



La inertización en fase dispersa (ILFD). Nueva técnica de tratamiento de los lixiviados y aguas complejas (y II)

Pruebas a escala de planta piloto. Tecnología ILFD

En el presente artículo, continuación del publicado en el número 8 (enero 2014) de esta misma revista, se presentan los resultados alcanzados a escala de planta piloto de la tecnología para la inertización de los lixiviados de vertederos basado en el contacto entre fases dispersas (ILFD). Esta tecnología, además de minimizar el consumo de reactivos, introduce un nuevo modelo de gestión de los efluentes de un vertedero (biogás y lixiviados), ya que las necesidades energéticas para su operación se pueden suplir mediante el uso de los gases de escape de motores de cogeneración a biogás típicos en este tipo de instalaciones.

Joaquín Reina Hernández
Director Energy & Waste Tech - Tec Engineering

UNO DE LOS ASPECTOS más engorrosos en la gestión integral de un vertedero de residuos sólidos urbanos o en una instalación de tratamiento de los mismos es el lixiviado. Este líquido, que constituye un agua compleja y altamente contaminante, procede principalmente de la degradación de la materia orgánica, a lo que se suman otros líquidos presentes en los residuos, aguas de lluvias, etc.

Su aspecto es de color oscuro, de olor fuerte y penetrante, fluido y, en zonas de acumulación y/o estancamiento, presenta una capa superficial de varios centímetros de espuma.

La composición media de estos líquidos varía considerablemente según áreas geográficas, edad del vertedero y tipo de residuo depositado en el mismo, pero todos coinciden en una alta carga orgánica, DQO y DBO5, su principal factor contaminante.

Los parámetros básicos de caracterización de un lixiviado serán, además de los dos citados, la concentración de sólidos disueltos y en suspensión, dureza, concentración en fosfatos y nitratos, etc.

DESARROLLO

Entre las técnicas de mayor aplicación en el tratamiento de estas aguas residuales con vista a su minimización se encuentran la filtración por membrana y la evaporación, ambas consideradas como tratamientos secundarios. Independientemente de la técnica que se aplique, se obtendrán dos fracciones: una limpia, el permeado, y otra sucia, el rechazo o concentrado, donde se encuentran todas las impurezas (sales) del agua tratada. Este rechazo o concentrado posee, por tanto, un mayor impacto ambiental que el agua que le dio origen; por ello, debe ser tratado con la finalidad de convertirlo en un producto de fácil manipulación o inertizarlo para su disposición en vertedero de RSU.

Las vías actuales de tratamiento de este concentrado se pueden dividir en: cristalización, secado por aspersión e inertización.

Cristalización

La operación de cristalización es aquella por medio de la cual se separa un componente de una solución líquida transfiriéndolo a la fase sólida en forma de cristales que precipitan. Es una operación necesaria para todo producto químico, que se presenta comercialmente en forma de polvos.

Secado por aspersión

El principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado que se atomiza finamente formando una niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente (entre 200 y 300°C para alimentos), que actúa como medio calefactor y fluido de transporte. Es el paso de una parte de un líquido a la fase sólida por medio de una evaporación *flash*, utilizando una corriente gaseosa como medio calentamiento y transporte.

Ambas tecnologías se caracterizan porque el sólido que

producen es soluble en agua, lo cual, para el caso de los lixiviados, lo convierte en un sólido altamente contaminante, y, aunque minimiza el agua que le dio origen y facilita su manipulación, no puede ser depositado en vertedero y debe de ser tratado como un residuo peligroso.

Inertización

La inertización es un proceso físico-químico que permite modificar las características de lixivabilidad de un residuo. Esto significa que los componentes de un material se transforman en insolubles, reduciendo su movilidad y eliminando su peligrosidad.

A diferencia de las dos tecnologías anteriores, mediante este proceso de inertización y estabilización se consigue un residuo final apto para su depósito a vertedero.

Actualmente la tecnología existente para la inertización de los lixiviados de vertederos de RSU trabaja en flujo en masa (mezcla), y se puede denominar como ILM. Esta tecnología requiere una elevada cantidad de reactivo en un orden comprendido entre 2 a 3 kg reactivo por kg de lixiviados. Por ello, tanto la cantidad de reactivo a utilizar como el producto sólido que genera es elevada, lo que le hace perder a esta tecnología atractivo como técnica de tratamiento de este tipo de residuos.

El sistema desarrollado por Energy & Waste, denominado ILFD (inertización en fase dispersa), reúne características básicas de la atomización de líquidos, e incorpora la dosificación y pulverización del reactivos en el interior de una cámara calentada por medio de una fase gaseosa, general-



Figura 6.

mente aire o gases de escape de proceso de combustión, con lo que se logra que el sólido residual inerte quede en forma de polvo.

La ventaja de esta tecnología es que el proceso se desarrolla en fase dispersa, lo cual acelera la velocidad de reacción, dado a la mejora de los procesos de transporte de calor y masa que tienen lugar, lo que provoca que se minimice la cantidad de reactivo para el desarrollo de la reacción.

Una de las características básicas de esta tecnología es que necesita calor para el desarrollo de la reacción, por lo que fuentes de calor residuales, como los gases de escape de motores de generación eléctrica, son útiles para aplicar a esta tecnología.

El proceso de inertización de los lixiviados procedentes de vertederos se fundamenta en la reacción de hidratación del óxido de calcio para producir cal apagada o hidróxido cálcico.

PRUEBAS A ESCALA PLANTA PILOTO

Una planta piloto es una planta de proceso a escala reducida. El fin que se persigue al diseñar, construir y operar una planta piloto, es obtener información sobre un determinado proceso físico o químico que permita determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial. También tiene como objeto obtener los modelos que permitan simular el comportamiento del proceso en determinadas condiciones de operación.

La experiencia se llevó a cabo con tres concentrados de lixiviados procedentes de tres vertederos diferentes gestionado por el Grupo Cespa Gestión S.A, de la empresa Ferrovial. Cada uno de estos concentrados fue obtenido de manera diferente, es decir, proceden de diferentes tipos de tratamientos, entre los que se pueden citar: ósmosis inversa, ósmosis

inversa en dos etapas y ósmosis inversa más evaporación por termo-compresión.

La Figura 6 muestra una instalación construida para este fin. En ella se pueden ver las diferentes partes con que cuenta la misma. Las partes que componen la tecnología ILFD son las siguientes:

- Cámara de inertización.
- Tobera de atomización del líquido.
- Pulverizador del reactivo.
- Dosificador de reactivo.
- Bomba alta presión.
- Sistema de filtrado del gas.
- Cámara de calefacción del gas.
- Soplante.
- Quemador a gas.

La Tabla 7 muestra la analítica de los tres concentrados procedentes lixiviado objeto de este estudio.

Por lo general, el reactivo utilizado para la inertización de los lixiviados de vertedero es una mezcla de óxido de cal + cemento al 50%. En el caso de la inertización en fase dispersa, se utiliza óxido de cal micronizado, lo que facilita la pulverización del reactivo por el agente calefactor dentro de la cámara de inertización/mezcla. El atomizador utilizado para la atomización del lixiviado, es decir, la formación de pequeñas gotas en forma de niebla dentro de la cámara, es un atomizador tipo tobera de cono hueco de ángulo estrecho, que opera a unos 20 bares de presión.

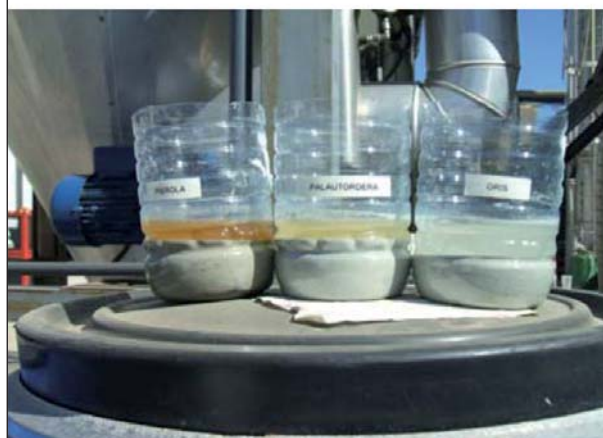
El lixiviado, antes de entrar a la bomba, se filtra por medio de un filtro de cartucho con la finalidad de eliminar cualquier tipo de sólido que pudiera provocar mala operación de la tobera de atomización por obstrucción. El caudal de alimentación fue en todo momento 15 l/h de lixiviados.

El proceso de producción de cal apagada o de hidróxido

Tabla 7. Resultados obtenidos de diferentes parámetros en las muestras de concentrados de lixiviados procedentes de los vertederos controlados de RSUs de Palautordera, Osís y Hostalets de Pierola

Fecha: 05-08-08		Lixiviado Palautordera	Lixiviado Orís	Lixiviado Hostalets de Pierola
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	RESULTADOS	RESULTADOS
AMONIO	mg NH ₄ /l	9.634 (*)	147	10.800 (*)
RESIDUO SECO	mg/l	55.750 (*)	46.620 (*)	38.400 (*)
MATERIAS EN SUSPENSIÓN	mg/l	713	126	10.040 (*)
CONDUCTIVIDAD (a 20°C)	µS/cm	54.755	40.924	75.700
pH	Unidades de pH	8,0	7,0	5,3
CLORUROS	mg Cl/l	20.904	16.040	48.584
SULFATOS	mg SO ₄ /l	11.008 (*)	803	36.013 (*)
T.O.C.	mg Cl/l	13.230 (*)	2.487	14.628 (*)

(*) Este resultado sobrepasa los límites superiores del rango de acreditación por parte e ENAC del laboratorio de análisis

Figura 7. Producto obtenido del proceso de inertización**Figura 8.** Extractos acuosos procedentes del inertizado de los tres lixiviados**Tabla 8.** Resultados de los extractos acuosos de los residuos secos en las muestras objeto de tratamiento en la planta

Fecha: 05-08-08 PARÁMETROS ANÁLISIS RESIDUO	UNIDADES	Extracto acuoso Palautordera RESULTADOS	Extracto acuoso Orís RESULTADOS	Extracto acuoso Hostalets de Pierola RESULTADOS
PÉRDIDA 105°C	%	<0,2	<0,2	<0,2
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	>75	>75	>75
ANÁLISIS LIXIVIADO				
pH INICIAL	Unidades de pH	12,5	12,5	12,5
CONDUCTIVIDAD INICIAL	µS/cm a 25°C	14.920	13.480	27.930
pH FINAL	Unidades de pH	12,6	12,6	12,6
CONDUCTIVIDAD FINAL	µS/cm a 25°C	14.980	13.560	30.550
T.O.C.	mg Cl/kg s.m.s.	4.850	590	11.130
ANTIMONIO	mg Sb/kg s.m.s.	<0,2	<0,2	<0,2
ARSÉNICO	mg As/kg s.m.s.	<0,2	<0,2	0,8
BARIO	mg Ba/kg s.m.s.	4,7	7,1	3,4
CADMIO	mg Cd/kg s.m.s.	<0,1	<0,1	<0,1
COBRE	mg Cu/kg s.m.s.	<0,6	<0,6	<0,6
CROMO TOTAL	mg Cr/kg s.m.s.	1,8	1,1	2,6
MERCURIO	mg Hg/kg s.m.s.	<0,01	<0,01	0,01
MOLIBDENO	mg Mo/kg s.m.s.	0,3	0,2	0,4
NIQUEL	mg Ni/kg s.m.s.	<0,6	<0,6	1,4
PLOMO	mg Pb/kg s.m.s.	<0,6	<0,6	<0,6
SELENIO	mg Se/kg s.m.s.	<0,2	<0,2	<0,2
ZINC	mg Zn/kg s.m.s.	<0,6	<0,6	<0,6
AMONIO	mg NH ₄ /kg s.m.s.	150	<40	940
CLORUROS	mg Cl/kg s.m.s.	11.220	6.350	58.460
DQO homogenia	mg O ₂ /kg s.m.s.	12.950	1.470	29.820
SULFATOS	mg SO ₄ /kg s.m.s.	5.540	1.670	32.830
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/kg s.m.s.	76.000	47.000	210.000

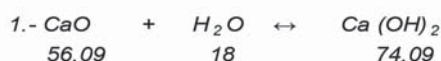
de calcio, que es la reacción base de este tipo de proceso (reacción 1), se produce por encima de los 140°C y es, a su vez, una reacción exotérmica. La temperatura de operación para estas pruebas se fijó en 175°C.

Este calor de reacción produce una elevación de la temperatura, tanto del producto sólido que se forma (inertizado) como de la fase gaseosa resultante de este proceso. Esta elevación de la temperatura es un indicador, a su vez, de la calidad con que se está desarrollando el proceso.

Debido al contenido de amonio (NH_4) que presenta el lixiviado, y a las condiciones de operación del proceso, es decir, aumento de la temperatura y del pH, se produce la liberación del amonio (NH_4) en forma de amoniaco (NH_3), debido a la doble ruptura del equilibrio químico que toma lugar.

Este gas (NH_3) se diluye dentro de la corriente gaseosa calefactora -por lo general, aire-, que, además, sirve como medio de transporte neumático para arrastrar el sólido que se produce hasta los medios de separación gas-sólidos.

Reacciones que tienen lugar en la inertización del lixiviado de vertedero:



$\Delta H = -1140 \text{ kJ/kg of CaO}$



La Figura 7 muestra el resultado alcanzado del proceso de inertización de los concentrados; la Figura 8 presenta los extractos acuosos procedentes del inertizado de los tres lixiviados. La coloración del extracto acuoso se

puede tomar como índice de la calidad del proceso de inertización.

Los tres concentrados fueron tratados con la misma receta. Una mezcla de cemento y cal al 50% y una relación de 0.7 kg reactivo / kg lixiviados. La Figura 7 muestra los extractos acuosos procedentes de los tres lixiviados objeto del pilotaje. Por medio de una visualización del extracto acuoso procedente del inertizado obtenido se puede observar la diferencia en los resultados.

Para el desarrollo de las pruebas se fijaron dos tipos de analíticas: una al sólido residual del proceso y otro a la fase gaseosa generada.

La Tabla 8 muestra los resultados de la analítica efectuada al extracto acuoso de los tres inertizados producidos tratado con una relación 0.7 kg reactivo/kg lixiviado.

Dado el resultado alcanzado en el tratamiento del concentrado procedente del vertedero de Pierola (osmosis inversa + evaporación), se realizaron nuevas pruebas con relaciones comprendidas entre 1 y 1.5 kg reactivo / kg lixiviados. La Tabla 9 muestra los resultados de la analítica efectuada al extracto acuoso. La analítica corresponde a una relación de 1.2 kg reactivo / kg lixiviados

NUEVO MODELO DE GESTIÓN DE LOS EFLUENTES DE UN VERTEDERO (BIOGÁS Y LIXIVIADOS)

Actualmente la gestión de los efluentes de un vertedero controlado de RSU, es decir, biogás y lixiviados, se realiza de forma separada, generalmente dentro de la propia instalación; cada uno de ellos con sus tratamientos dirigidos a objetivos específicos: el lixiviado con vista a su minimización o futura manipulación vía inertización, y el biogás para su uso como biocombustible para satisfacer demanda de energía.

Cuando el biogás se usa para la generación de electricidad vía motores o turbinas a gas, se obtienen como resultado del proceso los gases de escape con un valor energético en

Figura 9. Nueva propuesta de gestión de los efluentes de vertederos haciendo uso de los portadores energéticos del proceso de generación de electricidad a partir del biogás

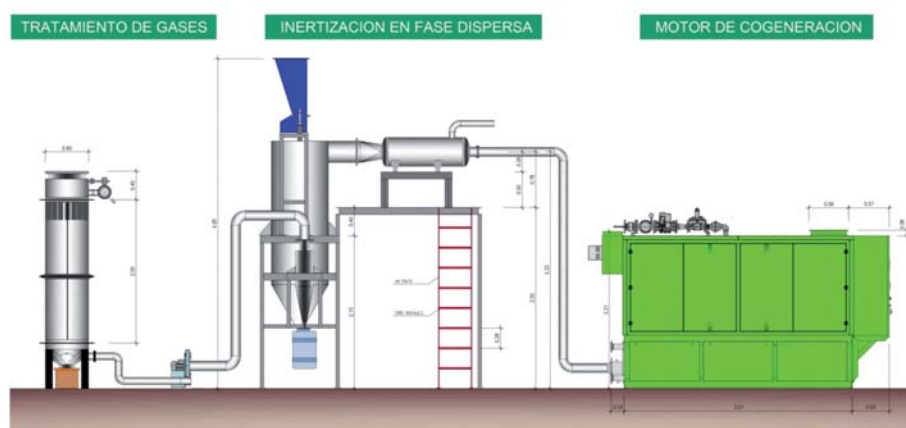


Tabla 9. Análítica del extracto acuoso del inertizado procedente del concentrado del vertedero de Piérola

Propiedades	Valor		Unidades
	(Entrada)	(Salida)	
Conductividad	185.500,00	19.665,00	μS/cm
DQO	51.900,00	1.492,00	mg O ₂ /kg
pH	5,3	13	pH
Sólidos disueltos	161.116,00	35.245,00	mg/kg m.s.
Cloruros	48.584,00	3.256,00	mg/kg m.s.
Sulfatos	36.013,00	115,9	mg/kg m.s.

Tabla 10. Resultados de la determinación de amoníaco (como amonio), ácido sulfhídrico (como sulfuro) en las muestras estudiadas de las emisiones atmosféricas del proceso

FECHA: 05-08-08			
Concentrado lixiviado	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Palautordera	Amoníaco	(mg/m ³)	266,2
Orís	Amoníaco	(mg/m ³)	4,8
Hostalet de Pierola	Amoníaco	(mg/m ³)	293,5
Palautordera	Sulfhídrico	(mg/m ³)	10,2
Orís	Sulfhídrico	(mg/m ³)	<1,0
Hostalet de Pierola	Sulfhídrico	(mg/m ³)	<1,0

Tabla 11. Resultados obtenidos del análisis de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las muestras estudiadas de las emisiones del proceso

FECHA: 05-08-08			
Parámetro Concentrado de lixiviado	Resultado Palautordera (mg/m ³)	Resultado Orís (mg/m ³)	Resultado Hostalets de Pierola (mg/m ³)
Possible Hidrocarburo alifático	0,005	0,004	0,011
Possible Hidrocarburo alifático	-	-	0,009
Possible etanol	-	-	0,013
2-Propanona (Acetona)	-	-	0,010
2-Propanol (isopropanol)	0,152	0,003	0,013
2-Butanol	0,086	-	-
m+p Xilenos	0,37	0,015	0,014
Possible hidrocarburo alifático C8-C9	0,19	0,009	0,007
o-xileno	0,09	0,005	0,003

La inertización en fase dispersa (ILFD) permite introducir un nuevo modelo de gestión de los efluentes de un vertedero

forma de calor que, por lo general, no se utiliza y se emiten a la atmósfera, emitiendo a su vez el CO₂ presente en este tipo de gas. De igual forma sucede con el calor procedente del agua de enfriamiento de las camisas del motor, que no se aprovecha, por lo general, en los vertederos (Figura 9).

Todo este contenido de energía térmica puede ser utilizado para satisfacer las necesidades energéticas del proceso de inertización en fase dispersa, el cual constituiría, a su vez, una vía de tratamiento de los gases de escapes de los equipos de generación.

Basado en estas posibilidades de uso de la energía, se ha propuesto realizar nuevos ensayos utilizando como fuente calefactora todos los efluentes del proceso de generación de electricidad, con vistas a analizar el proceso y las mejoras ambientales que este puede conllevar.

En este caso entra en juego la reacción [2], dado la reacción ácido base que toma lugar debido a la formación del hidróxido de calcio [1], lo que reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera y mejora, por tanto, la calidad del gas emitido por las máquinas a la atmósfera.

CONCLUSIONES

La inertización en fase dispersa constituye una nueva tecnología para la inertización de los lixiviados de vertederos y aguas compleja, al facilitar la reducción de los costes operativos y posibilitando, a su vez, el uso de fuentes de calor residuales.

La inertización en fase dispersa (ILFD) permite introducir un nuevo modelo de gestión de los efluentes de un vertedero, mejorando las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera.

Bibliografía

- [1] Pérez, D. 2010. "Inertización de Residuos Industriales". Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental Universidad de Castilla-La Mancha
- [2] Reina, J. 2002. "Spray drying for concentrated treatment. Proceeding". 9º Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. Barcelona. Spain,
- [3] Reina, J. 2007. "El secado por aspersión. Una alternativa para el tratamiento de los concentrados procedentes de planta de ósmosis inversa". Retema. 66-70. pag
- [4] Reina, J. 2010. "Modelos tecnológicos en el tratamiento de lixiviados". XI Conferencia Ategrus sobre Vertederos Controlados. Municipalia. Feria de Lleida.
- [5] Reina, J. 2013. "Inertización en fase dispersa (ILFD). Nueva tecnología para el tratamiento de los lixiviados de vertederos". XIV Conferencia Ategrus sobre Vertederos Controlados. Municipalia. Feria de Lleida.
- [6] Reina, J. 2014. "La inertización en fase dispersa (ILFD). Nueva técnica de tratamiento de los lixiviados (I). Tecnologías para la inertización de lixiviados". Industria Química. 62-69. pag.
- [7] Science report Improved definition of leachate term from landfills, Environment Agency, Science Report P1-494/SR1

Nota de agradecimiento:

Al departamento de I+D+i del grupo CESPA GESTIÓN DE RESIDUOS, S.A., por su apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación. 