

## CAPITULO III

### EVALUACION DE LAS TECNOLOGIAS QUE EMPLEAN PROCESOS FISICOQUIMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

La selección de las metodologías de tratamiento, depende de muchos factores, entre los cuales se deben considerar:

- La naturaleza del residuo a tratar
- El estado físico del residuo
- La concentración de la corriente a tratar
- El equipo
- El equipo auxiliar
- Pre o post-tratamiento requerido
- La efectividad y el costo de la tecnología

Esto es, por que debido a la naturaleza del residuo (si es orgánico o inorgánico) y el estado físico en que se presenta, que puede ser en forma líquida (corrientes acuosas residuales), sólida (sedimentos y suelos), semi-sólida (lodos) o gaseosa (emisiones atmosféricas) se tienen diferentes alternativas de tratamiento por procesos fisicoquímicos.

La concentración de las sustancias peligrosas que están presentes en los efluentes residuales, el equipo necesario y los dispositivos auxiliares del proceso empleado influyen considerablemente en los costos del tratamiento; los cuales se incrementan si el proceso requiere de pre o post-tratamiento.

A continuación, se presentan las características de cada uno de los procesos fisicoquímicos:

La precipitación, es un proceso ampliamente utilizado, su implementación no es muy costosa y es aplicable a corrientes residuales que contienen metales pesados. Se requiere de un tanque de reacción con agitación y de un reactivo de precipitación. Se debe utilizar un pre-tratamiento cuando en la corriente a tratar están presentes residuos de cianuro o cromo (VI). Asimismo, se debe considerar que los sólidos precipitados requieren de una separación por sedimentación y/o filtración. El costo está en función del tamaño del equipo a utilizar, de la concentración de la corriente a tratar y de los reactivos químicos empleados en el proceso.

La neutralización se aplica a corrientes residuales ácidas o básicas y a compuestos orgánicos como fenoles y ácidos sulfónicos, este tipo de tratamiento se utiliza principalmente como una operación preliminar para otros procesos debido a que no produce una destrucción efectiva del residuo, pero lo hace más apropiado para otro tipo de tratamiento. El equipo que requiere es muy sencillo, se pueden emplear tanques de reacción con agitación, lagunas o columnas absorbedoras en operaciones continuas o discontinuas. Se debe contar con instrumentación apropiada para un buen control de pH, así como dispositivos de bombeo de muestras. Es necesario equipo auxiliar como recipientes de igualación,

clarificadores o sistemas de remoción de vapor. El costo de capital depende de lo mencionado anteriormente y el costo de operación depende de la concentración y volumen de la corriente residual.

La hidrólisis es de gran importancia para los residuos orgánicos aromáticos y alifáticos y se puede aplicar a corrientes líquidas principalmente. Este tipo de tratamiento, al igual que la neutralización, es muy útil cuando se combina con otros procesos. La hidrólisis se puede llevar a cabo en un equipo sencillo con tanques de reacción. El costo de capital varía dependiendo del equipo y los costos de operación estarán en función de las condiciones de reacción.

La fotólisis encuentra una amplia aplicación para destrucción de biocidas. Requiere de un proceso de tratamiento secundario que mineralice los fotoproductos a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Cl}$ . Se requiere un recipiente que contenga el material a irradiar y una fuente de luz ultravioleta que puede ser una lámpara de mercurio. Los costos de capital pueden ser substanciales dependiendo del equipo utilizado; la concentración del biocida a tratar también influye en los costos.

Es factible aplicar el proceso de oxidación-reducción a corrientes que contengan metales, cianuros, así como a residuos orgánicos a bajas concentraciones como fenoles, aminas etc. Este tipo de tratamiento se puede realizar en operaciones continuas o semicontinuas. El equipo empleado es un reactor. Debido a que la reacción provoca un incremento en la temperatura se requiere de equipo de monitoreo. Los costos de tratamiento dependen de los reactivos químicos utilizados.

La deshalogenación se emplea para la destrucción química específica de compuestos orgánicos halogenados y se puede emplear en suelos, sedimentos, lodos, corrientes acuosas y corrientes residuales mezcladas. Existen varios procesos de deshalogenación a nivel comercial y de laboratorio. No se encontraron datos de la relación costo/efectividad. Se cree que esta área de la deshalogenación química será de gran importancia en el futuro.

La ozonación es una oxidación que se lleva a cabo por medio de ozono para tratar contaminantes peligrosos orgánicos e inorgánicos. Es posible una oxidación completa de contaminantes orgánicos a nitrógeno y bióxido de carbono con tiempos de reacción y dosis adecuadas por lo que no se requiere de tratamiento adicional. Se pueden emplear sistemas con ozono y luz ultravioleta para desintoxicar aguas industriales con compuestos aromáticos y alifáticos. El equipo que se requiere es un generador de ozono en el lugar donde se va a utilizar debido a que es un gas muy inestable. Se deben utilizar inyectores de ozono para la difusión de éste en la corriente a tratar. La eficiencia del ozono se determina por la característica del agua residual, la cinética, el pH y la temperatura.

Se debe contar con equipo de monitoreo y control para proporcionar información relacionada con la eficiencia y confiabilidad.

Los factores principales que deben evaluarse incluyen: la producción máxima de ozono a una concentración específica, la producción variable de ozono a una concentración específica, equipo auxiliar, instrumentación de monitoreo y control, piezas de repuesto, costos de instalación, costos de arranque y garantías de funcionamiento.

Las tecnologías de estabilización/solidificación se aplican a residuos inorgánicos, orgánicos y radioactivos y puede emplearse a suelos, sedimentos y lodos. Los procesos de cementación son más apropiados para residuos inorgánicos catiónicos y los residuos orgánicos e inorgánicos aniónicos son más apropiados para los procesos de encapsulación. Este tipo de tecnologías varían de acuerdo al aglutinante empleado, el residuo, las condiciones del sitio, y otros factores; por ejemplo, los procesos que utilizan reacciones de cementación con material puzolánico, son bajos en costo y fáciles de usar pero aumentan el volumen que se debe manejar. Sin embargo, con la encapsulación el volumen incrementado puede ser muy pequeño.

Este tipo de tratamiento se puede llevar a cabo por procesos discontinuos, continuos, planta móvil y procesos in situ.

Para poder realizar una selección de la técnica de estabilización/ solidificación se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- 1) Objetivo del tratamiento; es decir, si sólo se quiere hacer una separación de los líquidos del residuo, hacer al residuo aceptable para su disposición en tierra o convertirlos en no peligrosos.
- 2) Características del residuo; que es un factor muy importante. El residuo debe ser compatible ya que algunos compuestos afectan adversamente las características de resistencia, durabilidad y permeabilidad de las mezclas residuo-aglutinante.
- 3) Tipos y requerimientos del proceso; si se lleva a cabo por procesos discontinuos, continuos etc., condiciones específicas del proceso (como modificaciones en el residuo, tipos de mezclado, transportación, etc.), requerimientos especiales del proceso (como el tratamiento para remover los agentes de interferencia) y el manejo del producto tratado.
- 4) Economía; el costo de las tecnologías de estabilización/solidificación se considera bajo comparado con otras técnicas de tratamiento debido a que la materia prima es muy económica, el equipo está disponible en industrias de concreto y afines, los costos varían dependiendo de las características del residuo, transporte, aseguramiento y control de calidad.

El intercambio iónico encuentra utilidad en operaciones de galvanizado de metales y en residuos con cianuro; este tipo de proceso resulta más efectivo en combinación con otros. El equipo que requiere el intercambio iónico generalmente consiste de un tanque de almacenamiento de agua residual, prefiltros, recipientes de intercambio aniónico y catiónico y equipo de regeneración ácido-básico. La concentración de contaminantes y el equipo necesario que influye en los costos de operación.

**Tabla 3.1 EVALUACION DE LOS PROCESOS FISICOQUIMICOS PARA DIFERENTES RESIDUOS PELIGROSOS**

Procesos de tratamiento	Residuos corrosivos	Solventes halogenados	Solventes no halogenados	Residuos orgánicos clorados	otros Residuos orgánicos	PCB	Soluciones con metales pesados	Residuos reactivos	suelos contaminados	Residuos de cianuro	Residuos con compuestos químicos orgánicos
Precipitación química 1	X						X				
Neutralización 2	X										X
Hidrólisis 3								X			
Fotólisis 1				X							
Oxidación/reducción química 1							X			X	X
Deshalogenación 1		X		X		X			X		
Ozonación 1,4		*	X	*	X			X		X	
Estabilización/solidificación 1,5	X								X	X	
Intercambio iónico 2	X						X				X

Fuente (1) Freeman H M (1989) "Standard Handbook of Hazardous Wastes Management and Disposal", McGraw-Hill Publishers Estados Unidos de América.

(2) Wentz (1989) " Hazardous Waste Management" Ed MacGraw-Hill, Estados Unidos de América

(3) Kiang y Amr (1982) " Hazardous Waste Processing Technology" Ed Ann Arbor Science, Estados Unidos de América.

(4) USEPA (1991) "Radiación/Oxidación Ultravioleta" Ed. Ultraox Internacional Tercer foro de tecnologías de Innovación de superfund Estados Unidos de América

(5) World Technical Paper No 93 (1989) " The Safe Disposal of Hazardous Wastes" Ed. Balstone y Smith. Estudio conjunto de Banco Mundial, OMS y Programa Ambiental de las Naciones Unidas.

Nota: \* Ozono/ Radiación ultravioleta, y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

## GLOSARIO

APEG	Polietilenglicol alcalino
CFR	Código Federal de Reglamentaciones de Estados Unidos de Norteamérica
CIC	Capacidad de intercambio de cationes
DMA	Dimetilamina
<i>e</i>	Coefficiente de extinción
EDTA	Acido etilendiaminotetraacético
E.U.A.	Estados Unidos de América
Explosivo	Substancia que puede detonar violentamente, liberando grandes cantidades de gas y calor
Explosivo A	Detonante de máximo peligro
Explosivo B	Material flamable
Explosivo C	Material de menor peligro que contiene pequeñas cantidades de explosivo A y/o B
KPEG	Hidróxido de potasio de etilenglicol (KPEG)
<i>I</i> <sub>max</sub>	Absorbancia
LC50	Concentración de un material tóxico, el cual cuando se administra a animales de prueba mata la mitad de la población en un período específico de tiempo
LD50	La dosis de un material tóxico, que cuando se administra a animales de prueba mata la mitad de la población en un período específico de tiempo
Ceniza	Particula muy fina que no produce cementación por sí misma, pero que en puzolánico combinación con cal o cemento portland a temperatura normal producen compuestos insolubles estables
Material	Cualquier substancia en cualquier cantidad y forma que puede ser peligroso o nociva a humanos, animales y vegetales.
NTE	Norma Técnica Ecológica
PCB's	Bifenilos policlorados

PCDDs	Dibenzodioxinas policloradas
PEGMs	Eteres monoalquílicos de polietilenglicol
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
$\phi$	Producción de quantum
Substancia	Aquella que puede producir lesiones o daños a través de la ingestión tóxica inhalación o absorción
SVOCs	Compuestos orgánicos semivolátiles
TCDD	Tetraclorodibenzo p-dioxina
TNT	Trinitrotolueno
Toxicidad	La capacidad de una substancia para causar daño al tejido vivo, deteriora a las funciones del sistema nervioso central, enfermedad o muerte cuando se ingiere, inhala o absorbe por la piel
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica
UV	Radiación ultravioleta
VOCs	Compuestos orgánicos volátiles

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. ANDER P. Y J. SONNESSA.(1976), "Principios de química." Ed. Limusa.,México D.F, pp 83, 814.
2. AYRES G. H., (1970) "Análisis químico cuantitativo." Ed. Harla S.A. de C.V., México D.F., pp. 41 y 42.
3. CALVERT, J.G. y Pitts, J.N. (1966), "Photochemistry", Ed. Wiley, New York, pp 25.
4. CULLINANE M.J. y L.W. Jones (1986) "Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Waste", USEPA Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, Cincinnati Ohio, Junio.
5. CHUNG N.K. (1989) "Standard handbook of hazardous wastes" Ed. McGraw-Hill, New York, pp. 7.21-7.29.
6. DAVIS, M.L. y D.A. CORNWELL (1991) "Introduction to Environmental Engineering" Ed. McGraw-Hill, New York, pp. 654-655, 666-671, 690.
7. De RENZO, D.J. (1978) "Unit Operators for Treatment of Hazardous Industrial Wastes". Park Ridge; Noyes Data Corporation, U.S.A., pp.66.
8. EVANS F.L. (1977) "Ozone in Water and Wastewater Treatment", Ann Arbor Science, Michigan, pp 85-87.
9. FIESER L.F. y M. Fieser (1967) "Reagents for Organic Synthesis", Ed. Wiley, New York, pp 276.
10. FOCHTMAN E.G. (1989), "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", Ed. McGraw-Hill, New York, pp 7.41-7.49.
11. FREEMAN, H.M. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Wastes Treatment and Disposal", McGraw-Hill Publishers Co., New York.
12. HIGGINS T.E. (1989) "Hazardous Waste Minimization Handbook.", Lewis Publishers, Michigan, pp 88-90.
13. HOINE, J. y Bader, H.(1976), "The Role of Hidroxyl Radical Reactions in Ozonation Process in Aqueous Solutions", Agua residual, U.S.A., Vol. 10 pp. 377-386.
14. JONES J.N., R.M. Bricka y D.E. THOMPSON.(1985), "Factors Affecting Stabilization/Solidification of Hazardous Waste", Land Disposal of Hazardous Wastes, precedente de onceavo simposio anual de investigación, USEPA, Cincinnati, Ohio, Abril.

15. KEARNEY, P.C. y Mazzochi, P.H. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment" Photolysis, Ed. Mc Graw-Hill, New York, pp. 7.33-7.39.
16. KIANG Y.H. y A.A. Metry., (1982) "Hazardous Waste Processing Technology" Ed. Ann Arbor Science, Michigan, pp 486-487, 499-501.
17. KIANG Y.H. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Wastes Treatment and Disposal", Mc Graw-Hill Inc., New York, pp 8.195-8.200.
18. KIMURA Y. y S.L. Regen.(1982), "Poly (ethylene glycols) are Extraordinary Catalyst in Liquid Two-phase Dehydrohalogenation", Journal of Organic Chemistry, 47:2, 493.
19. LEA F. M. (1970) "The chemistry of the cement", Edward Anton LTD. U.S.A. pp. 225.
20. LIGGETT, L. M., (1954) "Determination of Organic Halogen with Sodium Biphenil", U.S.A.
21. LINDSAY M. J. y M.E. Hackman (1985), "Sodium Borohydride Reduces Hazardous Waste" 40ava. Conferencia anual de Residuos Industriales, U.S.A., pp.107.
22. LUBOWITZ H. R. y C. C. WILES, (1981) "Management of Hazardous Wastes by Unique Encapsulation Process" Land Disposal of Hazardous Waste, procedente del séptimo simposio anual de investigación, USEPA, Cincinnati, Ohio.
23. MALONE P. G. y L. W. Jones (1982) "Guide to the Disposal of Chemically Stabilized and Solidified Waste", USEPA, Office of Water and Waste Management, SW-872, Washington, D. C., September pp. 235.
24. MASSEY M. J. y F. M. Walsh (1985) "An Electrochemical Process for Descontaminating PCB Containing Transformer Coolants", Procedente del Seminario de Seattle, Washington, Octubre 22-25.
25. Metcalf y Eddy Inc.(1985), "Brief Technologies Available for Hazardous Wastes" sección 2.20, Oxidación química, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norte América, Mayo, Washington, D. C.
26. NOVAK F. C. (1980) "Ozone for Industrial Wastewater Treatment", Octava Conferencia Anual de Contaminación industrial, Houston, Texas.
27. NOVAK F. C. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", Ozonation, Ed. Mc Graw-Hill, New York, pp 7.65-7.75.
28. Noyes Data Corporation. (1982) "Hazardous Waste Leachate Management Manual" Pollution Technology review No. 92. pp. 44 y 45.
29. NTE-CRP-001/88 "Acuerdo por el que se expide la Norma Técnica Ecológica, que establece los criterios para la determinación de los residuos peligrosos y el listado de los mismos", Gaceta Ecológica No. 11., Vol 11. México, D. F., pp. 2-7.

30. OKU. A., y H. Kataoka.(1978), "A complete dechlorination of polychlorinated biphenyl by sodium naphthalene", Chemistry and Industry, U.S.A., 4:841, noviembre.
31. PATTERSON, J. W. et. al.(1977), "Carbonate Precipitation for Heavy Metals Pollutants" J. Water Pollut. Control Fed., Estados Unidos de Norteamérica.
32. PERRY (1988) "Biblioteca del Ingeniero Químico. Vol. 5", Ed. Mc Graw-Hill, New York, pp 22a.
33. POJASEK R. B. (1979) "Toxic and Hazardous Waste Disposal", Vol I. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, pp. 55.
34. POON C. S., C. J. Peters y R. Perry.(1983), "Youth of stabilization processes in the control of toxic wastes", Effluent and Water Treatment Journal 23 (11), Noviembre, New York., pp 451.
35. SMITH J.G. y G.L. Bubbar (1980) "The Chemical Destruction of Polichlorinates Biphenyls by Sodium Naphtalene", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 30:620.
36. STAEHELIN J. y H. Hoigne.(1985), "Descomposition of Ozone in Water in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Chain Reactions", Environmental Science and Technology, 19:206, December.
37. STARKS C. M. "Phase-Transfer Catalyst. I. Heterogeneous Reactions Involving an Ion Transfer by Quaternary Ammonium and Phosphonium Salts", Journal of the American Chemical Society, 93:195, 1971.
38. TELLES R. W. y H. R. Lubowits (1984) "Review of Fixation Processes to Manage Hazardous Wastes", USEPA y Oficina de Manejo de Agua y Residuos., Cincinnati, Ohio, pp. 112.
39. USEPA (1985) "Briefing-Technologies Applicable to Hazardous Waste", sec. 2.20., Oxidación Química, Metcalf y Eddy Inc.
40. USEPA (1990) "RCRA Orientation Manual", Office of Solid Waste Washington, DC., EPA/530-SW-90-036.
41. USEPA (1991) "Technology Profiles Fourth Edition : The Superfund Innovative Technolgy Evaluation Program"., Cincinnati, Ohio, pp. 343.
42. USEPA (1991) "Overview and Guide to Information Sources", Innovative Treatment Technologies, EPA/540/9-91/002.
43. WALSH M.B., H.C. EATON, M.E. TITTELBAUM y F.C. CARTLEDGE (1986) "The Efect of Two Organic Compounds on a Portland Cement Based Stabilization Matrix" Hazardous Waste and Hazardous Materials 3:1, New York., pp. 111-123.
44. WALTERS R.W. y D.M. Vitaglino (1984) "Toxic and hazardous wastes.", Procedimientos de la 16ava conferencia de residuos peligrosos del Atlántico, pp.251.

45. WENTZ C.A. (1989) "Hazardous Waste Management", Mc Graw-Hil Publishing Co., New York., pp. 156-160, 195-197.
46. WILLARD H.H., MERRIT L.L. y DEAN J., (1974) "Métodos instrumentales de análisis." Ed. C.E.C.S.A., pp. 65, 103, 132 y 423.
47. WORLD BANK TECHNICAL PAPER No. 93. (1989) "The Safe Disposal of Hazardous Wastes", Editado por Balstone R., J.E. Smith Jr. y D. Wilson. Estudio conjunto del Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Vol I. pp. 19-32 y Vol II. pp. 333-335.
48. ZINDER S. H. et. al.(1984), "Effects of Temperature on Methanogenesis in a Thermophilic (58°C) Anaerobic Digester", Applied and Environmental Microbiology., 47:(4) pp. 808-813.