

FT-PRE-004

FICHAS TÉCNICAS
DE ETAPAS DE PROCESO DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA INDUSTRIA TEXTIL

NEUTRALIZACIÓN DE PH

SERIE: PRETRATAMIENTOS

TÍTULO	NEUTRALIZACIÓN DE PH (FT-PRET-004)
Fecha de elaboración	Septiembre de 2014
Revisión vigente	



INDITEX



NEUTRALIZACIÓN DE PH (FT-PRE-004)

Fecha	Septiembre 2014		
Autores	Pablo Ures Rodríguez Alfredo Jácome Burgos Joaquín Suárez López		
Revisado			
Modificaciones	Fecha	Modificado por:	Objeto de la modificación:

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. FUNDAMENTOS SOBRE NEUTRALIZACIÓN QUÍMICA
 - 2.1. pH
 - 2.2. Acidez y alcalinidad
 - 2.3. Capacidad tampón
 - 2.4. Reactivos comúnmente empleados
3. DISEÑO Y OPERACIÓN
 - 3.1. Criterios de selección de un sistema de neutralización
 - 3.2. Diseño del sistema en *batch* o en continuo
 - 3.3. Parámetros de diseño
4. CONTROL DE PROCESO
5. ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL
 - 5.1. En preparación de aguas de proceso
 - 5.2. Pretratamiento de efluentes de las fábricas
 - 5.3. Como parte del tratamiento de la ETP
6. PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL
7. PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- ANEXO 1.- REACTIVOS MÁS HABITUALES EN EL PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN
ANEXO 2.- DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO
-

1. INTRODUCCIÓN

Muchos residuos industriales contienen materiales ácidos o alcalinos que requieren neutralización previa a su vertido al medio receptor o al tratamiento químico o biológico (Eckenfelder, 2000)

La neutralización **es el proceso de ajuste de pH del agua por medio de la adición de un ácido o una base**, dependiendo del pH objetivo y de otros requerimientos de proceso. La mayor parte de los efluentes pueden ser neutralizados a un pH de 6 a 9 de forma previa a su vertido.

En tratamiento químico industrial, se requiere habitualmente la neutralización de la alcalinidad o acidez en exceso. La determinación de las características del agua a neutralizar se logra normalmente en experimentos a escala de laboratorio por medio de la preparación de **curvas de valoración**, que muestran la cantidad de material alcalino o ácido necesario para ajustar el pH en el agua objetivo (Goel, 2005).

Hay tres componentes críticos en cualquier sistema de control de pH: **intensidad de mezcla o tiempo de contacto en el reactor, el tiempo de respuesta del sistema de control y la capacidad del sistema de dosificación para alcanzar los requerimientos del proceso**. Si alguno de esos componentes no está apropiadamente diseñado, se pueden prever problemas significativos en el comportamiento del sistema.

Los métodos utilizados para el ajuste de pH se seleccionan en base al coste total porque los costes materiales y las necesidades de equipamiento varían ampliamente en función de los reactivos. El volumen, tipo y cantidad de ácido o álcali a ser neutralizado o parcialmente eliminado son también variables que influyen la selección de un agente químico (IWA, 2003)

2. FUNDAMENTOS SOBRE NEUTRALIZACIÓN QUÍMICA

2.1. pH

Es el indicador de referencia para la neutralización. Se define como el logaritmo negativo de la actividad del ion H^+ en disolución, siendo aproximada la actividad, en aguas de fuerza iónica baja por la concentración (Goel, Flora and Chen, 2005).

$$pH = -\log[H^+]$$

El proceso de neutralización no se halla limitado a llevar el pH a 7; no varía aunque el ajuste de pH sea diferente dependiendo del proceso hacia el que se dirija el agua. Algunos procesos químicos importantes, en los que el pH juega un papel significativo y se requiere normalmente del uso de la neutralización son la adsorción de metales, bioadsorción, precipitación química, suavizado del agua, coagulación u oxidación.

2.2. Acidez y alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos, mientras que la acidez es la capacidad el agua de neutralizar bases. La cantidad de ácido o base a utilizar en el proceso de neutralización depende de la cantidad respectiva de acidez y alcalinidad.

2.3. Capacidad tampón

La palabra *buffer* o "tampón" significa resistente al cambio. En química medioambiental, los *buffers* son siempre definidos en el contexto del pH. Los buffers de pH son aquellos que resisten cambios en la solución de pH cuando se añaden un ácido o una base en la disolución. Son muy importantes en procesos de neutralización química. **Los buffers se componen normalmente de una mezcla de ácido débil y su sal conjugada o bases débiles con su ácido conjugado**.

En aguas naturales y residuales, la capacidad tamponante aumenta debido a la presencia de fosfatos, carbonatos, y otros ácidos orgánicos débiles. Si la capacidad tamponante del agua o del agua residual a ser neutralizada no se tiene en cuenta, la cantidad actual de reactivo neutralizante requerida puede variar ampliamente y causa problemas operacionales.

2.4. Reactivos comúnmente empleados

Las características de los reactivos químicos más habituales en el proceso de neutralización se incluyen en el **Anexo 1**.

3. DISEÑO Y OPERACIÓN

Un diseño ingenieril debe estar basado en varios factores como parámetros óptimos de proceso, tests a escala de laboratorio y, finalmente, análisis de costes.

3.1. Criterios de selección de un sistema de neutralización

(Eckenfelder, 2000)

Existen un cierto número de agentes neutralizantes disponibles. Los criterios de selección deben considerar:

- Tipo de agente y disponibilidad
- Reactividad
- Generación de fangos y eliminación de los mismos
- Seguridad y facilidad de manipulación y almacenamiento
- Coste total incluyendo los sistemas de alimentación y de almacenamiento
- Reacciones cruzadas, incluyendo sales disueltas, generación de incrustaciones y desprendimiento de calor
- El efecto de sobredosis de reactivo

Todos los procesos de neutralización, independientemente del tipo de agua residual, comparten una serie de elementos. Un diseño adecuado debería considerar:

- Características del agua afluyente
- Tipo de agente neutralizante empleado
- Disponibilidad de suelo
- Ensayos a escala de laboratorio

El diseño completo incluye el diseño de los siguientes elementos:

- Tanque de neutralización
- Requerimientos del agente neutralizante basado en estudios teóricos y de tratabilidad
- Almacenamiento del agente neutralizante (p.ej. silo, silo con válvula lateral, colector de reactivo en polvo, mezclador de reactivo, etc.)
- Sistema de dosificación del reactivo
- Diseño del agitador

Los aspectos prácticos como la disponibilidad de agente neutralizante de un proveedor próximo y por lo tanto unos costes de transporte reducidos, juegan un papel importante en el proceso de diseño (Goel, 2005).

3.2. Diseño del sistema en *batch* o en continuo

El proceso de neutralización se puede realizar tanto en *batch* como en modo continuo.

En el modo en *batch*, el efluente se retiene hasta que sus parámetros de calidad cumplen las especificaciones previas a su vertido o a continuar el proceso. Varios procesos pueden llevarse a cabo simultáneamente cuando el proceso se realiza en *batch*. Se recomiendan estos procesos cuando se trata de plantas con tratamiento a pequeña escala con poca carga contaminante. **Para volúmenes grandes, el proceso típicamente empleado es la neutralización en continuo** (Goel, 2005)

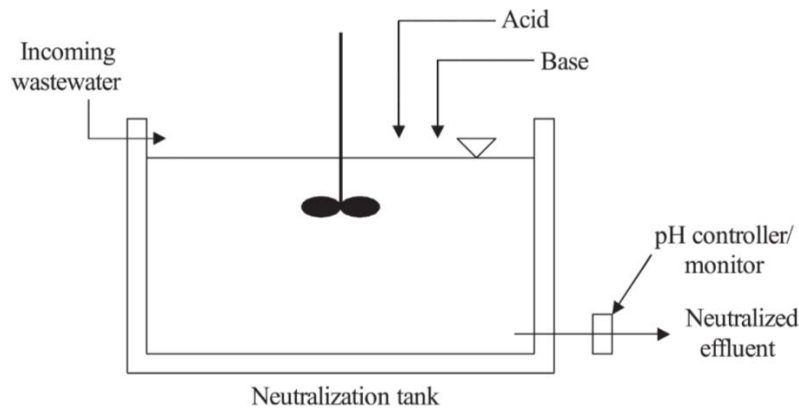


Figura 1 Tanque de neutralización operado en continuo (Goel, 2005).

En general los sistemas de **flujo en continuo** se emplean cuando:

- El afluente es relativamente constante y no se esperan variaciones súbitas muy marcadas
- Las características del afluente son esencialmente constantes
- La química del afluente no es crítica. Por ejemplo, el proceso forma parte de un sistema de neutralización multietapa.

Los sistemas de **neutralización en batch** se emplean cuando:

- Hay fluctuaciones en las propiedades del afluente (p.ej. flujo y pH).
- El agua residual del afluente contiene ácidos o bases concentrados.
- La calidad del efluente tiene límites de vertido muy exigentes

Se suelen emplear sistemas en *batch* para flujos inferiores a 380 m³/d. Caudales de tratamiento superiores suelen emplear sistemas de tratamiento en continuo con control de pH automatizado. En los emplazamientos en los que se emplea aire como mezclador, el mínimo caudal de aire requerido es 0.3-0.9 m³/min.m² a 2.7 m de profundidad. Si se emplean mezcladores mecánicos el criterio de energía de mezcla es de 0.04-0.08 kW/m³ (Eckenfelder, 2000).

Normalmente se diseña para alcanzar un determinado pH, sin embargo, en muchos casos resulta suficiente con que pH del efluente esté en un rango. Esto genera un margen de error en el entorno del pH para el que se diseña (Goel, 2005).

3.3. Parámetros de diseño

En la Tabla 1 se resumen los parámetros de diseño fundamentales en el dimensionamiento de un sistema de regulación de pH

Tabla 1 Parámetros de diseño de un sistema de neutralización (Eckenfelder, 2000)

Tanque de almacenamiento de químicos	Líquido – Empleo de un depósito de almacenamiento Sólido – Depósito de dilución de reactivo
Tanque de reacción Tamaño (forma) Tiempo de retención hidráulico Afluente Efluente	Cúbico o cilíndrico con diámetro o anchura igual a la profundidad 5 a 30 min (30 min en caso de cal, los demás inferiores) Entrada en la parte superior Salida por la parte inferior
Agitación Hélice De flujo axial (turbinas) Velocidad periférica	En tanques inferiores a 3.8 m ³ En tanques superiores a 3.8 m ³ Tanques inferiores a 3.8 m ³ : 0.76 m/s Tanques superiores a 3.8 m ³ : 0.36 m/s
Sensor de pH	Preferiblemente sensor sumergido mejor que el de flujo circulante
Bomba de dosificación o válvula de control	La bomba presenta un rango de dosificación entre 1 y 10. Las válvulas suelen presentar rangos mayores

4. CONTROL DE PROCESO

El control automático de pH en los flujos de agua residual industrial es uno de los más problemáticos por las siguientes razones:

1. La relación entre pH y la concentración o el caudal de reactivo es marcadamente no-lineal para la neutralización con ácidos o bases fuertes, particularmente en las zonas próximas a pH neutro (7.0). La naturaleza de una curva de valoración clásica favorece las instalaciones multietapa de cara a asegurar un control ajustado del pH. **Figura 3**
2. El pH afluente puede variar a una velocidad tan marcada como 1 unidad de pH/minuto.
3. El caudal de agua residual industrial puede doblarse en cuestión de minutos.
4. Una cantidad relativamente pequeña de reactivo debe ser mezclada de forma homogénea con una gran cantidad de volumen líquido en un periodo corto de tiempo.
5. Los cambios en la capacidad tamponante (p. ej. Alcalinidad o acidez) cambian los requerimientos de la neutralización.

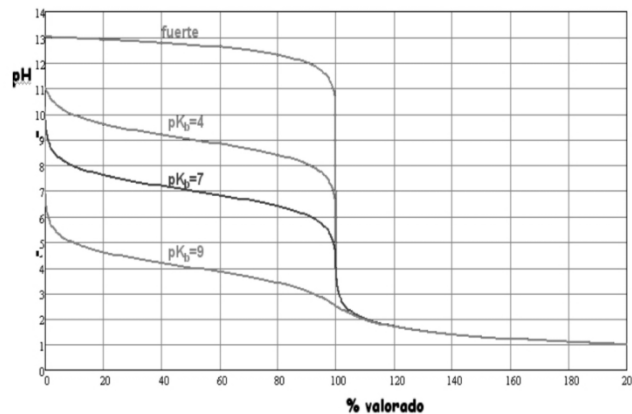


Figura 2 Ejemplo de curva de valoración de distintos medios básicos con un ácido fuerte (Harris, 2007).

Si el pH del agua afluente está normalmente **2 unidades de pH por encima o por debajo del nivel objetivo**, el sistema se suele diseñar como un proceso por etapas (Figura 4). En el tanque de reacción 1, el pH puede ser elevado de 3 a 4 p. ej. El tanque de reacción 2 eleva el pH a 5 o 6 o algún otro punto final deseado). Si el flujo es susceptible de poseer vertidos, un tercer tanque de reacción sería deseable para realizar una neutralización completa.

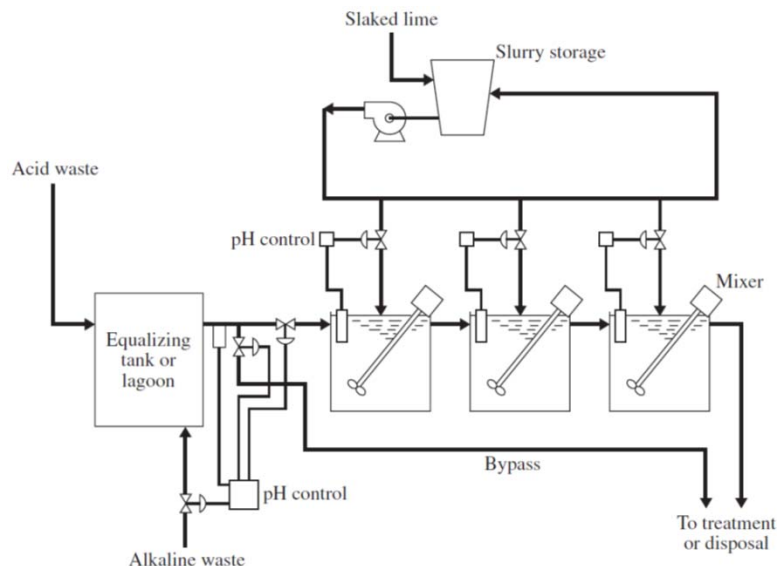


Figura 3 Sistema de neutralización multietapa (Eckenfelder, 2000).

5. ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Multitud de procesos de tratamiento de agua de proceso y agua residual industrial requieren de la regulación de pH como parte determinante del mismo. A continuación se resumen algunas de las posibles ubicaciones de un sistema de regulación de pH en industria textil.

5.1. En preparación de aguas de proceso

Se puede requerir la neutralización de aguas alcalinas **después del proceso de suavizado** del agua (eliminación de la dureza). También de forma posterior al proceso de precipitación de metales (en medio básico).

Los procesos de **adsorción de metales en carbón activo y de biosorción** son especialmente dependientes del pH en valores bajos del mismo. Si se pretende emplear este proceso de forma eficiente se recomienda el pretratamiento de neutralización de aguas ácidas para mantener el pH por encima de 6.

5.2. Pretratamiento de efluentes de las fábricas

Generalmente, en la industria de **tintura** los efluentes son altamente alcalinos y requieren la adición de ácido. Sin embargo, se deben obtener instalaciones para poder añadir tanto ácido como base, pues algunos procesos de tintura pueden dar lugar a efluentes ácidos y la adición de álcali puede ser necesaria (Khan, 2006).

Una ubicación habitual de los tratamientos de regulación de pH es el depósito de homogeneización de la ETP, así como a la salida del mismo.

En la Tabla 2, figuran valores de alcalinidad y rangos de pH en afluente de ETP textil en distintas fuentes.

Tabla 2 Características de alcalinidad y pH en aguas residuales textiles (Hussein, 2013; Paul, 2012; Babu, 2007)

Parámetro	Mínimo	Máximo
pH	5.5	10.5
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	17	800

5.3. Como parte del tratamiento de la ETP

En plantas de tratamiento de efluentes con proceso físico-químico, se plantea que la adición de floculantes hace decrecer la alcalinidad. Por ello, se suele añadir cal para prevenir un decrecimiento anormal en el valor de pH, que afectaría a la floculación y que ayuda a su vez a la formación de hidróxidos metálicos, que precipitan en esta etapa. Estos procesos requerirán, de forma posterior al clarificador primario de una neutralización de pH. (Meenakshipriya, 2008)

En algunos casos, el sistema de neutralización se diseña para elevar el pH lo suficiente como para proveer la alcalinidad necesaria **para compensar un proceso producido aguas abajo**, como por ejemplo nitrificación biológica (Goel, 2005).

Para el **tratamiento biológico**, el pH en el sistema biológico debe ser mantenido generalmente entre 6.5-8.5 para asegurar una actividad biológica óptima. El proceso biológico provee por sí mismo una cierta neutralización y capacidad tamponante como resultado de la producción de CO₂, que reacciona con materiales cáusticos y ácidos. El grado de neutralización requerido depende, por lo tanto, en el ratio de DBO eliminada y la acidez o alcalinidad presente en el agua residual (Eckenfelder, 2000).

6. PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

El pH del agua posterior al tanque de homogeneización al mismo tiempo que el agua posterior a coagulación, floculación y al tratamiento biológico y al agua de vertido, debe ser monitorizada de forma regular. Para una correcta monitorización, un pHímetro proporciona una precisión mayor a la del papel de medida de pH,

especialmente cuando el efluente está altamente coloreado, casos en los cuales el papel de pH no debería ser usado.

Un controlador automático de pH es recomendable de tal forma que el pH se pueda medir y ajustar en continuo. Si el medidor automático no se halla en el emplazamiento a controlar, se debería muestrear el agua de forma regular (al menos una vez cada 2 horas) para asegurar el funcionamiento adecuado de la ETP. Idealmente, el disponer de un sistema automático puede ser considerado como una mejora significativa del funcionamiento de la planta y probará su eficiencia económica.

Se deben poseer pHímetros y electrodos en stock para poder reemplazar aquellos que estén estropeados sin dilación, pues el control del pH es crucial en un buen funcionamiento de ETP. Los electrodos de pH empleados deben ser seleccionados cuidadosamente y poseer garantía del proveedor como adecuado para una ETP industrial (Khan, 2006).

7. PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

Atención a la seguridad: En la práctica de explotación se ha de tener especial cuidado con la corrosión de los equipos y el derramamiento de los reactivos de tratamiento. Se deben tomar las precauciones adecuadas para proteger a los trabajadores durante el manejo de NaOH, HCl u otros productos químicos empleados para corregir el pH, que son fuertemente corrosivos y potencialmente peligrosos. HCl es corrosivo para el hormigón y el acero, por lo que se deben aplicar las precauciones necesarias para no verterlo en la fábrica (Khan, 2006).

BIBLIOGRAFÍA

IWA & WEF (2003) *Wastewater treatment plant design*. Co-published IWA and WEF.

Babu B. R.; Parande A. K.; Raghu S. and Kumar T. P. (2007) *Cotton textile processing: Waste generation and Effluent Treatment*. Journal of Cotton Science 11:141-153 (2007)

Eckenfelder, W. (2000) *Industrial water pollution control*. USA: McGraw-Hill Higher Education.

Fox, D. and Pickle, K. (1996) pH Neutralization and Total Suspended Solids Removal at a Textile Dyeing and Finishing Facility. 76th Annual Conference of the North Carolina. Pinehurst, NC: AWWA Publications

Harris, D.C. (2007) *Análisis Químico Cuantitativo*. Barcelona (Spain): Ed Reverté

Hussein F. H. (2013) *Chemical Properties of Treated Textile Dyeing Wastewater*. Asian Journal of Chemistry Vol 25 No.16 (2013) 9393-9400

K. Goel, R., R.V. Flora, J., and Chen, J.P. (2005) *Flow equalization and Neutralization*. From Wang, L. K., Hung, Y.-T and Shamma, N.k. (Ed.) *Handbook of Environmental Engineering, Volume 3: Physicochemical Treatment Processes*. Totowa, New Jersey: Humana Press

M.S. Khan, J. Knapp, A. Clemett, M. Chadwick, M. Mahmood (2006) Managing and Monitoring Effluent treatment plants, Dhaka. From "Managing Industrial Pollution from Small- and Medium-Scale Industries in Bangladesh" Project. Recuperado de <http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/Water/R8161-ETP.pdf> (last access: Septiembre 2014)

Meenakshipriya B. (2008) Study of pH System in Common effluent treatment plant. CCSE Modern Applied Science Vol. 2, No. 4 jul (2008)

Recuperado de: <http://ccsenet.org/journal/index.php/mas/article/viewFile/2447/2297> (last access: Nov. 2014)

Okey, R. W. et al. : Proc. 32nd Purdue Industrial Waste Conf., Ann Arbor Science Pub., 1977

Paul S. A. , Chavan S. K. and Khambe S. D. (2012) *Studies on characterization of textile industrial waste water in Solapur city*. Int. J. Chem. Sci.: 10(2), 2012, 635-642

ANEXO 1.- REACTIVOS MÁS HABITUALES EN EL PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN (Eckenfelder, 2000)

Resumen de propiedades para reactivos habituales de neutralización

Propiedad	Carbonato de calcio (CaCO ₃)	Hidróxido de Calcio (Ca(OH) ₂)	Óxido de Calcio (CaO)	Ácido Hidroclorhídrico (HCl)	Carbonato de Sodio (Na ₂ CO ₃)	Hidróxido de Sodio (NaOH)	Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)
Forma disponible	Polvo, triturado (varios tamaños)	Polvo, grado	masa, grano, molido	líquido	Polvo	Lentejas, escamas, líquido	Líquido
Transporte	saco, barril, a granel	Saco (50 lb), a granel	saco (80lb), barril, a granel	barril, tambor, a granel	Saco (100 lb), a granel	Tambor (735, 100, 450 lb)	garrafa, tambor (825 lb), a granel
Densidad bruta, lb/ft ³	Polvo 48 a 71; triturado 70 a 100	25 a 50	40 a 70	27,9%, 0,53 lb/gal; 31,45%, 9.65 lb/gal	34 a 62	Varios	106, 114
Riqueza comercial	---	Normal 13% Ca(OH) ₂	75 a 99%, normal 90% CaO	27.9%, 31.45%, 35.2%	99.2%	98%	60° Be, 77.7%, 66° Be, 93.2%,
Solubilidad en agua (lb/gal)	Casi insoluble	Casi insoluble	Casi insoluble	Completa	0.58 32°F, 1.04 50°F, 1.79 68°F, 3.33 86°F	3.5 32°F, 4.3 50°F, 9.1 68°F, 9.2 86°F	Completa
Forma de alimentación	lechada seca en lecho fijo	seco o lechada	seco o lechada [en forma de Ca(OH) ₂]	Líquido	Seco, líquido	Disolución	Líquido
Tipo de alimentación	Bomba volumétrica	Bomba dosificadora volumétrica	Seco - b. volumétrica Lechada - bomba centrífuga	Bomba dosificadora	Alimentador volumétrico, bomba dosificadora	Bomba dosificadora	Bomba dosificadora
Equipamiento accesorio	Tanque de lechada	Tanque de lechada	Tanque de lechada o mezclador	Tanque de dilución	Tanque de disolución	Tanque de solución	---
Materiales adecuados para el manejo	hierro, acero	hierro, acero, plástico, manguera de goma	hierro, acero, plástico, manguera de goma	Hastelloy A, materiales plásticos y de goma específicos	hierro, acero	hierro, acero	---
Comentarios	---	---	Sumin. medios de limpieza de conducc.	---	Puede cuajar	La disolución del sólido genera mucho calor	Sum. Medios de limpieza y neut. de vertidos

ANEJO 2

DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO



Figura 1. Sistema de regulación de pH (ETAP-Lugo)



Figura 2. Canal de regulación de pH en cabecera (ETAP-Lugo)



Figura 3. Sistema de corrección de pH en una ETP textil (Zhejiang Lifeng. 100 m³/h)



Figura 3. Sistema de adición de reactivos para regulación de pH en un tratamiento físico-químico (Arteixo. España)