99.9999%.
- Normalmente opera en el rango de 1,600 a 2,000 grados °C para la mayoría de los materiales de tierra.
- La electricidad fluye a través de la ruta de arranque, la ruta se calienta y hace que los medios circundantes se derritan.



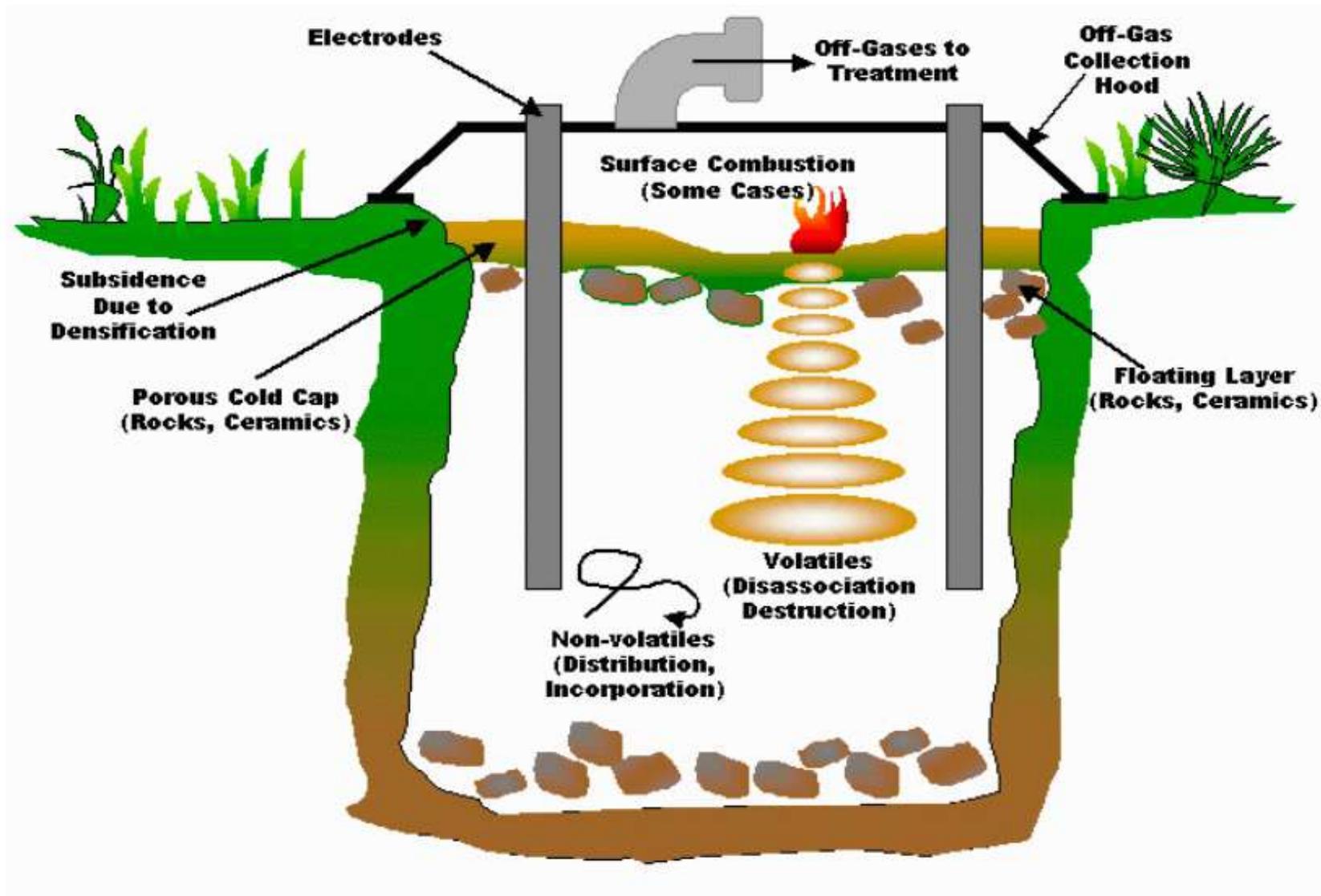
Ventajas

- Aplicable a todos los tipos de suelo
- Puede alcanzar tasas de tratamiento de hasta 150 toneladas por día.
- Altas concentraciones de contaminantes, 10-20% de humedad
- Es móvil.
- DRE >99,9%.
- Proceso in situ (no requiere excavación y manipulación).

Desventajas

- El sistema de tratamiento de gases residuales requieren de respaldo de un moto-generador.
- También se requiere una fuente de agua potable para apoyar las operaciones del proceso.
- Los sitios deben caracterizarse para garantizar que no haya contenedores sellados de alta integridad.
- Relativamente caro para proyectos pequeños.
- ISV requiere tanto suelo como medio de tratamiento (fundido).

Procesos destructivos – Vitrificación In-situ (ISV)



Autoclave

El autoclave es una tecnología que existe desde hace muchos años y está bien probada.

- El autoclave es un proceso de descontaminación con disolventes que extrae PCB de material contaminado.
- El material o equipo se esteriliza en autoclave y, después de la descontaminación los diversos metales como el cobre, el acero y el aluminio se se reciclan.
- Trabaja en combinación con la incineración (madera, papel, siempre aceite).
- DRE 99.999%
- Transformadores y condensadores descontaminados
- Necesita grandes cantidades justificar su instalación en el país de origen de PCB
- Experiencia de los operadores
- Planta móvil



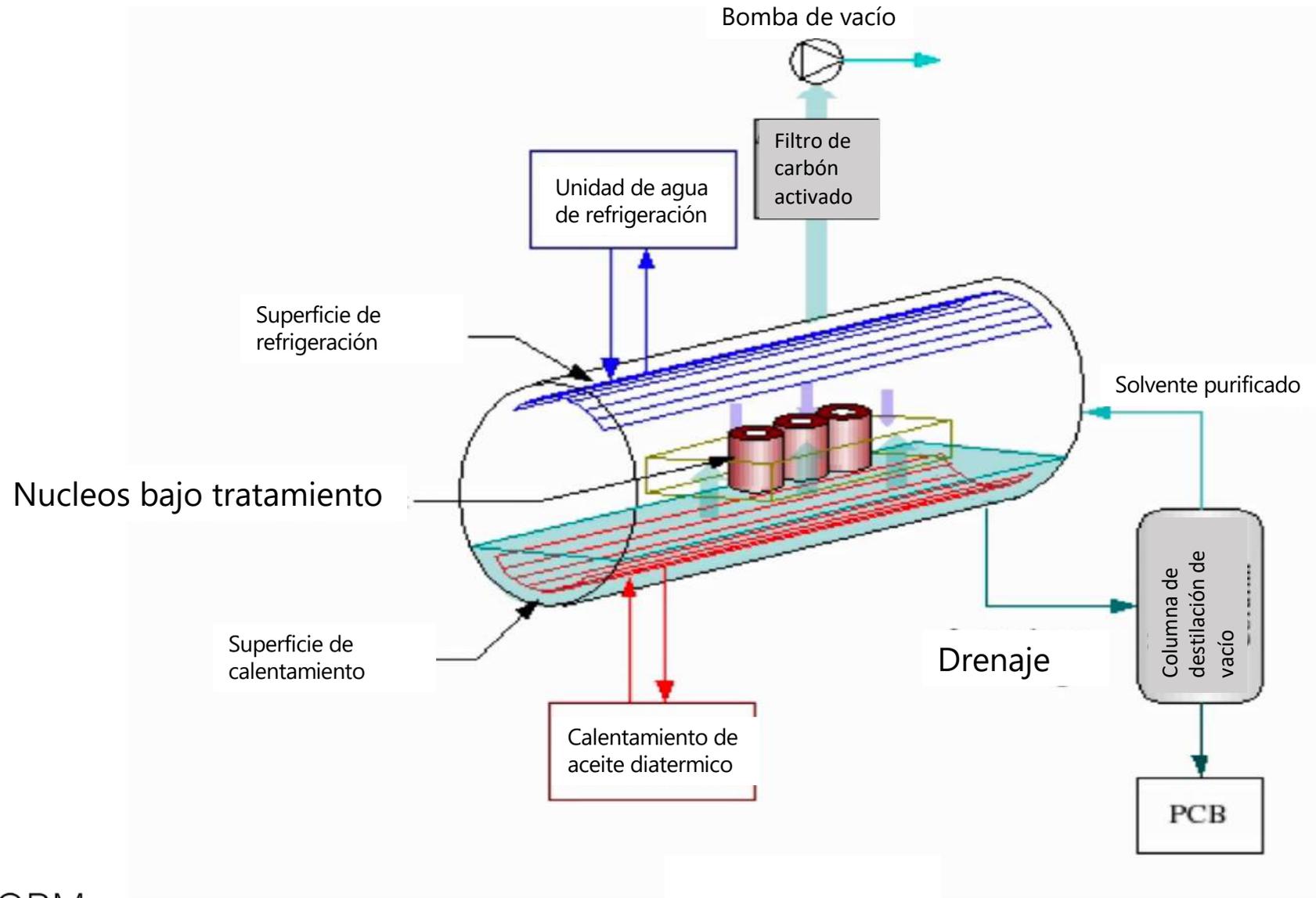
Ventajas

- Excelente estándar de descontaminación (a NDT).
- Recuperación de metales.
- Las ganancias por reciclaje superan los costos de esterilización en autoclave.
- Si se hace en el lugar, se reducen enormemente los costos de eliminación de PCB.
- Bajas emisiones

Desventajas

- Planta compleja que requiere experiencia para funcionar en el país de origen de los PCB.
- Necesidad de grandes cantidades de residuos para justificar la ubicación en el país de origen (más de 2000 toneladas).
- Grandes cantidades de disolvente utilizado inicialmente aunque el disolvente se recupera durante el proceso.

Procesos de descontaminación – Autoclave



Procesos de descontaminación – Autoclave

Lavado con disolvente en autoclave (con aspiradora para evitar que se escapen los vapores). Se utiliza para llevar a cabo la descontaminación de las partes metálicas de los transformadores (cobre, ferrosilicio, tanques, pernos).

Se puede aplicar con cualquier concentración, pero es especial para equipos contaminados con PCB puro. Con esta tecnología podemos alcanzar $<10 \text{ ug}/100 \text{ cm}^2$.

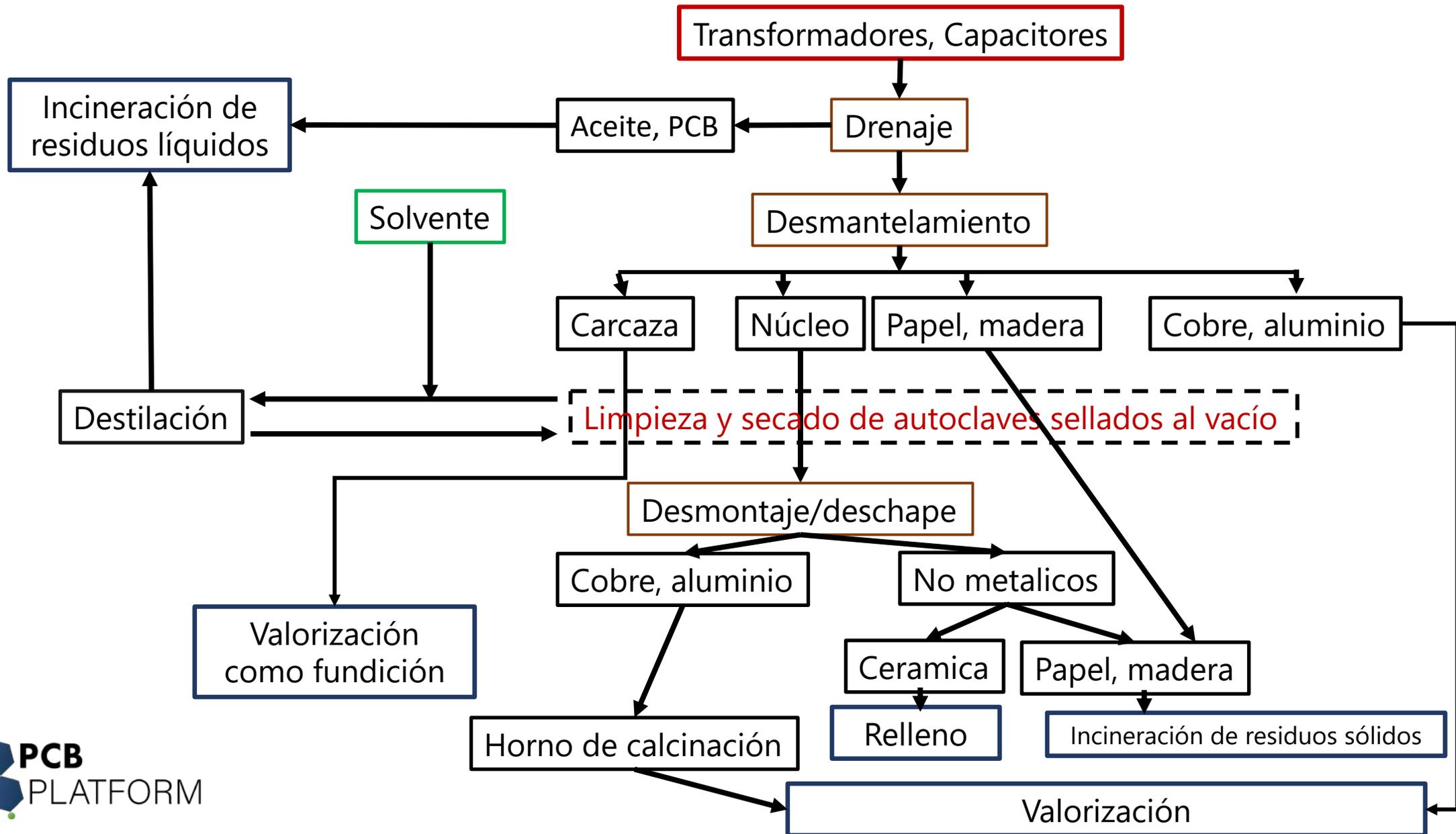
Como disolventes podemos utilizar Tricloroetileno o percloroetileno ya sea en fase líquida caliente ($60 \text{ }^\circ\text{C}$), líquido frío, y vapor.

El equipo tiene alambiques que separan el PCB del solvente, para reutilizarlo.

Los fondos destilados se exportan.



Procesos de descontaminación – Autoclave



La decloración química se basa en reacciones con un metal alcalino unido orgánicamente o un óxido o hidróxido de metal alcalino.

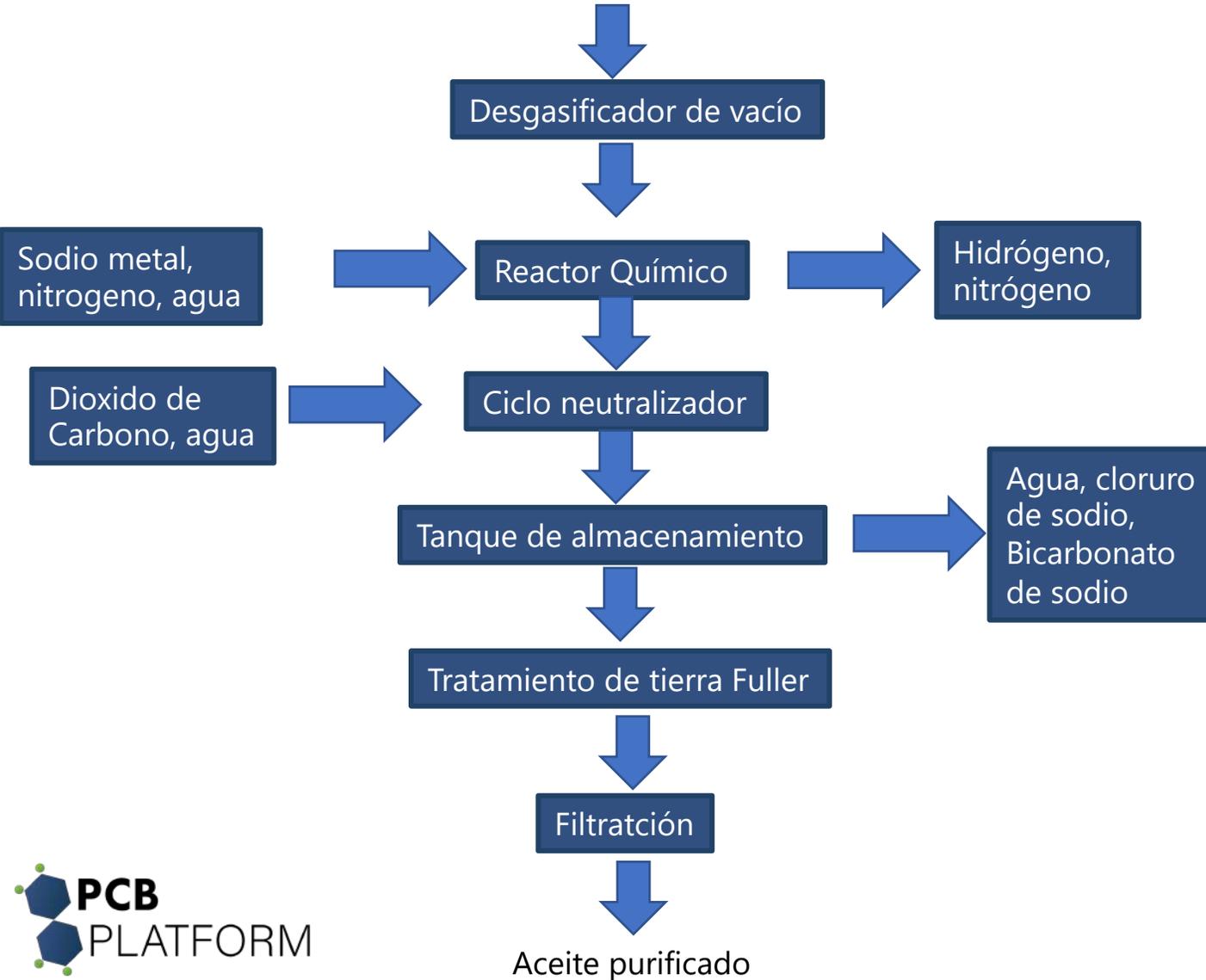
- El contenido de cloro se convierte en sales inorgánicas, que pueden eliminarse de la fracción orgánica por filtración.
- Puede tratar residuos de hasta un 10 % de PCB (en 2 h)
- Lo importante del proceso es el donante de hidrógeno con un potencial de anoxidación lo suficientemente bajo como para producir hidrógeno nucleofílico en presencia de NaOH base a bajas temperaturas.



Overview of PCB disposal technologies - Carlo Lupi – UNIDO consultant

Procesos de descontaminación – Decloración

Aceite contaminado con PCB



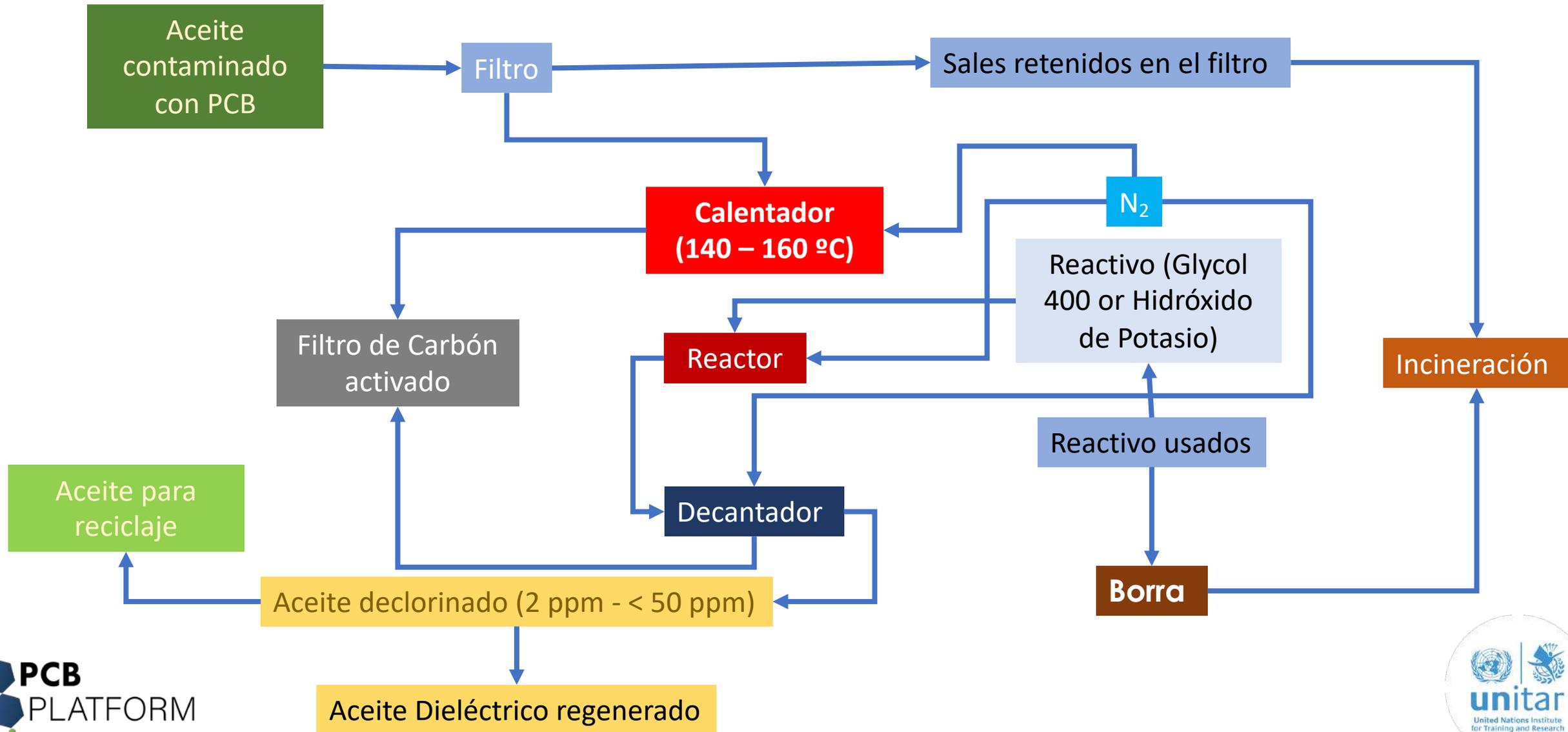
Ventajas

- PCB y COP destruidos en un solo paso.
- Proceso sencillo con emisiones muy pequeñas
- Tecnología probada
- Huella ecológica pequeña.

Desventajas

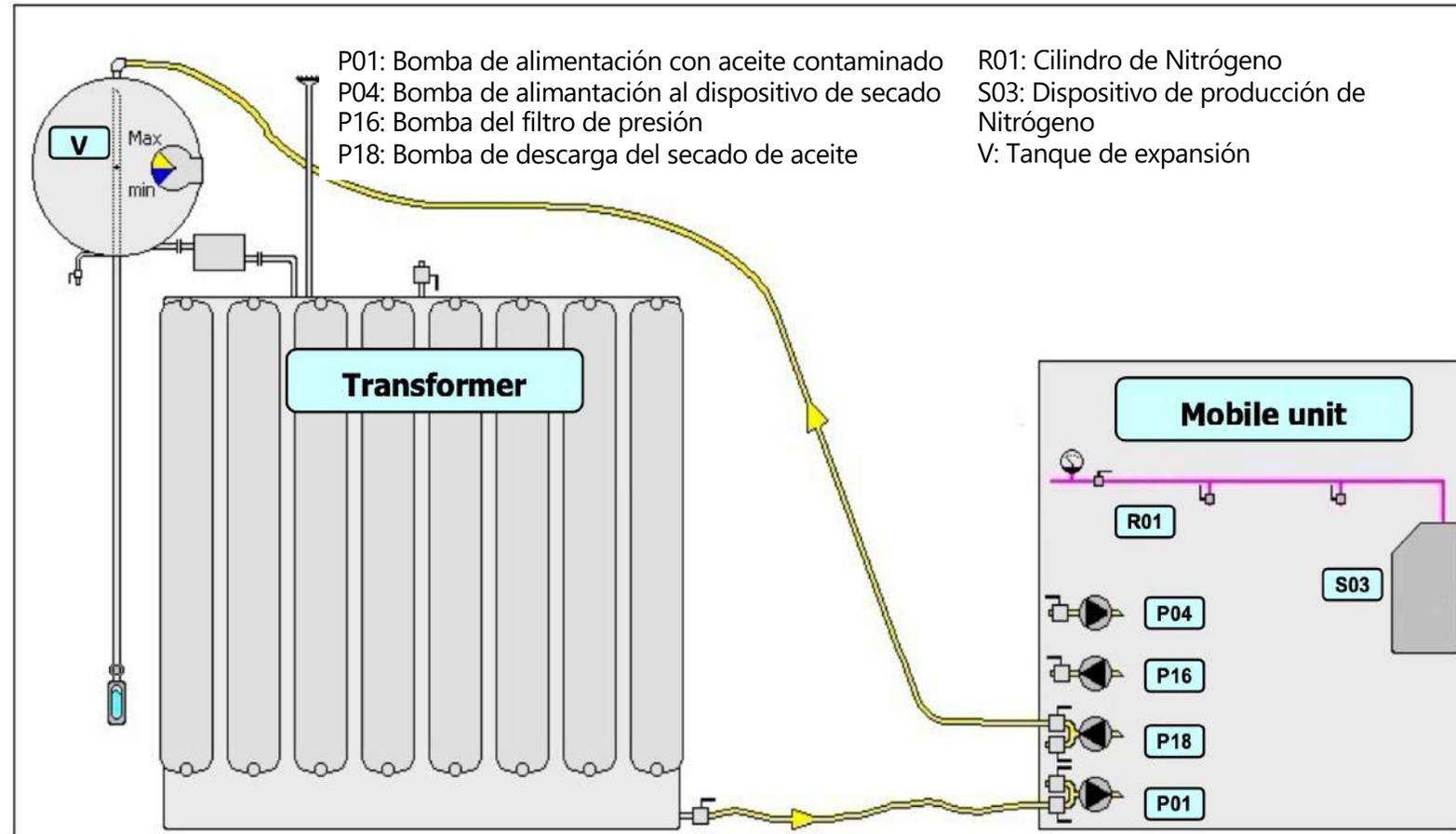
- Debe utilizar la extracción con disolventes en transformadores y condensadores como tratamiento previo

Procesos de descontaminación – Declorinación



Procesos de descontaminación – Decloración/Reducción Metal-Alcalina

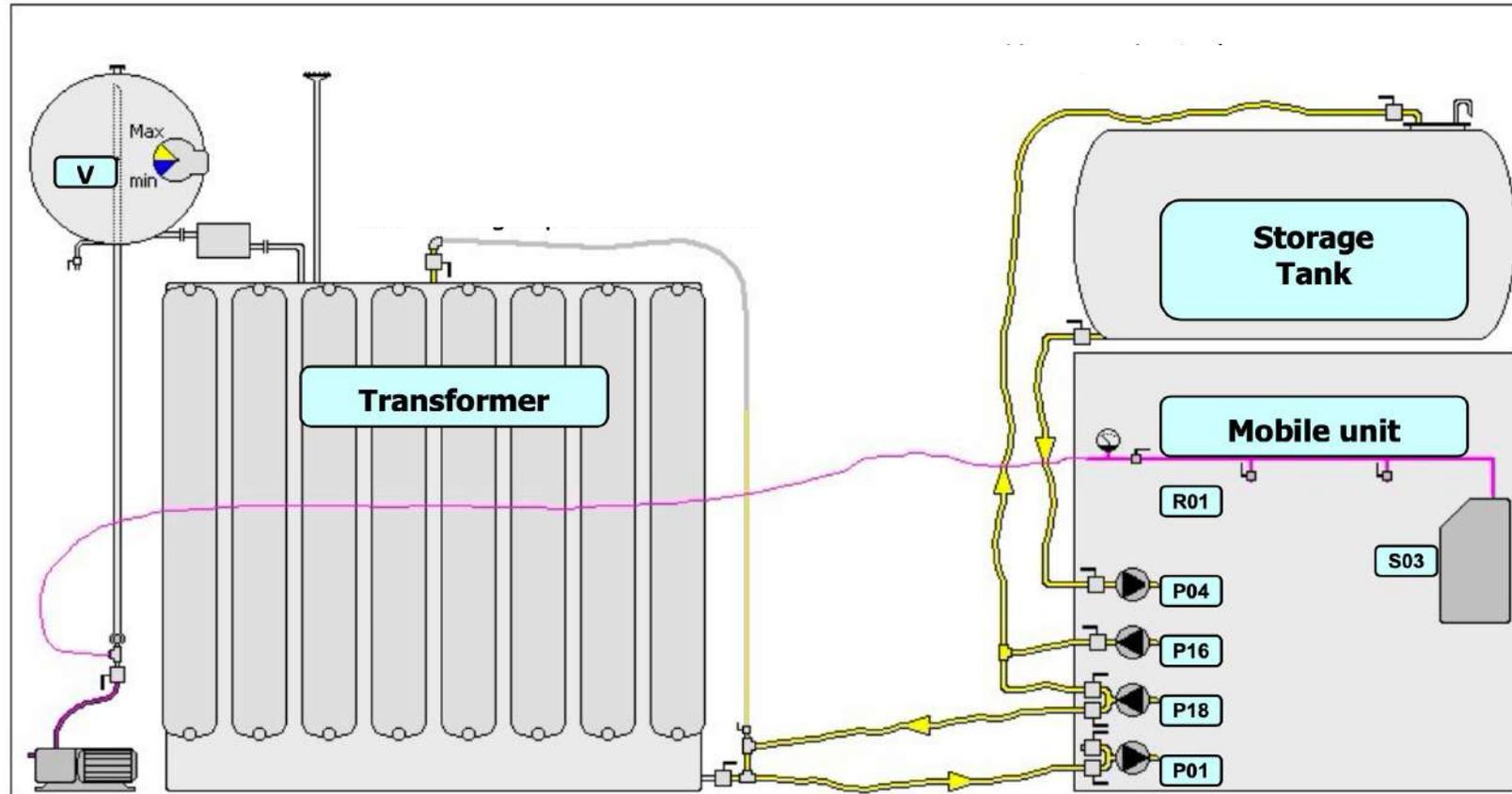
Ejemplo de una unidad móvil en Canadá operando directamente con el transformador



Ejemplo de una unidad móvil en Canada con operación indirecta con un transformador utilizando un tanque de aceite intermediario

P01: Bomba de alimentación con aceite contaminado
P04: Bomba de alimentación al dispositivo de secado
P16: Bomba del filtro de presión
P18: Bomba de descarga del secado de aceite

R01: Cilindro de Nitrógeno
S03: Dispositivo de producción de Nitrógeno
V: Tanque de expansión



Proceso Eco-logico

Un proceso de reducción de gas utiliza hidrógeno a alta temperatura como agente reductor para destruir los PCB

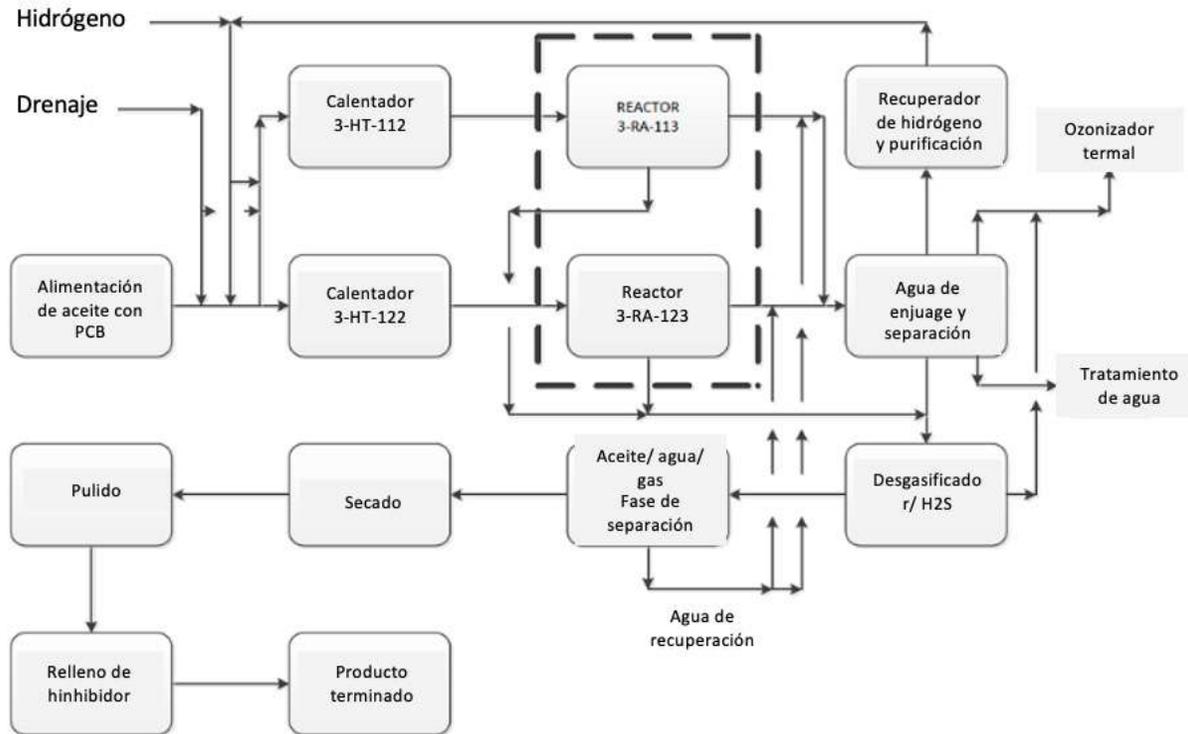
- A más de 850 °C, el hidrógeno se combina con PCB en una reacción conocida como reducción para formar metano y cloruro de hidrógeno.
- Esta reacción se ve reforzada por la presencia de agua, que actúa como un agente reductor y una fuente de hidrógeno.
- El uso de hidrógeno molecular requiere una temperatura de 350 ° C y alta presión.



Overview of PCB disposal technologies - Carlo Lupi – UNIDO consultant

Procesos de descontaminación – Proceso Eco-Logico

El Proceso Hidrodec



Ventajas

- Bajas emisiones
- Trata todas las moléculas cloradas
- Destrucción completa
- Convierte compuestos clorados en combustible

Desventajas

- Gran planta fija (unidades móviles y portátiles disponibles)
- Uso de hidrógeno

PCB Destruction Technologies Winston Lue USEPA/OLEM/ORCR/PIID/PB December 7, 2016

PCB Gone

En servicio el tratamiento de transformadores es posible mediante procesos de dechloración.

- El fluido se recircula a través del sistema de tratamiento hasta que las concentraciones residuales de PCB están por debajo de 2 ppm.
- La recirculación del fluido a través del transformador elimina en gran medida las PCB de los devanados del transformador y otros componentes internos.
- El aceite tratado es adecuado para su uso continuo.
- El proceso utiliza un complejo reactivo organo-sódico.
- En el tanque de reacción, el reactivo reacciona inmediatamente con los PCB y los hidrocarburos clorados para formar cloruro de sodio y un polímero de polifenileno.
- El reactivo reacciona para formar sales de sodio, que luego están presentes en el aceite como un lodo insoluble.



Overview of PCB disposal technologies - Carlo Lupi – UNIDO consultant

Ventajas

- Costo bajo para bajas concentraciones
- Proceso portátil
- Mínima emisión de gases
- Sistema de baja temperatura de trabajo
- Tratamiento de transformadores en servicio

Desventajas

- Permiso especial para equipos portátiles
- No apropiado para aceite con PCB puro.
- No aplicable para capacitores.
- Remanentes de papel y madera contaminadas deben ser aún destruidos.



Bioremediación

La biorremediación se refiere al uso de microorganismos para descomponer los compuestos químicos orgánicos que contaminan el suelo.

La clave del proceso es la identificación de un organismo apropiado para realizar el proceso de biorremediación.

El proceso necesita un buen control de la temperatura, los niveles de oxígeno, las fuentes de alimentos deben entenderse para que se pueda lograr una aplicación exitosa.

Buena solución para suelos con baja concentración de PCB.

Solidificación y estabilización

Estas tecnologías buscan la microencapsulación y la macroencapsulación de la PCB limitando su movilidad o transferencia a otra matriz.

Lavado de suelos

Se trata de una lixiviación del PCB del suelo por agentes cáusticos como el hidróxido de sodio.

Agua de oxidación supercrítica

Esta tecnología es un sistema de alta temperatura y presión que utiliza las propiedades del agua supercrítica en la destrucción de compuestos orgánicos. El oxidante se inyecta según sea necesario en una transferencia basada en calor, consideraciones térmicas y cinéticas. El proceso da como resultado la formación de cenizas desechables y gases liberables.

Gasificación

Este proceso utiliza un vapor de baja presión a altas temperaturas y una reacción termoquímica para vaporizar y separar los residuos en sus componentes elementales. Por lo tanto, se lleva a cabo un proceso de reducción en un recipiente de reacción que se calienta directamente.

Este es un proceso de reducción más que un proceso de combustión.
No hay gas de chimenea del reactor.

Oxidación química

Este proceso se mineraliza por oxidación utilizando algunos compuestos químicos como peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, oxona, etc. .



Gracias por su atención!

<https://www.pcb.unitar.org/>

