



## Filtro de membrana tubular (TMF™) POREX® aplicado en un Sistema de tratamiento de agua residual de cobre/níquel para un parque industrial de galvanización



### Resumen Introducción

El galvanizado es un proceso ampliamente utilizado en muchas industrias y es también uno de los más fragmentados de las industrias. Debido a su desarrollo histórico, la industria del electrogalvanizado en China tiene varias características comunes: es pequeño en escala, de bajo grado de especialización, con líneas de producción ineficientes y rentabilidad económica marginal. Además, muchas de estas instalaciones suelen ubicarse cerca de zonas residenciales. Esto puede crear problemas ambientales significativos puesto que el electrogalvanizado puede producir desechos tóxicos sólidos y líquidos y contaminación del aire en las proximidades de la planta.

En China, la mayor parte de las fábricas de electrogalvanizado son de pequeña escala, y para algunas instalaciones de fabricación, el galvanizado es solo un taller auxiliar unido a una gran fábrica. Estas características suelen causar muchos inconvenientes para este tipo de empresas, tales como: alta inversión monetaria, gran cantidad de efluentes de aguas residuales, recolección de aguas residuales difícil, ciclos repetidos en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), además de costos de operación y construcción para la PTAR. En China, muchos gobiernos locales han promovido recientemente de forma activa una política de “parque industrial” para las fábricas de electrogalvanizado, concentrando los talleres de galvanizado en un solo lugar. Esto es beneficioso para el control de la



## Resumen Introducción (Continuación)

contaminación. El agua residual puede recogerse por separado y enviarse a las instalaciones de tratamiento específicas diseñadas, construidas y operadas por compañías profesionales de ingeniería de protección ambiental.

Esto permite que las instalaciones de galvanizado en el parque aprovechen la infraestructura central de tratamiento y solo paguen por la calidad y la cantidad de aguas residuales generadas desde su taller específico.

Esto permite que las instalaciones de galvanizado en el parque aprovechen la infraestructura central de tratamiento y solo paguen por la calidad y la cantidad de aguas residuales generadas desde su taller específico. Esta política reduce la inversión de las fábricas de galvanizado tanto en el costo de construcción como en el costo de operación en curso.

También hace más fácil garantizar que la calidad del efluente cumpla con los límites de descarga locales. Cada vez son más las experiencias exitosas que respaldan el concepto de parque industrial como una mejora significativa para el desarrollo de la industria de galvanizado en China.

Este documento presenta un exitoso sistema de tratamiento de aguas residuales de cobre/níquel ubicado en el Parque industrial de galvanizado de Houjing, ciudad de Wenzhou, provincia de Zhejiang. Con la aplicación del filtro de membrana tubular (Tubular Membrane Filter, TMF™) de POREX® los módulos para la separación de sólido/líquido, la calidad del efluente es mejor, (en o por debajo de los estándares requeridos), en comparación con un sistema clarificador convencional o tanque de flotación de aire.

## Antecedentes

En 2006, el Parque industrial de galvanizado de Houjing se construyó con una superficie de 200.000 metros cuadrados, y actualmente cuenta con 58 edificios industriales y 95 empresas de galvanizado estándar. El parque cuenta con una PTAR centralizada y una instalación de calefacción. La PTAR también fue construida en 2006 con una capacidad de 12.000 m<sup>3</sup>/día. En mayo de 2009, esta PTAR pasó la revisión periódica y obtuvo la autorización de la agencia local de protección medioambiental.

Debido a que es uno de los primeros parques industriales de galvanizado construidos, se requirieron algunas modificaciones para cumplir con los requisitos de la normativa vigente. Para completar la reducción de la contaminación, fue necesario recolectar y tratar las aguas residuales de cromo y níquel por separado. Otra dificultad fue la falta de espacio adicional para agregar un tanque de emergencia más amplio, (2.500 m<sup>3</sup>); por lo tanto, se diseñó un sistema de TMF de POREX como una unidad clave para reducir el espacio requerido y acortar los procesos totales para producir una calidad de agua efluente fiable.

## Información de aguas residuales

Primero se recogen las aguas residuales de cobre y níquel de todas las fábricas en el parque industrial. La capacidad está diseñada para 1.000 m<sup>3</sup>/día, o aguas residuales de influente de 65 m<sup>3</sup>/h que contienen 100 mg/l



$\text{Cu}^{2+}$  y  $300 \text{ mg/l Ni}^{2+}$ , se encuentra en un pH entre 2,5 y 4,0. Debido a que el sistema de recolección de aguas residuales no es perfecto, también desembocan en esta corriente aguas residuales de cianógeno y cromo (incluyendo  $\text{Cr}^{6+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$ ) lo cual crea dificultades para la etapa de diseño de reacción de pretratamiento químico.

### Información de aguas residuales (Continuación)

La tabla a continuación muestra la verdadera calidad de las aguas residuales analizada durante el período de puesta en marcha.

Ítem	pH	Cu (mg/l) total	Ni (mg/l) total	CN (mg/l) total	Cr (mg/l) total	Cromo hexavalente (mg/l)
Valor	2-3	25-40	238-300	1-25	100-150	30-140

Se requieren efluentes para cumplir con los siguientes valores límite, basados en la Norma de emisión de contaminantes de electrogalvanizado (GB21900-2008).

Ítem	pH	Cu (mg/l) total	Ni (mg/l) total	CN (mg/l) total	Cr (mg/l) total	Cromo hexavalente (mg/l)
Valor	6-9	0,5	0,5	0,3	1,0	0,2

### Características y desventajas del TMF

Una de las aplicaciones del TMF de POREX es como reemplazo de los procesos de separación convencional de sólidos/líquidos, es decir, de un clarificador. Hay varias ventajas del TMF de POREX en comparación con un proceso clarificador tradicional, entre las que se incluyen:

1. Mejor calidad de agua. La calidad del agua de filtrado del TMF de POREX es de mejor calidad que el agua tratada por el clarificador. Debido a la presencia de la membrana de filtración, todas las partículas más grandes que el tamaño del poro nominal serán rechazadas. La calidad de agua tratada es igual al agua producto de la ultrafiltración (UF).
2. Sin tratamiento de filtro adicional. Debido a la mejorada calidad del agua filtrada, el agua producida por el TMF de POREX se puede alimentar directamente a un sistema de ósmosis inversa (OI) sin cualquier otro tratamiento. En comparación, cuando el agua proviene de un clarificador, típicamente requiere un filtro de multimedios, un filtro de carbón activado o un proceso de ultrafiltración antes de enviarla a través de OI.
3. Uso reducido o nulo de coagulantes. El uso de coagulantes, p. ej., hidroxocloruro de aluminio (Polyaluminum Chloride, PAC),  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeSO}_4$ , etc., no suele ser necesario en un sistema de TMF de POREX o, en caso de que se requiera, la dosis se reduce considerablemente. No se requiere un floculante, p. ej. poliacrilamida (PAM), con un sistema de TMF de POREX. Solo se necesita soda cáustica. El uso de coagulantes en otros sistemas resulta en un mayor volumen de torta de lodo y un mayor TDS de agua tratada. El uso de un polímero, a



menudo necesario en otros sistemas, hará que las membranas de OI se ensucien, lo que puede resultar problemático, generando dificultades de recuperación del rendimiento.

4. Mejor rendimiento de la prensa de filtro. El diseño único del sistema de TMF de POREX de flujo cruzado puede manejar fácilmente una concentración de sólidos suspendidos de 2~5%. Esto produce menos pasta y resulta en un mejor rendimiento de la prensa de filtro.
5. Facilidad de mantenimiento. El sistema se puede diseñar para operación automática y se puede pasar del modo de reposo al modo de servicio en cualquier momento.
6. Fácil de operar. Usualmente los trastornos en el proceso del clarificador pueden resultar en una calidad de agua y un tratamiento menos que satisfactorios. Los módulos TMF de POREX eliminan la posibilidad de clarificar trastornos y requieren menor intervención del operador.
7. Menor impacto. Comparado con un clarificador tradicional, el marco de la plataforma del TMF de POREX requiere menos espacio. Además, la plataforma del TMF de POREX se puede extender; lo que significa que la capacidad de agua se puede aumentar simplemente al agregar más plataformas o módulos.

### Información del sistema

Capacidad del agua:	65 m <sup>3</sup> /h
Especificación del módulo:	Módulos TMF de POREX (modelo de módulo n° MME2S01637VP)
Tubos por módulo:	37
Especificación de carcasa:	15,24 cm (6") Sch40 PVC
Diámetro de tubo:	1,3 cm (½ pulgada)
Tamaño de poros de membrana:	0,1 micrón
Área de filtración:	2,58 m <sup>2</sup> por módulo
Arreglo:	2 plataformas, 3 trenes por plataforma, 10 módulos por tren, total de 60 módulos



**Bombas de TMF**

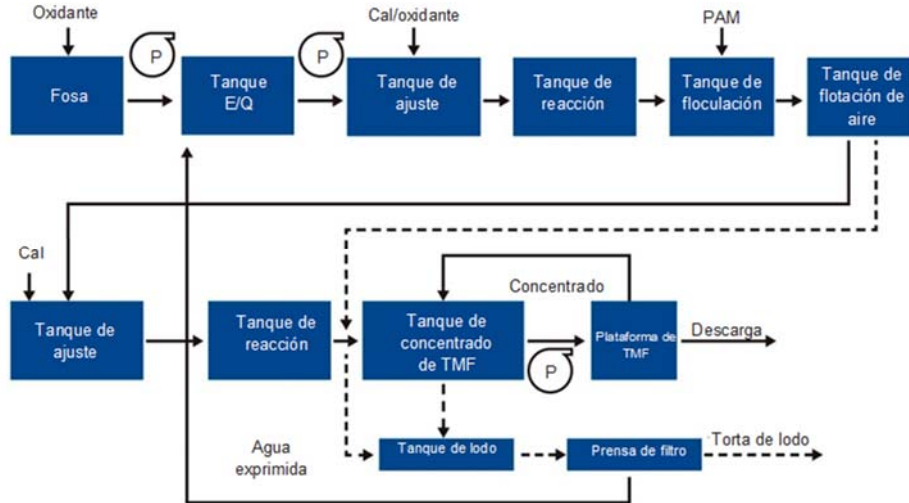


**Plataforma de TMF**



**Unidad CIP**

### Sistema esquemático



Tanque de ajuste de pH n° 1

Tanque de reacción n° 1

Tanque de floculación



Tanque de flotación de aire



Tanque de ajuste de pH n° 2/  
Tanque de reacción



## Descripción del proceso

Las aguas residuales de cobre y níquel se recolectan en un sumidero en el que se dosifica una pequeña cantidad de oxidante. Esta agua se bombea a un tanque de equalización. Los agentes quelantes se oxidan y reducen a una condición ácida. Luego, el agua se bombea a una instalación de tratamiento de la primera etapa. El propósito de la primera etapa es la eliminación parcial de cianógeno y cromo.

En esta etapa el pH de las aguas residuales se eleva a través de la dosificación de cal de 7-8 en el primer tanque de ajuste de pH y se añade más oxidante para la descomposición del cianógeno. Entonces, el agua se desborda hacia un tanque de reacción y después hacia un tanque de floculación. La PAM se dosifica en el tanque de floculación y luego el agua fluye a un tanque de flotación de aire para la separación sólido/líquido. El lodo se envía a un tanque de retención independiente con un sistema de deshidratación posterior. Luego, el agua producto del tanque de flotación se envía a la segunda etapa del sistema de tratamiento.

Las aguas residuales del tratamiento de la primera etapa entran en el segundo tanque de ajuste de pH en el que se dosifica más cal para elevar el pH a 11-12. A continuación, se desborda a un segundo tanque de reacción. El sulfato ferroso se añade para reducir el cloro residual y reducir el  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$ . Las formas de  $\text{Cr}^{3+}$  se precipitan a  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Al mismo tiempo, otros iones de metales pesados como el cobre y níquel también forman sus respectivas precipitaciones de hidróxido.

La mezcla de sólido/líquido pretratada rebalsa al tanque de concentración del TMF de POREX. Una bomba de circulación envía la mezcla a una serie de módulos de TMF de POREX para la separación de sólidos/líquidos. En un proceso de flujo cruzado, la mayoría del líquido regresa al tanque de concentración donde la concentración de sólidos suspendidos aumenta. Parte del agua del concentrado se envía a una prensa de filtro para su deshidratación. El concentrado retirado mantiene los sólidos en el tanque de concentración de 2 a 5%. La torta de lodo, que normalmente contiene 60-70% de agua, se envía para la recuperación de metales pesados. El agua filtrada de la prensa de filtro se envía de vuelta al tanque de equalización.

El agua filtrada desde el sistema de TMF de POREX, (la cantidad equivalente a la capacidad del sistema), se envía a un tanque de reajuste de pH antes de ser vertido a la red de alcantarillado.

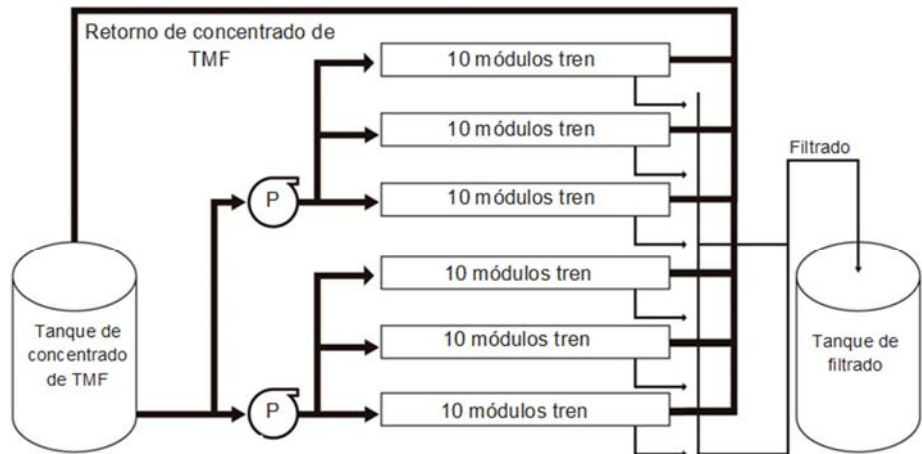
Debido a las consideraciones de seguridad de diseño, existen dos etapas de tratamiento en este sistema. En la 1<sup>ra</sup> etapa un método de separación de sólido/líquido convencional usa la flotación de aire. El TMF de POREX se aplica en la 2<sup>da</sup> etapa. Generalmente se reconoce que el cianógeno y el cromo requieren un tratamiento más complejo que otras sales metálicas. El cianógeno se debe descomponer por medio de la oxidación antes de pasar por una precipitación alcalina. El cromo hexavalente se debe reducir a cromo trivalente antes de la precipitación alcalina. El rango óptimo de pH



para la precipitación de cromo trivalente es diferente que la del cobre y níquel. De modo que el sistema debe eliminar primero el cromo y luego eliminar el cobre y el níquel.

### Especificaciones del sistema

Existen 6 trenes en total en este sistema, instalados en 2 plataformas de 3 trenes cada una. Cada tren contiene 10 módulos conectados en serie. Existe una bomba de proceso común para los tres trenes y cada tren contiene diferentes medidores de flujo de filtrado, unidades de contralavado y un conjunto de válvulas de aislamiento. Una unidad CIP (Clean in Place) común, (incluidos dos tanques y una bomba de diafragma), se coloca para el sistema completo. El sistema está diseñado para asegurar que se contralava en forma individual cada tren. El operador puede también realizar CIP por cada tren en forma separada.





## Estado de operación

La construcción de este sistema se finalizó en octubre de 2012 y el rendimiento del sistema ha cumplido o excedido el estándar de diseño, según se explica a continuación:

1. Cada plataforma contribuye con flujo de filtrado de 65 m<sup>3</sup>/h, que es cerca del doble del valor de diseño. Esto se debe en parte a los agentes de muy baja suciedad (libres de aceite y compuestos orgánicos), que existen en el agua residual y un sistema de reacción de pretratamiento muy completo y eficaz.
2. La presión de entrada del módulo tren es aproximadamente 3,0 bar. No hay contrapresión al lado del concentrado debido a la suficiente tasa de flujo de filtrado.

El informe de análisis de muestra efluente se recolecta en la tabla a continuación:

Fecha	Hora	pH	T-CN	Cr <sup>6+</sup>	T-Cr	T-Cu	T-Ni
12,10	9:30	11,2	0,042	0,659	0,941	0,126	0,01
	11:00	10,2	< 0,016	0,094	0,076	0,1	0,01
	13:30	10,5	0,249	< 0,01	0,838	< 0,01	0,077
	15:00	10,3	0,019	0,36	0,941	0,046	0,069
12,11	9:30	10,8	0,025	0,914	1,401	0,014	0,044
	11:00	10,4	< 0,016	0,507	0,623	0,09	0,099
	13:30	9,2	0,017	0,94	1,31	0,148	0,123
	15:00	9,5	< 0,016	0,998	1,131	0,052	0,134

Según el informe de análisis, el cobre y el níquel siempre estuvieron por debajo del valor límite de descarga cuando se estableció el pH objetivo en un valor mayor que 9,0. Hubo una pequeña fluctuación en el nivel de cromo, posiblemente debido a la presencia de cianógeno y cromo. Fue todo un desafío elegir el mejor valor del pH objetivo y el tipo/dosis químico. Las condiciones de reacción para estos dos tipos de contaminantes son muy diferentes, lo que explica por qué un efecto de eliminación favorable no era posible en un solo sistema.





## Resumen:

Esta es la primera aplicación a gran escala de los módulos de TMF de POREX en un parque industrial de electrogalvanizado.

Un proceso de recolección de aguas residuales bien diseñado es el factor clave para lograr objetivos como la reducción de costos operativos y obtener efluentes más estables y de mejor calidad. En este sistema, no hay un mecanismo de reacción química complejo para la precipitación de cobre y níquel. Después de eliminar los efectos de los agentes quelantes, el pH se ajusta a un valor objetivo para que se produzca la reacción de precipitación alcalina. Después de eso, una medida de separación sólido/líquido bien desarrollada (módulos de TMF de POREX), proporciona una excelente calidad del agua filtrada. El cianógeno y el cromo pueden representar un desafío para este sistema. Aun así, los módulos TMF de POREX siguen ofreciendo una excelente calidad del agua de permeado mucho mayor de la que se puede generar a partir de un clarificador o tanque de flotación por aire convencional. En este caso, muchas de las ventajas de los módulos de TMF de POREX son las siguientes:

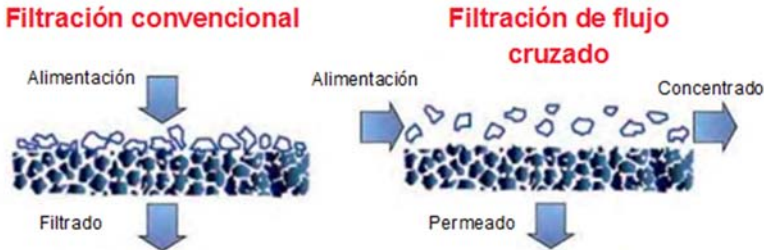
1. Menor impacto. El espacio necesario se redujo debido a que el clarificador grande no era necesario y un enorme tanque de emergencia tampoco lo era debido a la calidad estable del filtrado del TMF de POREX.
2. Mejor calidad de filtrado. Los niveles de cobre y cromo en el efluente están muy por debajo de los límites de descarga requeridos y la calidad del efluente es más estable y fiable. A diferencia de un clarificador o tanque de flotación de aire, el rendimiento del TMF de POREX no se ve afectado por los cambios de temperatura, diseño mecánico, flujo de agua o estado de floculación, etc.
3. Buen rendimiento. Con el problema de la existencia de cianógeno y cromo, el sistema de TMF de POREX sigue demostrando un buen desempeño de tratamiento en estos dos contaminantes.



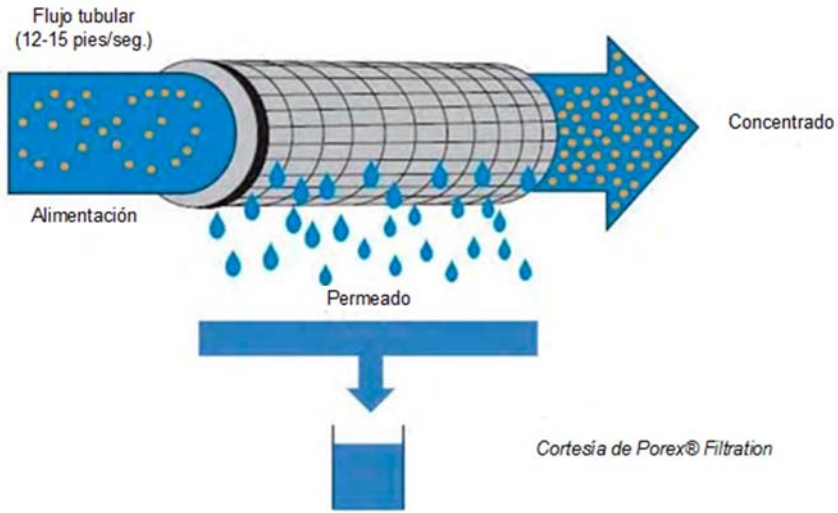
**Acerca de la microfiltración**

La microfiltración es una tecnología de separación de membranas de flujo cruzado, impulsada a presión, diseñada para remover sólidos suspendidos submicrónicos (y más grandes) de los suministros de agua. Difiere de la filtración convencional “sin salida” en cuanto a que, en este proceso, todo el suministro de agua pasa a través del filtro medio, tomando en cuenta que en el proceso de flujo cruzado una porción pasa a través de la membrana convirtiéndose en “permeado” mientras que el resto sale del sistema como “concentrado”, llevándose casi todos los sólidos suspendidos.

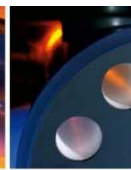
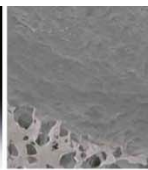
La siguiente ilustración compara estos dos procesos.



Las membranas de microfiltración que se usan en esta aplicación son membranas tubulares de POREX, que se muestran a continuación.



*Cortesía de Porex® Filtration*



## POREX FILTRATION

ESTUDIO DE CASO | GALVANIZACIÓN

### Acerca de la Microfiltración (Continuación)



Los tubos del módulo de membrana (en la figura) en esta aplicación son 1,3 cm (½") de D.I., con un sustrato de polietileno que soporta una membrana de fluoruro de polivinilideno (Polyvinylidene Fluoride, PVDF) con poros de 0,1 µm.

Cada módulo consiste de 37 tubos de 183 cm (72") de longitud encerrados en un armazón de PVC. Las especificaciones de los módulos y tubos son las siguientes:

Módulos	
Diámetro del armazón	15 cm (6")
Puerto de permeado (Cant. 2)	Abrazadera para tubo en L de 7,3 cm x 4,8 cm (2,875" x 1,89")
Puertos de concentrado	Ranura Anvile Gruvlok para tubería de 15 cm (6")
Montaje requerido	Horizontal; 2 puntos
Longitud del módulo	183 cm (72")
Tubos	
Número de tubos	37
ID nominal	1,3 cm (½")
OD nominal	2,00 cm (0,79")
Área de la superficie activa total	27,75 ft <sup>2</sup> (2,58 m <sup>2</sup> )
Volumen interno de líquido	
Volumen de filtrado	11,62 litros (3,07 galones)
Volumen de concentrados	8,56 litros (2,26 galones)
Volumen total	20,18 litros (5,33 galones)
Materiales de construcción	
Encapsulado	Cemento solvente
Soportes internos	Polipropileno
Material de juntas	Ninguno
Preservante (envío)	Propilenglicol
Membrana	PVDF

El flujo de alimentación se encuentra al centro del tubo (alimentación de lumen) donde el permeado pasa por la pared tubular y se recolecta del área alrededor de la parte exterior de los tubos adentro del armazón. En este sistema de TMF hay un total de 60 módulos TMF de Porex.



500 Bohannon Road  
Fairburn, GA 30213  
USA

[www.porexfiltration.com](http://www.porexfiltration.com)

Tel: +1 770.515.7700  
Fax: +1 770.515.7799

[info@porexfiltration.com](mailto:info@porexfiltration.com)

Número gratuito en EE. UU.: 866.515.7783