



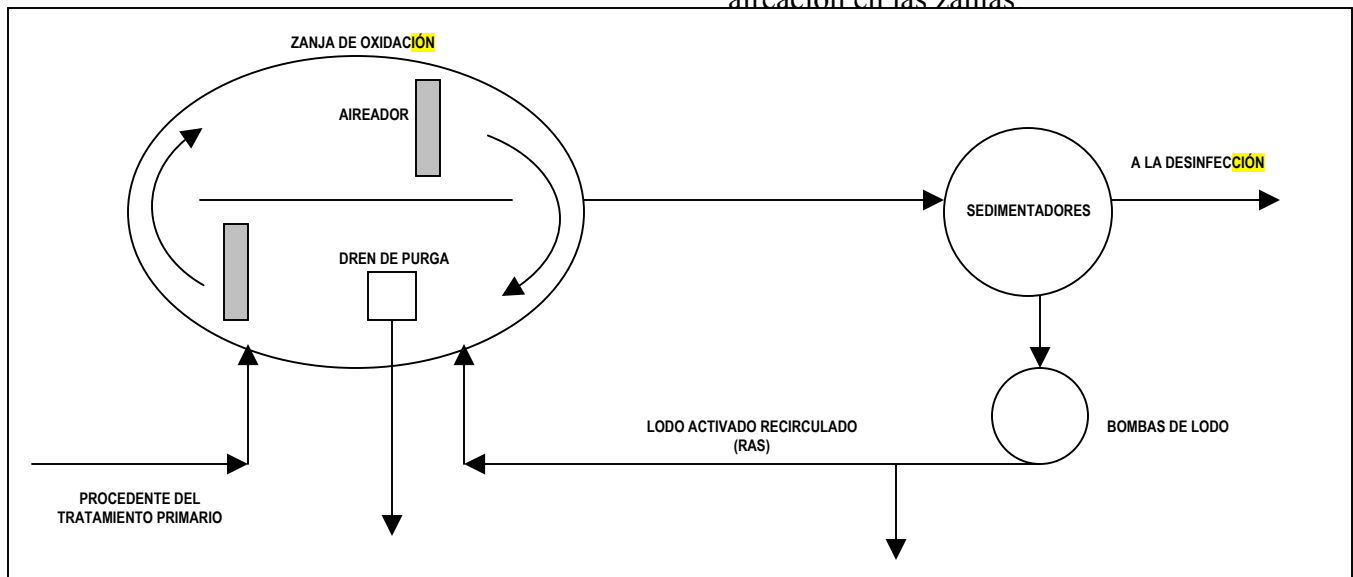
# Folleto informativo de tecnología de aguas residuales

## Zanjas de oxidación

### DESCRIPCIÓN

Una zanja de oxidación es una modificación del sistema biológico de tratamiento con lodos activados que utiliza un tiempo extenso de retención de sólidos (*solids retention times*, SRT) para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables. Las zanjas de oxidación funcionan normalmente como sistemas de mezcla completa, pero pueden ser modificados para simular las condiciones de flujo en pistón (Nota: a medida que las condiciones se aproximan al flujo en pistón se debe utilizar la difusión de aire para proporcionar mezclado

suficiente, pero en ese caso el sistema ya no opera como una zanja de oxidación). Los sistemas de tratamiento típicos con zanjas de oxidación tienen una configuración de anillo, óvalo o tanque en forma de herradura dentro de los cuales se encuentran uno o múltiples canales. Por esta razón las zanjas de oxidación se denominan comúnmente con reactores de tipo carrusel. Aireadores montados en forma vertical u horizontal proporcionan la circulación del agua, la transferencia de oxígeno y la aireación en las zanjas



Fuente: Parsons Engineering Science, Inc., 2000.

**FIGURA 1 SISTEMA TÍPICO DE LODOS ACTIVADOS  
CON ZANJAS DE OXIDACIÓN**

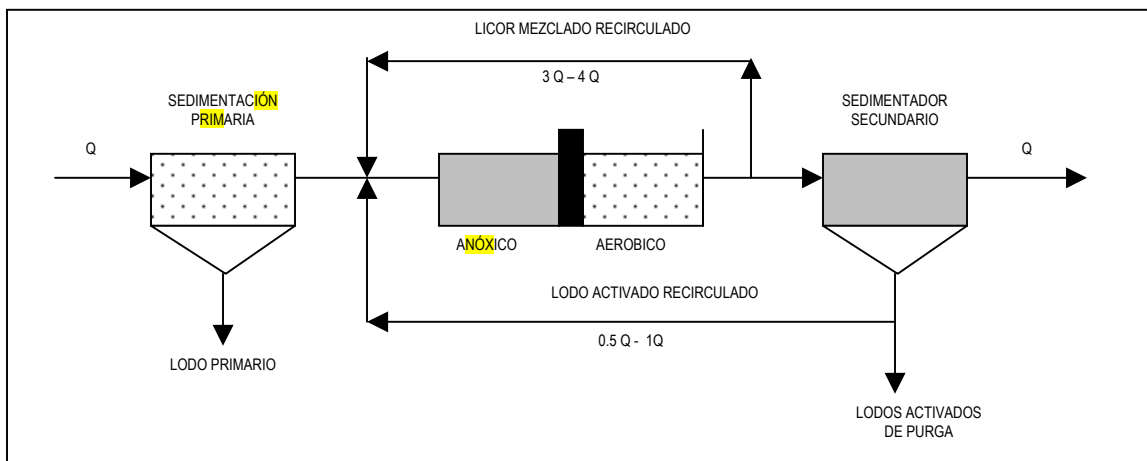
Los tratamientos primarios tales como rejillas y desarenadores normalmente preceden a las zanjadas de oxidación. Algunas veces se incluye sedimentación primaria antes de las zanjadas, pero este no es el diseño típico. Se pueden necesitar filtros terciarios después de la sedimentación dependiendo de los requisitos de descarga del efluente. La desinfección es requerida y puede necesitarse reaireación antes de la descarga final. El agua que fluye por las zanjadas de oxidación es aireada y mezclada con lodo recirculado del sedimentador secundario. La Figura 1 presenta un diagrama típico de flujo de proceso para una planta que utiliza zanjadas de oxidación.

Aireadores de superficie tales como los de rotores de cepillo, de disco, de chorro o de difusor de burbuja fina son usados para recircular el licor mezclado para acelerar el crecimiento microbiano; al mismo tiempo la velocidad resultante asegura el contacto de los microorganismos con el afluente de agua residual. La aireación aumenta drásticamente el nivel de oxígeno disuelto (O.D.), pero este disminuye debido a que la biomasa consume oxígeno a medida que el licor mezclado se desplaza por la zanja. Los sólidos se mantienen en suspensión a medida que el licor mezclado circula alrededor de la zanja. Si los valores de diseño de SRT se seleccionan para la nitrificación, esta se logra en un alto grado. El efluente de las zanjadas de oxidación normalmente

se clarifica en un sedimentador secundario separado. Un tanque anaeróbico puede ser añadido antes de la zanja para mejorar la remoción biológica del fósforo.

Una zanja de oxidación también puede ser operada para lograr desnitrificación parcial. Una de las modificaciones de diseño más comunes para mejorar la remoción de nitrógeno se conoce como el proceso modificado de Ludzack-Ettinger (MLE). En este proceso, según se ilustra en la Figura 2, un tanque anóxico se añade aguas arriba de la zanja en conjunto con licor mezclado de recirculación procedente de la zona aeróbica para obtener altos niveles de desnitrificación. En el tanque aeróbico, las bacterias autotróficas (nitrificadoras) convierten el nitrógeno amoniacal a nitrógeno en forma de nitritos y luego a nitratos. En la zona anóxica, las bacterias heterotróficas convierten el nitrógeno en forma de nitratos a nitrógeno gaseoso, que es liberado a la atmósfera. Parte del licor mezclado del tanque aeróbico es recirculado a la zona anóxica para suministrar un licor mezclado con un alto contenido de nitratos.

Varios fabricantes han desarrollado modificaciones al diseño de las zanjadas de oxidación para la remoción de nutrientes en condiciones de reciclado o en fases entre los estados anóxico y aeróbico. Mientras que los



Fuente: Parsons Engineering Science, Inc., 1999

## **FIGURA 2 PROCESO MODIFICADO DE LUDZACK-ETTINGER**

mecanismos de operación difieren de un fabricante a otro, en general el proceso consiste de dos tanques separados de aireación, el primero anóxico y el segundo aeróbico. Agua residual y lodo activado recirculado son introducidos al primer reactor, el cual opera en condiciones anóxicas. El licor mezclado fluye luego al segundo tanque que opera en condiciones aeróbicas. Los procesos se invierten posteriormente y el segundo reactor comienza a operar en condiciones anóxicas.

consistente cuando las zanjas se diseñan y se operan para la remoción de nitrógeno.

### **APLICABILIDAD**

El proceso de las zanjas de oxidación es una tecnología de eficiencia demostrada para el tratamiento secundario de aguas residuales que es aplicable a cualquier situación en donde sea apropiado el sistema de lodos activados (convencional o de aireación extendida). Las zanjas de oxidación pueden utilizarse en plantas que requieren nitrificación porque los tanques pueden ser dimensionados usando un tiempo de retención de sólidos apropiado para que se produzca nitrificación a la temperatura mínima del licor mezclado. Esta tecnología es muy efectiva en instalaciones pequeñas, comunidades pequeñas e instituciones aisladas porque requieren un área de terreno mayor que las plantas de tratamiento convencionales.

El proceso de oxidación se originó en Holanda con la instalación de la primera planta a gran escala en Voorschoten en 1954. Actualmente hay más de 9,200 instalaciones municipales de zanjas de oxidación en los Estados Unidos (WEF, 1998). La nitrificación requerida para obtener concentraciones de nitrógeno amoniacal menores a 1 mg/L se logran en forma

### **VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

#### **Ventajas**

La principal ventaja de las zanjas de oxidación es su capacidad de lograr los objetivos de remoción de contaminantes con requerimientos operacionales reducidos y a bajos costos de operación y mantenimiento. Algunas de las ventajas específicas de las zanjas de oxidación incluyen:

- Un nivel mayor de confiabilidad y desempeño con relación a otros procesos biológicos debido a que el nivel constante de agua y la descarga continua reducen la tasa de rebose del vertedero y eliminan la sobrecarga periódica de efluente que son comunes en otros procesos biológicos tales como los reactores secuenciales en tandas (SBR).
- El tiempo extendido de retención hidráulica y la mezcla completa minimizan el impacto de cargas contaminantes extremadamente altas o de sobrecargas hidráulicas.
- Produce menos lodos que otros sistemas biológicos debido a la extensa actividad

biológica durante el proceso de lodos activados.

- La eficiencia de operación en cuanto al uso de energía da como resultado la reducción de consumo de electricidad en relación con otros procesos biológicos de tratamiento.

### Desventajas

- Las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente son relativamente altas en comparación con otras modificaciones del proceso de lodos activados.
- Requiere una superficie de terreno más grande que otras opciones de tratamiento con lodos activados. Esto puede ser muy costoso, restringiendo la factibilidad de uso de las zanjas de oxidación en áreas urbanas, suburbanas y otras áreas en donde el costo de la adquisición de terrenos es relativamente alto.

### CRITERIOS DE DISEÑO

#### Construcción

Las zanjas de oxidación se construyen normalmente de concreto reforzado, aunque también se ha usado gunita, asfalto, caucho butílico y arcilla. Normalmente se utilizan materiales impermeables para prevenir la erosión.

#### Parámetros de diseño

El agua residual tamizada entra a la zanja, recibe aireación y circula a una velocidad aproximada de 0.25 a 0.35 m/s (0.8 a 1.2 pies/s) para mantener los sólidos en suspensión (Metcalf & Eddy, 1991). La tasa de reciclaje del lodo activado de recirculación es del 75 al 150 por ciento, y la concentración de los sólidos en suspensión en el licor mezclado va de 1,500 a 5,000 mg/L (0.01 a 0.04 libras/galón) (Metcalf & Eddy, 1991). La eficiencia de transferencia de oxígeno en las zanjas de oxidación es de 2.5 a 3.5 libras por HP-hora (Baker Process, 1999).

Los criterios de diseño son afectados por los parámetros del agua residual afluyente y las características requeridas del efluente, incluyendo la decisión o el requerimiento de lograr nitrificación, desnitrificación y/o remoción biológica del fósforo. Los parámetros específicos de diseño para zanjas de oxidación incluyen:

**Tiempo de retención de sólidos (*solids retention time*, SRT):** El volumen de las zanjas de oxidación es seleccionado con base en el SRT requerido para lograr la calidad deseada de efluente. El SRT se selecciona como una función de los requerimientos de nitrificación y la temperatura mínima del licor mezclado. Los valores de diseño del SRT varían de 4 a 48 o más días. El rango típico de valores del SRT requerido para nitrificación es de 12 a 24 días.

**Tasa de carga de DBO:** Las tasas de carga de DBO varían de menos de 0.16 kg/m<sup>3</sup> (10 lb./1000 ft<sup>3</sup>) por día a más de 0.8 kg/m<sup>3</sup> (50 lb./1000 ft<sup>3</sup>) por día. Una tasa de carga de DBO de 0.24 kg/m<sup>3</sup> por día (15 lb./1000 ft<sup>3</sup>) se utiliza normalmente como el valor de diseño. Sin embargo, la tasa de carga de DBO típicamente no es utilizada para determinar si se produce o no la nitrificación.

**Tiempo hidráulico de retención (*hydraulic retention time*, HRT):** Mientras que este parámetro se utiliza raras veces para diseño de zanjas de oxidación, el HRT dentro de las zanjas tiene un rango de 6 a 30 horas en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

## DESEMPEÑO

Dado que se trata de procesos de tratamiento secundario de efectividad demostrada, los procesos de las zanjas de oxidación son fácilmente adaptables para la nitrificación y desnitrificación. Como parte del estudio "Evaluación de zanjas de oxidación para remoción de nutrientes" (EPA, 1991), se recolectaron datos de 17 plantas con zanjas de oxidación. El caudal promedio de diseño de esas plantas se encontraba entre 378 y 45,425 m<sup>3</sup>/d (0.1 a 12 mgd). El desempeño promedio de esas plantas, resumido en la Tabla 1, señala que las zanjas de oxidación logran una remoción mayor al 90 por ciento del DBO, los sólidos suspendidos y el nitrógeno amoniacal. De la misma manera, Rittmann and Langeland (1985) reportaron una remoción de nitrógeno mayor al 90 por ciento para los procesos de las zanjas de oxidación.

La siguiente sección discute el desempeño de dos instalaciones de zanjas de oxidación recientemente diseñadas.

**TABLA 1 DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE CASA GRANDE, ARIZONA**

	Promedio mensual del afluente (mg/L)	Promedio mensual del efluente (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
DBO	226	8.86	96
SST	207	5.23	97
N total	34.5	1.99	94

Fuente: City of Casa Grande, AZ, 1999

## Casa Grande Water Reclamation Facility

La planta de tratamiento para recuperación de agua de la ciudad de Casa Grande en Arizona inició operaciones en el año 1996. El sistema fue diseñado para tratamiento de 15,142 m<sup>3</sup>/d (4.0 mgd), con el uso de una zona anóxica previa a la zona aeróbica de cada tren de tratamiento con el fin de lograr desnitrificación. Con parámetros de diseño del afluente de 270 mg/L de DBO (0.002 libras/galón), 300 mg/L de SST (0.003 libras/galón) y 45 mg/L de nitrógeno total Kjeldhal ( $3.8 \times 10^{-4}$  libras/galón), la planta ha logrado cumplir en forma consistente con objetivos de descarga del efluente de 10 mg/L de DBO ( $8.34 \times 10^{-5}$  libras/galón), 15 mg/L de SST ( $1.2 \times 10^{-4}$  libras/galón), y 1.0 mg/L de nitrógeno en forma de amoníaco ( $8.34 \times 10^{-6}$  libras/galón) y 5.0 mg/L en forma de nitratos ( $4.2 \times 10^{-5}$  libras/galón). La Tabla 1 resume el desempeño de la planta entre julio de 1997 y julio de 1999.

**TABLA 2 DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE EDGARTOWN, MASSACHUSSETS**

	Promedio mensual del afluente (mg/L)	Promedio mensual del efluente (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
DBO	238	3.14	99
SST	202	5.14	97
N total	27.1	2.33	90

Fuente: Town of Edgartown, 1999

### Planta de tratamiento de aguas residuales de Edgartown, Massachussets

La planta de tratamiento de la ciudad de Edgartown, ubicada en la isla de Martha's Vineyard en Massachusetts, está diseñada para tratamiento de 757 m<sup>3</sup>/d (0.20 mgd) en los meses de invierno y 2,839 m<sup>3</sup>/d (0.75 mgd) en los de verano. Con dos tanques Carrousel® denitIR instalados, la planta ha logrado sus objetivos de desempeño desde el inicio de su operación. La Tabla 2 resume los valores promedio en el afluente y efluente.

### OPERACION Y MANTENIMIENTO

Las zanjas de oxidación requieren un mantenimiento relativamente reducido en comparación con otros procesos de tratamiento secundario. La mayoría de las aplicaciones no requieren compuestos químicos, pero se pueden añadir sales metálicas para mejorar la remoción del fósforo.

### Residuos generados

Se generan lodos primarios si la planta tiene sedimentadores primarios antes de las zanjas de oxidación. La producción de lodos en las zanjas por los procesos de oxidación va de 0.2 a 0.85 kg de SST por cada kg de DBO aplicado (0.2 a 0.85 libras por libra aplicada) (Sherwood Logan and Associates, 1999). La generación típica de lodos es de 0.65 kg de SST por kg de DBO aplicado (0.65 libras por libra aplicada). Estos valores son menores que los de instalaciones convencionales de lodos activados debido al tiempo extendido de retención de los sólidos.

### Parámetros operativos

El coeficiente de transferencia de oxígeno para la remoción de DBO varía con la temperatura y el SRT. Los requerimientos típicos de oxígeno van de 1.1 a 1.5 kg de O<sub>2</sub> por kg de DBO removido (1.1 a 1.5 libras por libra removida), y 4.57 kg de O<sub>2</sub> por kg de nitrógeno total Kjeldhal oxidado (4.57 libras por libra oxidada) (EPA, 1991; Baker Process, 1999). La eficiencia de transferencia de oxígeno es de 2.5 a 3.5 libras por HP-hora (Baker Process, 1999).

### COSTOS

El volumen de los tanques y el área construida de las plantas con zanjas de oxidación son tradicionalmente mucho mayores que los de otros procesos convencionales de tratamiento secundario. La extensa área construida tiene como resultado mayores costos de inversión de capital, especialmente en áreas urbanas en

donde el terreno disponible es muy costoso. Los reactores verticales, en los cuales el flujo avanza por el reactor hacia el fondo del tanque, son generalmente más costos que los reactores horizontales tradicionales. Sin embargo, debido a que estos requieren un menor terreno que los reactores horizontales más tradicionales, el uso de reactores verticales puede producir una reducción significativa del costo total de inversión en donde el precio del terreno sea alto.

Los costos de las plantas con zanjas de oxidación varían de acuerdo con la capacidad de tratamiento, las consideraciones de diseño por los límites del efluente, y otros factores específicos del sitio. Los costos de inversión para construcción de 10 plantas que fueron evaluadas por la EPA en 1991 tuvieron un rango de costos de \$0.52 a \$3.17 por litro-día de agua tratada (\$1.96 a \$12.00 por gpd). Estos costos fueron actualizados usando un índice de costo de construcción de ENR (*Engineering News Records*) de 5916.

Información más reciente obtenida de los fabricantes para instalaciones con capacidad de tratamiento entre 3,785 a 25,740 m<sup>3</sup>/d (1.0 a 6.8 mgd) señala que los costos van de \$0.66 a \$1.10 por litro-día (\$2.50 a \$4.00 por gpd). Por ejemplo, la planta de recuperación de agua de Blue Heron (*Blue Heron Water Reclamation Facility*) en Titusville, Florida --una instalación con zanjas de oxidación y manejo de lodos con una capacidad de 15,142 m<sup>3</sup>/d (4.0 mgd) que inició operaciones en 1996-- fue construida a un costo de \$0.80 por litro-día (\$3.00 por gpd) (Kruger, 1996). La instalación incluye procesos de fases múltiples para la remoción biológica de nutrientes y un sistema sofisticado de adquisición de datos y supervisión de control (*Supervisory Control and Data Acquisition System*, SCADA).

Las zanjas de oxidación tienen costos de operación y mantenimiento significativamente menores que otros procesos de tratamiento secundario. Con relación a otras tecnologías de

tratamiento las necesidades de energía son bajas, el control por parte de los operadores es mínimo, y normalmente adición de compuestos químicos no es requerida. Por ejemplo, la planta de recuperación de agua residual de Tar River (*Tar River Wastewater Reclamation Facility*) de Louisburg en North Carolina reportó un ahorro de energía del 40 por ciento en comparación con plantas convencionales de lodos activados (Ellington, 1999). El uso de las zanjas también eliminó costos de compuestos químicos y permitió que el personal estuviera disponible para otras tareas en la planta (Ellington, 1999).

## REFERENCIAS

### Otros Folletos Informativos relacionados:

Otros Folletos Informativos de la U.S. EPA se pueden obtener en el siguiente sitio de Internet: <http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm>

1. Baker Process, 1999. Personal communication with Betty-Ann Custis, Senior Process Engineer, Memorandum to Parsons Engineering Science, Inc.
2. City of Casa Grande, Arizona, 1999. Facsimile from Jerry Anglin to Parsons Engineering Science, Inc.
3. Ettlilch, William F., March 1978. *A Comparison of Oxidation Ditch Plants to Competing Processes for Secondary and Advanced Treatment of Municipal Wastes.*

4. Ellington, Jimmy, 1999. Plant Superintendent, Tar River Water Reclamation Facility. Personal conversation with Parsons Engineering Science, Inc. Ohio, EPA-600/2-78-051. Prepared by HydroQual, Inc. *Preliminary Draft Evaluation of Oxidation Ditches for Nutrient Removal.*
5. Kruger, Inc. 1996. *A2O & ATAD Processes provide Effective Wastewater, Biosolids Treatment for Titusville, Fla.* Fluentlines, 1 (2).
6. Metcalf and Eddy, Inc., 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.* 3<sup>rd</sup> edition. New York: McGraw Hill.
7. Sherwood Logan and Associates, Inc., 1999. Personal communication with Robert Fairweather. Facsimile transmitted to Parsons Engineering Science, Inc.
8. Town of Edgartown, Massachusetts, 1999. Facsimile from Mike Eldridge to Parsons Engineering Science, Inc.
9. U.S. Environmental Protection Agency, February 1980. *Innovative and Alternative Technology Assessment Manual.* Office of Water Program Operations, Washington, D.C. and Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
10. U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory, September 1991. Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
11. Water Environment Federation, 1998. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 4<sup>th</sup> edition, Manual of Practice No. 8: Vol 2, Water Environment Federation: Alexandria, Virginia.

### INFORMACION ADICIONAL

City of Findlay, Ohio  
 Jim Paul, Supervisor - Water Pollution Control  
 1201 South River Road  
 Findlay, OH 45840

Edgartown Wastewater Department  
 Michael Eldredge, Chief Operator  
 P.O. Box 1068  
 Edgartown, MA 02539

Casa Grande WWTP  
 Jerry Anglin, Chief Operator  
 1194 West Koartsen  
 Casa Grande, AZ 85222

Tar River Wastewater Reclamation Facility  
 Jimmy Ellington, Superintendent  
 110 W. Nash St.  
 Louisburg, NC 27549

National Small Flows Clearing House  
 at West Virginia University  
 P.O. Box 6064  
 Morgantown, WV 26506

La mención de marcas o de productos comerciales no significa que la Agencia de



Protección Ambiental de los Estados Unidos  
apruebe o recomiende su uso.

Municipal Technology Branch  
U.S. EPA  
Mail Code 4204  
1200 Pennsylvania Ave., NW  
Washington, D.C., 20460



Para mayor información, contactarse con: