



Guía HX para el Downstream Defender[®]

Separación de Vórtice Avanzado para el
Tratamiento de Aguas Pluviales

Índice

Descripción General.....	2
I. Introducción a la Separación de Vórtice Avanzado	3
II. Removiendo los Sólidos del Agua Pluvial por Medio de la Separación de Vórtice Avanzado.....	4
III. Aplicaciones de la Separación de Vórtice Avanzado para el Tratamiento de Aguas Pluviales.....	5
IV. Los Principios de la Separación de Vórtice Convencional y Vórtice Avanzado.....	6
V. La Evolución de la Separación de Vórtice Avanzado.....	8
VI. Separadores de Vórtice Básicos vs. Separadores de Vórtice Avanzado.....	9
Información Adicional	16

Descripción General

Hoy en día existe en el mercado una amplia variedad, nunca antes vista, de dispositivos para el tratamiento de aguas pluviales. Las elecciones hechas por los diseñadores y especificadores de dispositivos para el tratamiento de aguas pluviales juegan un papel muy importante en la consecución de los objetivos de calidad del agua y tratamiento de aguas pluviales.

Si bien es cierto que contar con una variedad tan amplia de dispositivos para el tratamiento de aguas pluviales le da a los ingenieros y diseñadores de sitios más "herramientas" de diseño, es importante entender que no todos los dispositivos para el tratamiento de aguas pluviales son iguales.

El propósito de esta guía es proporcionar información acerca de la tecnología de Separación de Vórtice Avanzado y de cómo es que sus atributos la vuelven ideal para una amplia variedad de aplicaciones para el tratamiento de aguas pluviales, tipos de desarrollos y condiciones de sitio. Esta guía aborda con un mayor nivel de detalle la ciencia detrás de la Separación de Vórtice Avanzado, explicando los elementos en común y las diferencias entre la separación por gravedad, la separación de vórtice básico, además de los beneficios de la Separación de Vórtice Avanzado.

¿Qué es HX?

En el idioma inglés, HX se refiere al término "Hydro Experience" (Hidro Experiencia). Se trata de un concepto inspirado en nuestra pasión por la innovación en el diseño y nuestro compromiso con la ciencia sólida.

Expandir las fronteras de la tecnología de gestión del agua ha estado en el núcleo de nuestro trabajo a lo largo de más de treinta años.

Hydro HX es una marca de nuestro compromiso con la calidad y nuestra dedicación a alcanzar un desempeño óptimo.



¿Para quién está diseñada esta guía?

- Consultores en Ingeniería
- Desarrolladores
- Diseñadores de Áreas Verdes
- Autoridades Locales y Estatales
- Científicos Especializados en Aguas Pluviales

No existe nada parecido a HX.

I. Introducción a la Separación de Vórtice Avanzado

Los separadores de vórtice hidrodinámicos son dispositivos de separación de sólidos/líquidos de alta capacidad, de flujo rotatorio, que se usan en todo el mundo para una variedad de aplicaciones de calidad de agua. Los Separadores de Vórtice Avanzado son una clase de separador hidrodinámico específica.

Principales Características de los Separadores de Vórtice Avanzado

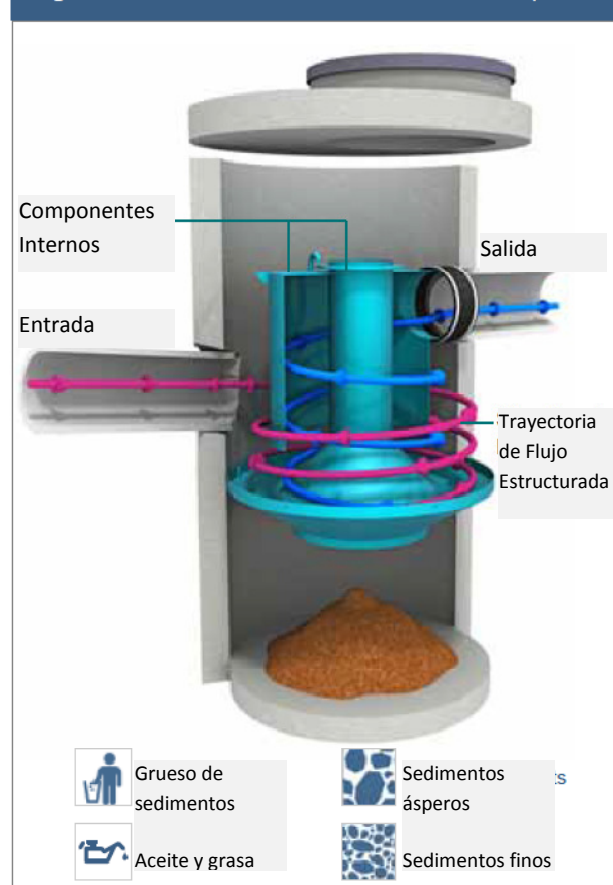
Para ser considerado de tecnología de “vórtice avanzado”, un separador debe tener tres características esenciales:

- Un régimen de flujo rotatorio estabilizado
- Una trayectoria de flujo tridimensional estructurada
- Un medio para evitar el arrastre de los contaminantes capturados

Ventajas de la Separación de Vórtice Avanzado

- Las partículas se sedimentan más rápido en los Separadores de Vórtice Avanzado
- Los Separadores de Vórtice Avanzado capturan y retienen una granulometría de partículas más amplia que otros separadores de vórtice e hidrodinámicos
- Los Separadores de Vórtice Avanzado evitan la reliberación de los contaminantes capturados durante eventos pluviales de alto flujo
- La tecnología de Vórtice Avanzado da como resultado una menor pérdida de carga y un tratamiento mayor en una huella más pequeña y económica
- Los Separadores de Vórtice Avanzado son tan fáciles y económicos de mantener como las cuencas de captación típicas

Fig.1 Downstream Defender® Advanced Vortex Separator



El Separador de Vórtice Avanzado Downstream Defender®

El Downstream Defender® es parte de una familia de separadores de vórtice avanzado diseñados y comercializados por Hydro International que utilizan los principios de la separación de vórtice avanzado para remover los Sólidos Suspendidos Totales (SST), la basura y los hidrocarburos del agua contaminada (Ilustr. 1). El Downstream Defender® está diseñado específicamente para aplicaciones de tratamiento de aguas pluviales.

El Downstream Defender® incluye componentes de modificación de flujo especialmente diseñados para facilitar la separación de vórtice avanzado. Estos componentes permiten controlar, estabilizar y mejorar los efectos de las fuerzas rotatorias y de cizallamiento en el flujo del vórtice para mejorar el desempeño en general.

Gracias a la Dinámica de Fluidos Computacional (DFC) y a una serie de pruebas a escala total, el Downstream Defender® ha evolucionado para pasar de los separadores de vórtice de generaciones anteriores a hacerle frente a las desventajas técnicas de los dispositivos tipo remolino simples y los separadores hidrodinámicos convencionales. Al reducir la turbulencia y las pérdidas de carga, mejorar la separación y evitar la resuspensión de los contaminantes almacenados previamente a lo largo de un amplio rango de velocidades de flujo, el Downstream Defender® es un dispositivo para el tratamiento de aguas pluviales versátil y efectivo en términos de costo.

Se ha demostrado que el Downstream Defender® es un dispositivo para el tratamiento de aguas pluviales eficiente. Desde su introducción, el Downstream Defender® ha sido instalado en miles de ubicaciones a lo largo y ancho de los Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia y Sudamérica.

II. Removiendo los Sólidos del Agua Pluviales por Medio de la Separación de Vórtice Avanzado

Los contaminantes sólidos en los escurrimientos pluviales varían ampliamente desde el punto de vista de su granulometría, densidad, toxicidad y costo de tratamiento. Para hacerle frente al espectro total de contaminantes se requieren muchos tipos de Mejores Prácticas de Gestión (MPG). Para tratar los sólidos gruesos se usan los separadores hidrodinámicos y de vórtice tradicionales. Los Separadores de Vórtice Avanzado permiten tratar una variedad más amplia de ese espectro como resultado de los beneficios técnicos de la tecnología de vórtice avanzado (Ilust, 2).

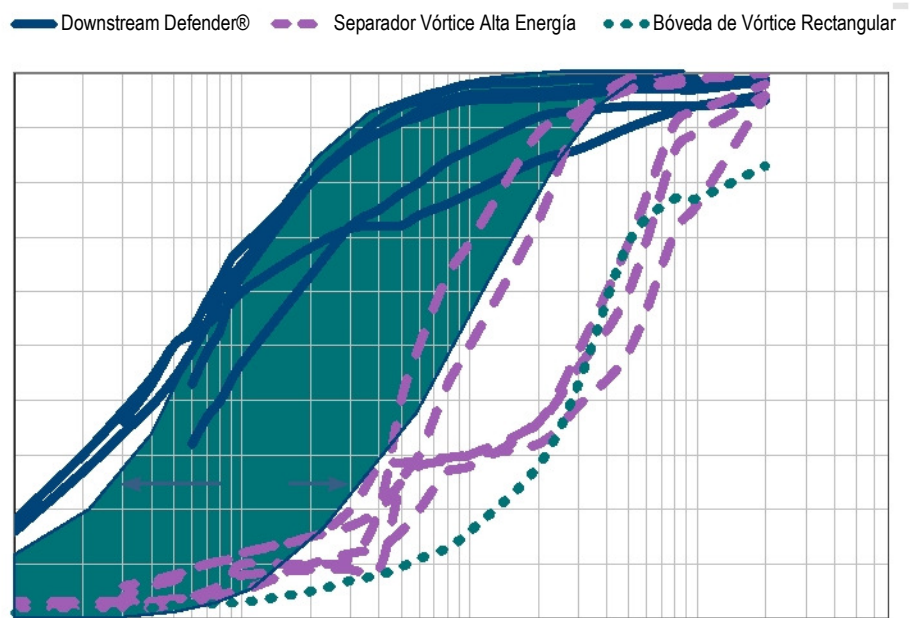


Ilust.2 Los Separadores de Vórtice Avanzado permiten tratar una variedad del espectro de Sólidos Totales más amplia que los separadores de vórtice e hidrodinámicos convencionales

Una Comparación de Campo de Sólidos Capturados en Diferentes Separadores Hidrodinámicos

Un estudio realizado en el año 2006 confirmó que los Separadores de Vórtice Avanzado permiten capturar una variedad de sólidos más amplia que otros separadores hidrodinámicos y de vórtice. Los contaminantes extraídos de los cárcamos de almacenamiento de diferentes separadores mostraron que el material capturado y retenido en el Downstream Defender® es significativamente más fino que los sólidos capturados por otros dispositivos (Ilust.3).

Se encontró que el material del cárcamo de las instalaciones del Downstream Defender® es tan fino como el material capturado en los embalses de aguas pluviales grandes (Faram et al., 2006).



Ilust.3. Se ha demostrado que los sólidos capturados en el Downstream Defender® son más finos que los sólidos capturados en otros separadores de vórtice y tan finos como los sólidos capturados en embalses. Límites de rango de embalses de Marsalek et al., (2002) y Bentzen et al., (2005).

III. Aplicaciones de la Separación de Vórtice Avanzado en el Tratamiento de Aguas Pluviales



La tecnología de Separador de Vórtice Avanzado ofrece características y beneficios únicos, incluyendo un alto desempeño en una huella pequeña con baja pérdida de carga. Estos beneficios distintivos hacen que los Separadores de Vórtice Avanzado sean ideales para una amplia variedad de aplicaciones, tipos de desarrollos y condiciones de sitios

Principales Beneficios de la Tecnología de Vórtice Avanzado

- Huella pequeña
- Alta capacidad de tratamiento
- Baja pérdida de carga
- Instalación económica
- Mantenimiento económico
- Evita el arrastre de contaminantes
- Permite tratar una amplia variedad de flujos

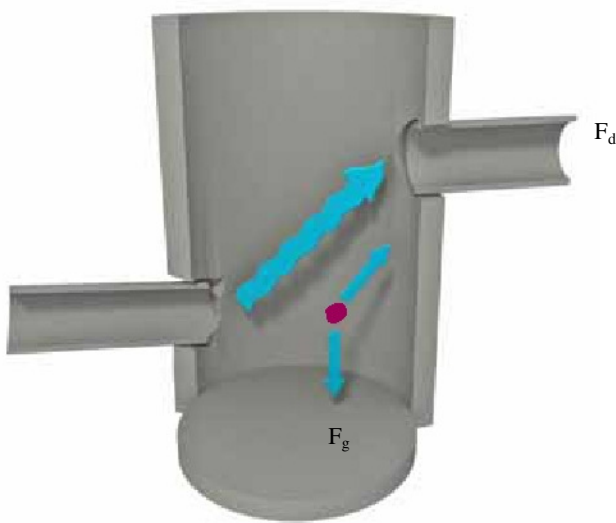
Aplicación Tratamiento Aguas Pluviales		Por Qué los Separadores de Vórtice Avanzado Funcionan para Esta Aplicación
Nivel Tratamiento	Pretratamiento	Los BMP de Pretratamiento deben tener una baja pérdida de carga; de lo contrario, puede que no exista una caída suficiente en la tubería de grado hidráulico para el dispositivo de tratamiento aguas abajo. Deben evitar el arrastre o, de lo contrario, pondrán al dispositivo de tratamiento aguas abajo en riesgo de contaminación y falla.
	Tratamiento Autónomo	Los dispositivos de tratamiento autónomos deben poder suministrar un alto nivel de tratamiento a través de una amplia variedad de caudales.
Tamaño Sitio	Mediano a Grande	Los sitios más grandes generan caudales más grandes, de modo que los dispositivos de tratamiento deben proporcionar un alto nivel de tratamiento. También deben ser económicos, ya que a menudo se requieren múltiples dispositivos de tratamiento.
	Pequeño	Los sitios pequeños a menudo no cuentan con el espacio para sistemas de tratamiento más grandes y tampoco cuentan con el espacio para soluciones caras.
Perfil Hidráulico	Pendiente a poco profundo	Los grados pronunciados generan velocidades de caudal elevadas que pueden reducir las velocidades en otros dispositivos. Un alto nivel de pérdida de carga conlleva el riesgo de una inundación aguas arriba en una tubería de grado poco profundo.
Tipo de Desarrollo	Redesarrollo	Los sitios de redesarrollo a menudo tienen limitaciones de espacio y son caros de desarrollar, de modo que los BMPs deben ser compactos y económicos. Los BMP con baja pérdida de carga aumentan la posibilidad de usar una tubería de alcantarilla pluvial ya existente.
	Nuevo desarrollo	Los nuevos desarrollos a menudo tienen los estándares más estrictos y caros de cumplir, de modo que los BMP deben ser económicos de instalar y mantener
	Desarrollo de Bajo Impacto/Infraestructura Verde	Los BMP "Verdes" no siempre resultan prácticos en todas las áreas de un sitio, y no siempre pueden dimensionarse para el caudal de escurrimientos en su totalidad.
	Desarrollos LEED®	Ciertos BMP para tratamiento califican para recibir Créditos 1 LEED® de conformidad con la Sección 6.2 sobre Sitios Sostenibles.
	Alto Tráfico/Alta Carga de Contaminantes	Los "hot spots" de contaminantes exigen BMPs de tratamiento de alto desempeño. Los niveles de tratamiento más altos significan una tasa más alta de acumulación de contaminantes al interior del BMP, de modo que el mantenimiento debe ser económico.

IV. Los Principios de la Separación Convencional y de Vórtice

Revisión de la Sedimentación Convencional

Por espacio de décadas los dispositivos de sedimentación convencionales, como es el caso de los aclaradores de aguas residuales y los embalses de aguas pluviales, han sido la tecnología convencional usada para remover sólidos del agua. El mecanismo de sedimentación puede ser explicado por la Ley de Stokes, que define la Velocidad de Sedimentación de una partícula (V_s) como una función de la densidad y diámetro de la partícula, la densidad y velocidad del fluido y la intensidad del campo de aceleración (Ec.1).

En las cámaras de sedimentación convencionales las fuerzas significativas que actúan sobre la partícula son la gravedad y el arrastre (Ilust.4). La gravedad actúa para atraer a la partícula en dirección descendente, mientras que el arrastre desplaza a la partícula a lo largo de la corriente del flujo.



$$V_s = \frac{\delta \rho \gamma d^2}{18 \mu}$$

Ec. 1. Ley de Stokes, en donde:

V_s = Velocidad de sedimentación

$\delta \rho$ = Diferencia de densidades entre la partícula y el fluido circundante

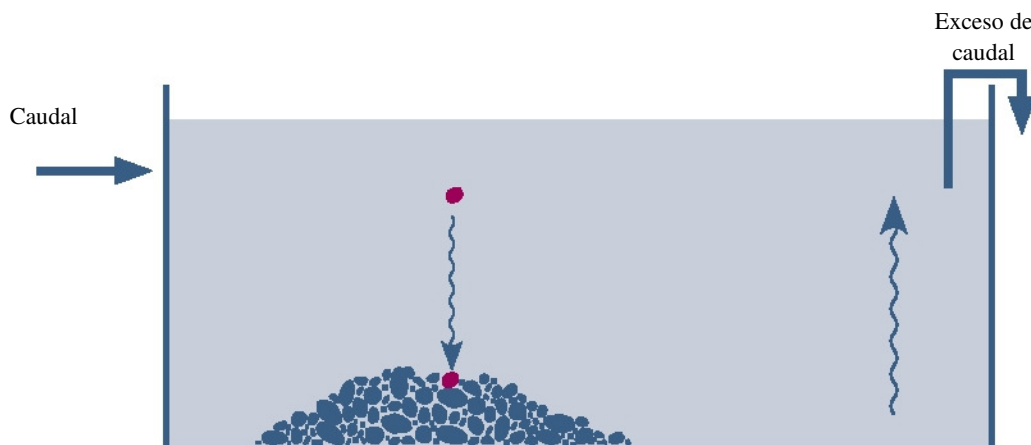
γ = Intensidad del campo de aceleración, una función de las fuerzas que actúan sobre la partícula, tales como el arrastre (F_d) y la gravedad (F_g)

d = Diámetro de la partícula

μ = Viscosidad del fluido

Ilust. 4. En la sedimentación convencional, las fuerzas significativas que actúan sobre una partícula son la gravedad (F_g) y el arrastre (F_d).

La sedimentación convencional opera en base a los principios básicos de la sedimentación, de acuerdo con los cuales una partícula se sedimenta fuera del líquido cuando su Velocidad de Sedimentación (V_s) excede la Tasa de Elevación del sobreflujo promedio (V_o). Ver ilustración 5. La tasa de Elevación se explica en la Ec. 2.



$$V_o = \frac{Q}{A}$$

Ec.2 Tasa de Elevación de Sobreflujo, en donde:

V_o = Tasa de Elevación de Sobreflujo

Q = Tasa de Caudal

A = Área de tanque de sedimentación

Los Mecanismos de la Separación de Vórtice

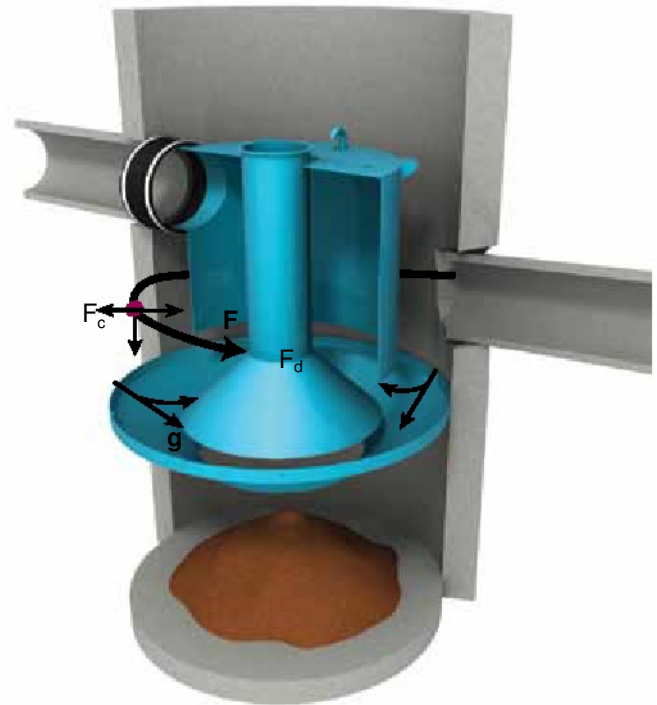
Los separadores de vórtice, al igual que las cámaras de separación por gravedad convencionales, operan en base a los principios fundamentales de la velocidad de sedimentación. Sin embargo, los separadores de vórtice se benefician de la adición de las fuerzas inerciales inducidas por el vórtice tales como la fuerza centrífuga (F_c), la cual se muestra en la Ilust. 6, que incrementan la velocidad de sedimentación.

La magnitud de las fuerzas inducidas por el vórtice puede ascender a varias veces la fuerza de gravedad, dependiendo de la geometría de la cámara del vórtice y la trayectoria del flujo, la velocidad y la masa de la partícula (Ec.3).

En donde:

$$Ec. 3 \quad F_c = \left(\frac{mv^2}{r} \right)$$

F_c = Fuerzas del vórtice
 m = Masa de partícula
 v = Velocidad de partícula
 r = Radio de trayectoria de flujo



Ilust.6. Los separadores de vórtice generan fuerzas adicionales (representadas como F_c) que aumentan la intensidad del campo de aceleración (γ), aumentando con ello la gravedad (F_g) para superar las fuerzas de arrastre (F_d) e incrementar la velocidad de sedimentación de las partículas (V_s), permitiendo con ello un mejor desempeño de sedimentación.

Las Partículas se Sedimentan más Rápido en los Separadores de Vórtice

La presencia de fuerzas inducidas por un flujo rotatorio en una cámara de separación de vórtice aumenta la intensidad del campo de aceleración (γ), incrementando con ello la velocidad de sedimentación (V_s) de conformidad con la Ley de Stokes (Ec.1).

Esto significa que una partícula dada en realidad se **sedimentará más rápido** en un separador de vórtice que en un dispositivo de sedimentación convencional, en igualdad de condiciones.

Este fenómeno fue observado en la década de 1970 durante una serie de pruebas de desempeño del Concentrador de Remolino de la EPA, uno de los primeros modelos de separador usados para tratar descargas de sistemas unitarios. En la Ilustración 7 se muestra que el Separador de Remolino capturaba los sólidos suspendidos más rápido que una cámara de sedimentación convencional equivalente (Field, 1972).

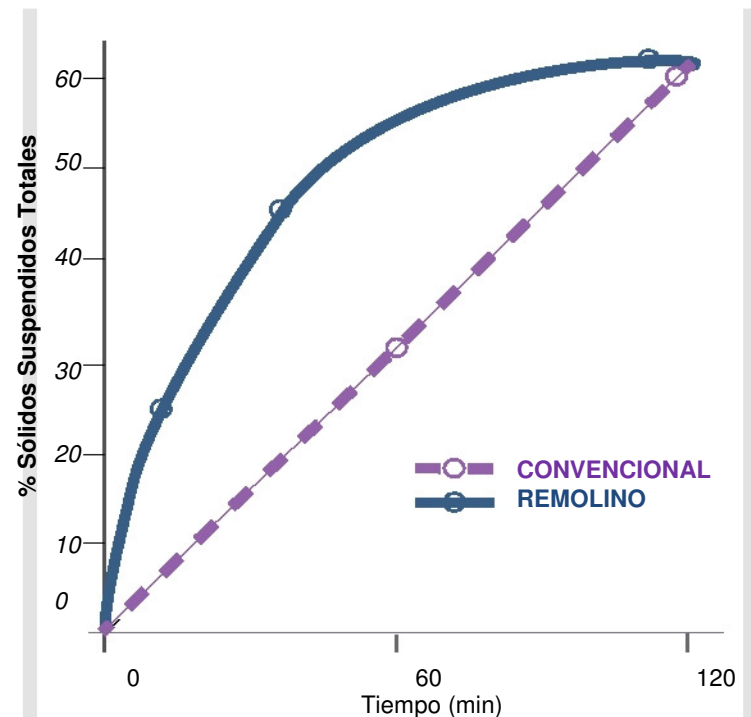


Ilustración 7. Comparación del tiempo requerido para capturar sólidos suspendidos en un separador de remolino vs. un dispositivo de sedimentación convencional, que mostró que la mayor parte de los sólidos sedimentables se sedimentaban más rápido en el separador de remolino (Field, 1972).

V. La Evolución de la Separación de Vórtice Avanzado

Los Primeros Separadores de Vórtice

Aun cuando las primeras referencias a los separadores de vórtice básicos se remontan a la década de 1940, éstos no eran conocidos en el sector del tratamiento de agua hasta que un investigador de nombre Bernard Smisson dio inicio al desarrollo del “Concentrador de Remolino” de la EPA en los Estados Unidos para el tratamiento de descargas de sistemas unitarios en la década de 1970. (Ilust. 8a, b).

El Concentrador de Remolino fue diseñado para cumplir con la definición de aguas residuales de “tratamiento primario”, consistente en la eliminación de un 60% de los Sólidos Sedimentables. El cárcamo de almacenamiento de contaminantes regresaba los sólidos recolectados a la tubería del drenaje sanitario vía una conexión de desbordamiento negativo del efluente. Una serie de interceptores internos fijos inducían el flujo del vórtice para permitir un alto desempeño en el tratamiento, pero daban como resultado pérdidas de carga sustanciales

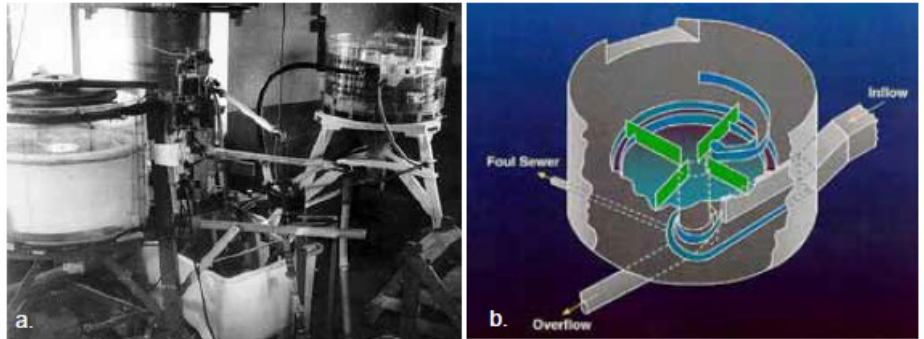


Fig. 8 a) Los primeros prototipos de separador de vórtice de Smisson bajo desarrollo en la sala de su casa; b) El Concentrador de Remolino de la EPA para tratamiento de descargas de sistemas unitarios fue el primer separador de vórtice de alto perfil usado para el tratamiento de agua en los Estados Unidos.

Evolución del Downstream Defender®

En las décadas de 1980 y 1990, el grupo de Investigación y Desarrollo de Hydro International, basándose en el trabajo pionero de Bernard Smisson, desarrolló el Separador de Vórtice Avanzado Storm King® para el tratamiento de descargas de sistemas unitarios, al igual que el Separador de Vórtice Avanzado Grit King® para aplicaciones de eliminación de residuos inorgánicos en embalses de aguas residuales (para mayor información, consulte el sitio www.hydro-int.com/us).

En la década de 1990, cuando la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (la EPA) promulgó legislación que le exigía a los MS4s eliminar el 80% de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) de los escurrimientos de aguas pluviales, Hydro expandió su familia de Separadores de Vórtice Avanzado con el desarrollo del Downstream Defender®, el primer Separador de Vórtice Avanzado de la era moderna para aplicaciones MS4 (Ilust. 9).

Las modificaciones hechas al Downstream Defender® para volverlo ideal para aplicaciones MS4 incluyen:

- Componentes internos durables diseñados para permitir un tratamiento de alto desempeño en un pozo de visita de drenaje de tamaño estándar.
- Incorporación de una “lámina descendente”, un interceptor cilíndrico para desviar los flotantes que elimina las pérdidas de carga elevadas e impide que los flotantes escapen durante los flujos elevados.
- Incorporación de un cárcamo aislado en el que los contaminantes son almacenados hasta que se lleva a cabo el mantenimiento de rutina con equipo de limpieza de cuenca de captación estándar

La cámara de tratamiento es un pozo de visita de drenaje estándar

Los componentes no tienen partes móviles o requerimientos de energía

La entrada tangencial reduce la pérdida de carga para aceptar tuberías de drenaje pluvial de grado poco profundo

Los contaminantes capturados en el cárcamo son eliminados con equipo de limpieza de cuenca de captación estándar



Ilustración 9. El Downstream Defender® fue el primer Separador de Vórtice Avanzado diseñado específicamente para tratar aguas pluviales en aplicaciones MS4.

VI. Separadores de Vórtice Básicos vs. Separadores de Vórtice Avanzado

Características Esenciales de los Separadores de Vórtice Avanzado

Régimen de Flujo Rotatorio Estable

Trayectoria de Flujo Tridimensional

Evita el Arrastre de Contaminantes

No todos los separadores de aguas pluviales son necesariamente "equivalentes". Para ser clasificado como tecnología de Vórtice Avanzado, un separador deberá incorporar tres características claves:

- Un régimen de flujo rotatorio estabilizado
- Una trayectoria de flujo tridimensional
- Zonas de almacenamiento de contaminantes aisladas de la cámara de tratamiento activo.

Los Componentes Internos son Claves para la Separación de Vórtice Avanzado con el Downstream Defender®

El Downstream Defender® funciona como un Separador de Vórtice Avanzado como resultado de sus componentes internos únicos (Ilust.10).

La entrada tangencial sumergida introduce un flujo rotatorio, al mismo tiempo que minimiza la turbulencia y la pérdida de carga.

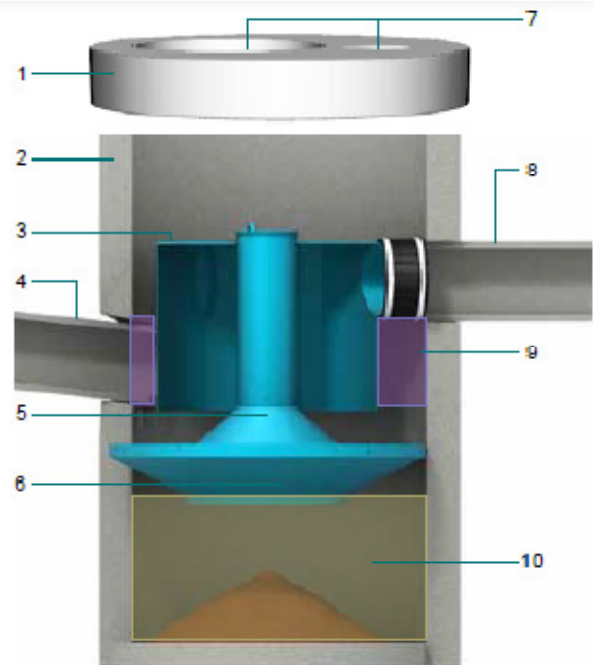
El Cono y la Lámina de Desviación Cilíndrica estabilizan el flujo y lo dirigen a través de una trayectoria de flujo tridimensional.

La Tolva de Tanqueo y el Cono angulado envían los contaminantes de sedimentación al interior del Cárcamo de Almacenamiento de Sedimento y ofrecen protección contra el lavado y el arrastre durante flujos elevados.

Vea el Video de su Funcionamiento
www.hydro-int.com/us/products/downstream-defender

Componentes del Downstream Defender®

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Losa Superior de Concreto | 6. Tolva de Tanqueo |
| 2. Pozo de Visita de Concreto | 7. Tapas de acceso para mantenimiento |
| 3. Lámina de Desviación Cilíndrica | 8. Tubo de Salida |
| 4. Entrada Tangencial Sumergida | 9. Almacenamiento de Aceite y Flotantes |
| 5. Eje Central y Cono | 10. Cárcamo para Almacenamiento de Sedimentos |



Ilust.10 Los componentes especialmente diseñados del Downstream Defender® son la clave para la Separación de Vórtice Avanzado

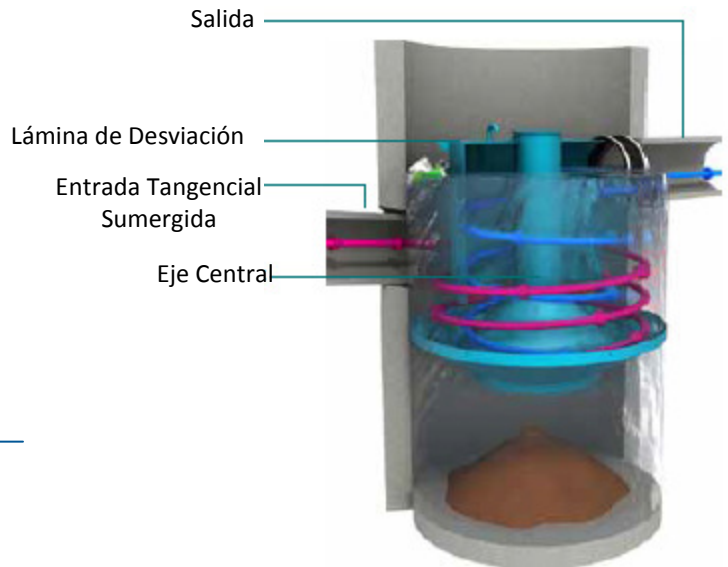


Características Esenciales de los Separadores de Vórtice Avanzado

Régimen de Flujo Rotatorio Estable

Trayectoria de Flujo Tridimensional

Evita el Arrastre de Contaminantes

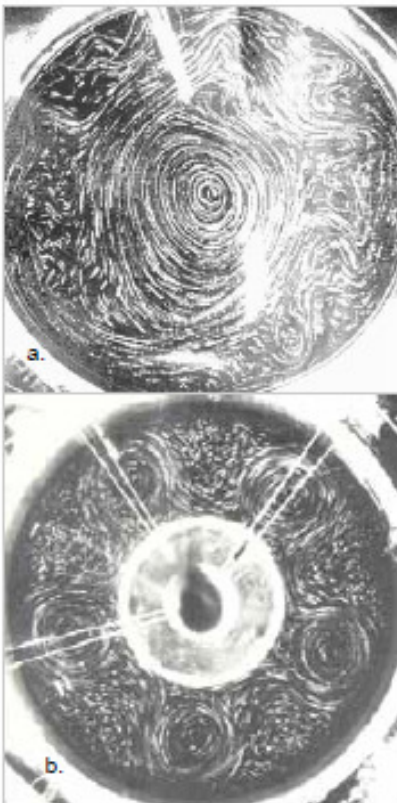


Beneficios de un Régimen de Flujo Rotatorio

Un régimen de flujo estable reduce la turbulencia al interior del separador, lo cual permite:

- Un Mayor Desempeño de la Sedimentación de Contaminantes
- Una Trayectoria de Flujo y un Desempeño Predecibles
- Una Menor Pérdida de Carga

Ilust. 11. Los componentes de estabilización de flujo del Downstream Defender®



Se ha demostrado que el flujo al interior de los separadores de vórtice básicos es turbulento y caótico.

Rápidamente se forman remolinos inestables y trayectorias de flujo preferenciales que posteriormente desaparecen. El flujo, por lo tanto, no sigue una trayectoria de flujo predecible. (Ilust.12a).

El flujo turbulento no estructurado reduce el desempeño del separador de vórtice. La turbulencia impide que una partícula se sedimente, manteniéndola suspendida al interior del régimen de flujo en lugar de sedimentarse. La turbulencia también agita el sedimento que se ha asentado previamente, lavándolo del cárcamo y suspendiéndolo de nuevo al interior de la corriente de flujo.

Con la introducción de los componentes estabilizadores de flujo como la Lámina Descendente y el Eje Central del Downstream Defender®, los remolinos transitorios son reemplazados por vórtices epicíclicos estables a lo largo del perímetro de la cámara (Ilust.12 b). La entrada tangencial sumergida reduce la turbulencia, evitando que el flujo del influente en cascada enturbie la superficie del agua.

El trayecto de flujo rotatorio es estable y genera una baja pérdida de carga, proporcionando con ello un mejor ambiente para la sedimentación de los contaminantes.

Ilust.12 a) Una vista de la trayectoria de flujo caótica de un separador de vórtice básico sin componentes estabilizadores de flujo; b) Los componentes de estabilización de flujo del Downstream Defender® minimizan la turbulencia a lo largo de una amplia variedad de flujos para incrementar el desempeño de la sedimentación y minimizar la pérdida de carga.

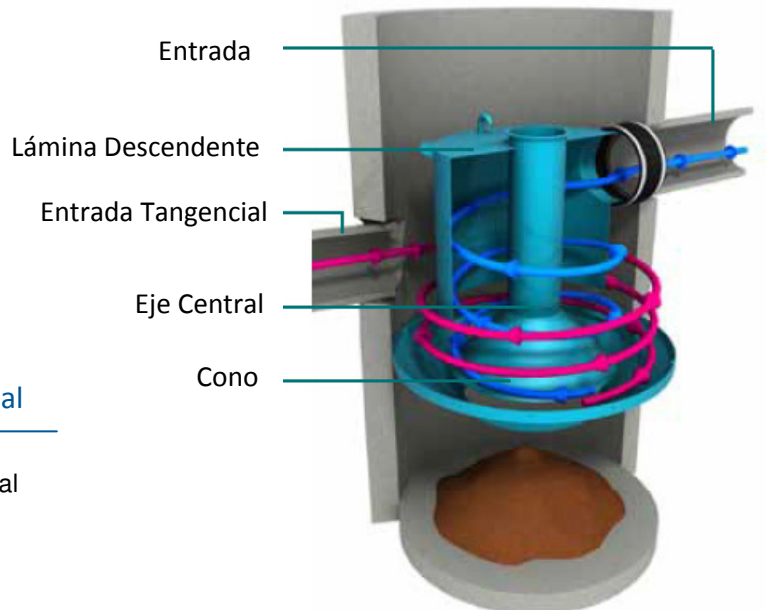
La Trayectoria de Flujo Tridimensional al interior del Downstream Defender®

Características Esenciales de los Separadores de Vórtice Avanzado

Régimen de Flujo Rotatorio Estable

Trayectoria de Flujo Tridimensional

Evita el Arrastre de Contaminantes



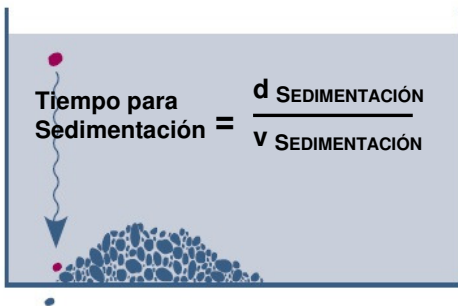
Los componentes de modificación de flujo del Downstream Defender® crean una trayectoria de flujo larga, estable y tridimensional para maximizar el tiempo de residencia.

Beneficios de una Trayectoria de Flujo Tridimensional

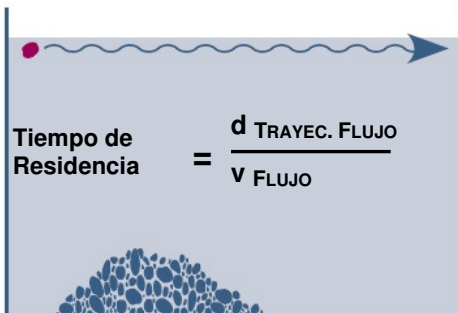
Un régimen de flujo estable (Ilust. 13) reduce la turbulencia al interior del separador, y con ello:

- Elimina la posibilidad de Cortocircuitos
- Maximiza el Tiempo de Residencia
- Reduce la Huella del Separador

Una partícula se sedimenta cuando su tiempo de residencia al interior de un separador es mayor que el tiempo que requiere para sedimentarse (Ilust. 14). Para permitir un desempeño máximo en el separador, el tiempo de residencia deberá ser, por lo tanto, tan largo como sea posible. Los separadores de vórtice y de gravedad básicos son propensos a cortocircuitos, el fenómeno por medio del cual el flujo pasa directamente de la entrada a la salida sin pasar por el dispositivo de tratamiento completo (Ilust. 15).



$$\text{Tiempo para Sedimentación} = \frac{d_{\text{SEDIMENTACIÓN}}}{v_{\text{SEDIMENTACIÓN}}}$$

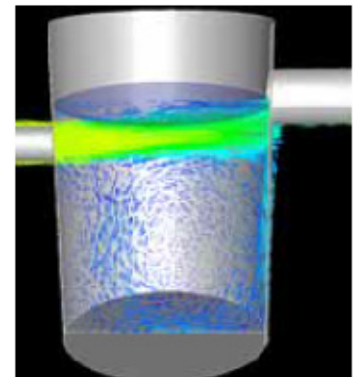


$$\text{Tiempo de Residencia} = \frac{d_{\text{TRAYEC. FLUJO}}}{v_{\text{FLUJO}}}$$

Los componentes de modificación de flujo del Downstream Defender® fueron diseñados para eliminar la formación de cortocircuitos, dirigiendo el flujo en una trayectoria larga, en espiral y tridimensional (Ilust.13).

El flujo rotatorio pasa en dirección hacia abajo alrededor de la lámina descendente, y en dirección ascendente alrededor del cilindro del eje central hasta llegar a la salida. No existe una ruta lineal directa de la entrada a la salida, evitando con ello la posibilidad de que se presenten cortocircuitos.

La trayectoria larga del flujo rotatorio da como resultado un tiempo de residencia más prolongado al interior del dispositivo, incrementando con ello el tiempo disponible para que se sedimenten los contaminantes. Para el momento en que el flujo llega a la salida, éste se encuentra prácticamente libre de flotantes y sólidos sedimentables.



Ilust.15. El modelado de fluidos muestra que los separadores básicos son propensos a cortocircuitos (vectores de fluido amarillos y verde).

Ilust.14. Una partícula se sedimenta en el momento en que su tiempo de residencia al interior del separador es mayor que el tiempo que requiere para su sedimentación. El tiempo de sedimentación es una función de la distancia de la partícula al cárcamo ($d_{\text{SEDIMENTACIÓN}}$) y la velocidad de sedimentación ($v_{\text{SEDIMENTACIÓN}}$). El tiempo de residencia es una función de la distancia de la entrada del flujo a la salida del flujo ($d_{\text{TRAYEC. FLUJO}}$) y la velocidad del flujo (v_{FLUJO}).

Características Esenciales de los Separadores de Vórtice Avanzados

Régimen de Flujo Rotatorio Estable

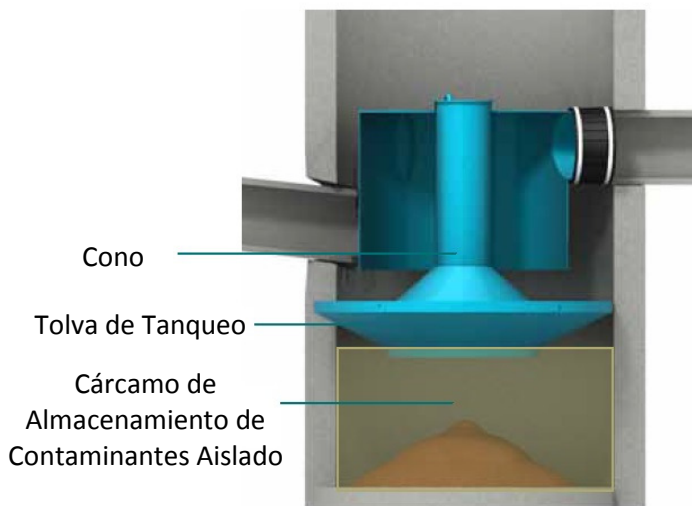
Trayectoria de Flujo Tridimensional

Evita el Arrastre de Contaminantes

Beneficios de Evitar el Arrastre de Contaminantes

Retener todos los contaminantes capturados:

- Impide que los Contaminantes Perjudiciales presentes en las Aguas Pluviales sean liberados de nuevo al Ambiente
- Incrementa la Eficiencia Neta del Dispositivo
- Protege a los BMP de Aguas Pluviales en contra de la Filtración / Infiltración Aguas Abajo, evitando que se llenen de Sedimento

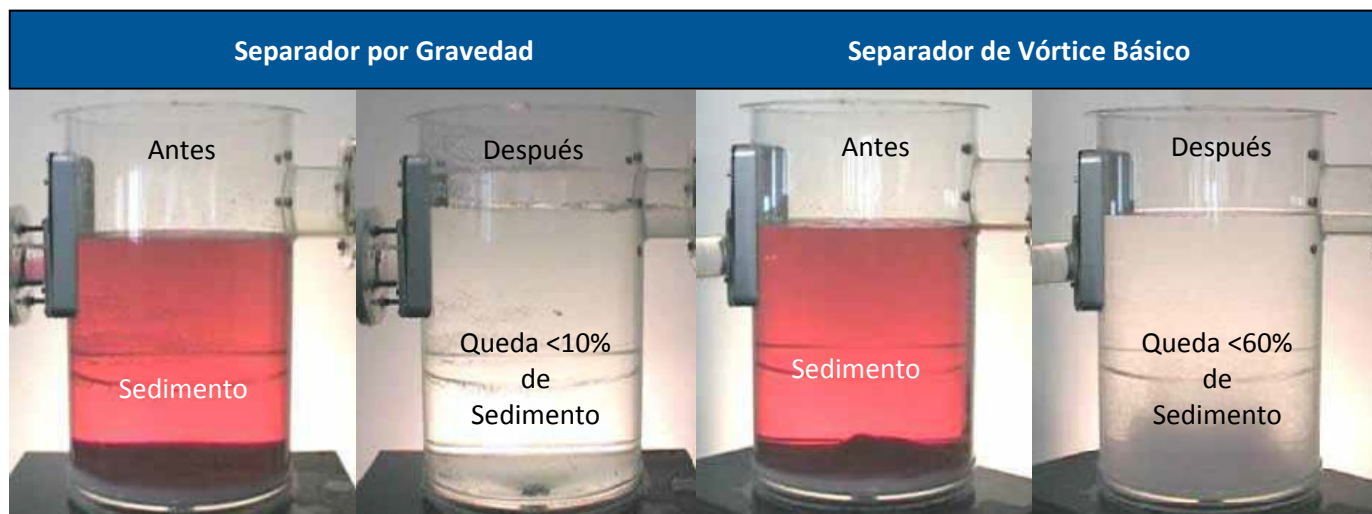


Ilust. 16 Los componentes para evitar el arrastre del Downstream Defender®.

¿Qué es el Arrastre de Contaminantes?

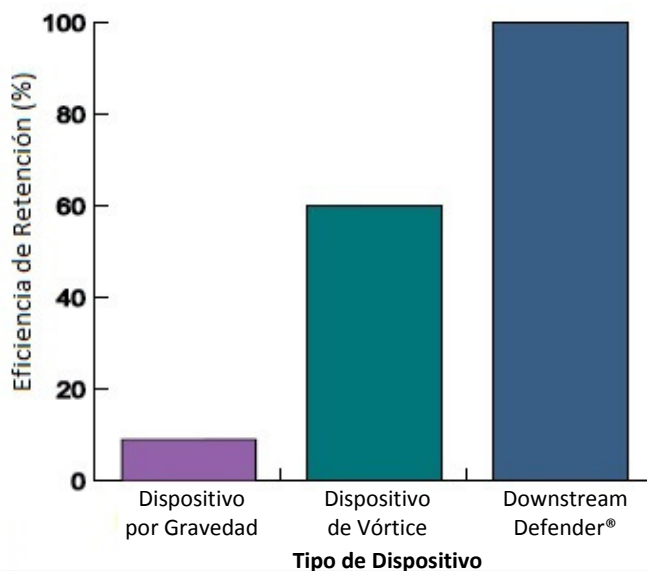
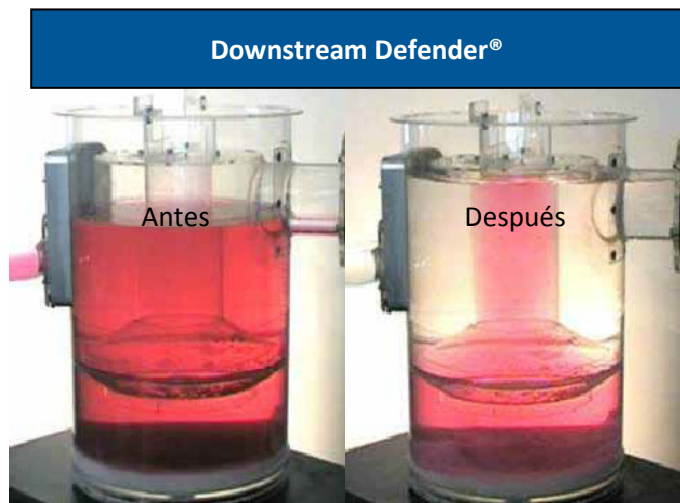
El arrastre de contaminantes es el proceso durante el cual los sólidos previamente capturados al interior del cárcamo de un separador son lavados por el flujo activo, volviendo a suspender los sedimentos al interior de una corriente de flujo activa y lavándolos para eliminarlos a través del tubo de salida.

Se ha demostrado que tanto los separadores por gravedad como los separadores de vórtice básicos expulsan el sedimento. Un estudio realizado por la Universidad John Moores de Liverpool mostró que, bajo las mismas condiciones de flujo pico, un separador por gravedad retenía menos del 10% de las 75 micras de sedimento y un separador de vórtice básico retenía únicamente un 60% del mismo material (Phipps et al., 2005). Ver Ilust.17.



Ilust. 17 En un estudio realizado en el año 2005, se cargaron previamente 75 micras de sedimento en los cárcamos de un separador por gravedad y un separador de vórtice básico. Después de 5 minutos bajo condiciones de picos de flujo, el dispositivo de gravedad (izquierda) perdió >90% del sedimento previamente capturado y el separador de vórtice básico perdió >40% (Phipps et al., 2005).

Ese mismo estudio mostró que el Downstream Defender® retenía más del 99% de las 75 micras del material durante las pruebas de arrastre, con un desempeño superior al del separador por gravedad y el separador de vórtice básico (Ilust.18a, b).



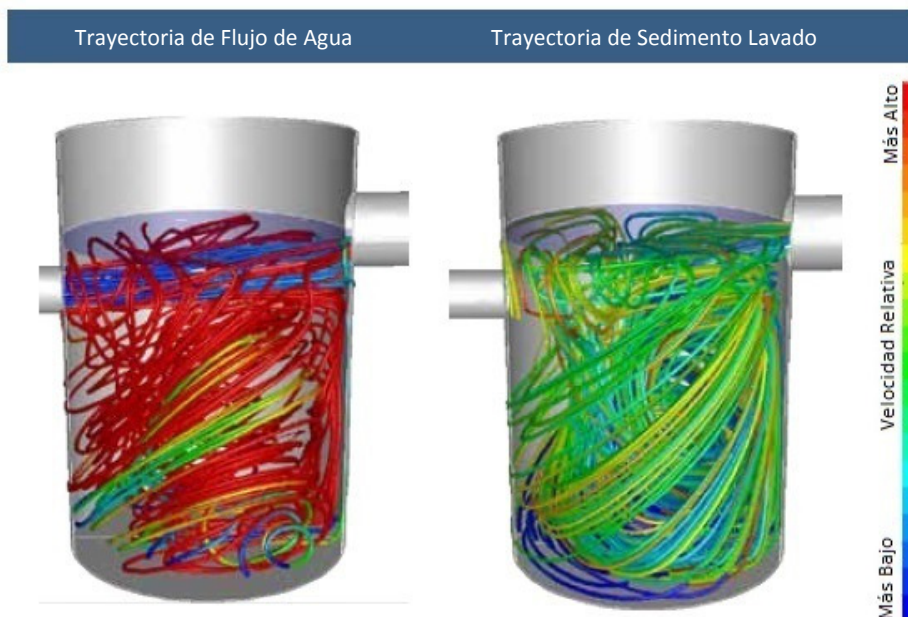
Ilust..18 a) El Downstream Defender® retuvo más del 99% de las 75 micras de material en el cárcamo después de 5 minutos de condiciones de flujo pico; b) Los resultados de las pruebas comparativas de arrastre muestran que el Downstream Defender® retiene más sedimento que los dispositivos de gravedad y vórtice básico (Phipps et al., 2005).

Por Qué se Da el Arrastre

El arrastre se presenta cuando los contaminantes sedimentados son expuestos a velocidades de flujo elevadas.

Muchos separadores hidrodinámicos convencionales no cuentan con componentes internos que protejan a los contaminantes sedimentados en contra de las elevadas velocidades de flujo que se presentan durante el pico de una tormenta.

El modelado del transporte del flujo y las partículas revela qué es lo que sucede en un separador de gravedad convencional durante el pico de un evento (Ilust.19). El esquema de flujo es caótico y turbulento. Las trayectorias de flujo penetran al cárcamo del separador con una velocidad relativamente alta. El modelo de trayectoria del sedimento muestra el impacto que el esquema de flujo turbulento está teniendo en el sedimento asentado en el cárcamo. Las trayectorias del sedimento muestran que el material es lavado del cárcamo, se vuelve a suspender al interior de la cámara de tratamiento activo, y finalmente es arrastrado fuera del dispositivo (Phipps et al., 2005).



Ilust.19 Durante el pico de un evento de tormenta, el esquema de flujo al interior de un separador por gravedad es turbulento. El esquema de flujo turbulento de alta velocidad lava el sedimento del cárcamo, lo vuelve a suspender y, finalmente, lo arrastra fuera del dispositivo.

Cómo es Que el Downstream Defender® Evita el Arrastre

Para proteger al sedimento del arrastre, un separador primero debe transportar los contaminantes a una zona de almacenamiento de contaminantes y luego proteger a la zona de almacenamiento de contaminantes de las velocidades de flujo elevadas durante los flujos pico. Muchos dispositivos únicamente logran una de estas dos funciones vitales.

Downstream Defender

El Downstream Defender® Evita el Arrastre:

- Transportando Efectivamente los Sólidos a una Zona de Almacenamiento de Sedimento
- Protegiendo a la Zona de Almacenamiento de Sedimento en contra de las Velocidades de Flujo Elevadas que Provocan su Expulsión

Para proteger al sedimento del arrastre, los Separadores de Vórtice Avanzado como el Downstream Defender® incorporan características que protegen al sedimento asentado en contra de las velocidades de flujo elevadas.

Transportando los Contaminantes a la Zona de Almacenamiento

Para que un separador pueda retener los contaminantes capturados de manera efectiva, primero debe transportar los contaminantes que se están asentando a la zona de almacenamiento de sedimento designada.

Algunos separadores básicos cuentan con una “repisa” plana que sirve para separar a la cámara de tratamiento activo de la zona de almacenamiento de sedimentos. Aun cuando el propósito previsto es el de evitar que los contaminantes sedimentados sean arrastrados fuera del dispositivo, el resultado final tiene el efecto opuesto. El estudio de Phipps et al. (2005) capturó imágenes de video del sedimento atrapado en la repisa plana siendo arrastrado hacia afuera del separador de vórtice en flujos moderados. (Ilust.20a).

La Tolva de Tanqueo angulada del Downstream Defender® transporta los sólidos que se están sedimentando en dirección hacia abajo al interior del cárcamo de almacenamiento de sedimento. El Cono, situado por encima del agujero al interior de la Tolva de Tanqueo, evita que el régimen de flujo de vórtice penetre en el cárcamo.

El Downstream Defender® fue diseñado para evitar que los contaminantes se acumulen en la Tolva de Tanqueo. La Tolva de Tanqueo tiene un ángulo que va mas allá del “ángulo crítico de reposo”, es decir, el ángulo más pronunciado en el que el material granular se sedimentará, en lugar de resbalar (Ilust.20b). Los contaminantes son transportados de manera efectiva al cárcamo, en donde son protegidos en contra del arrastre

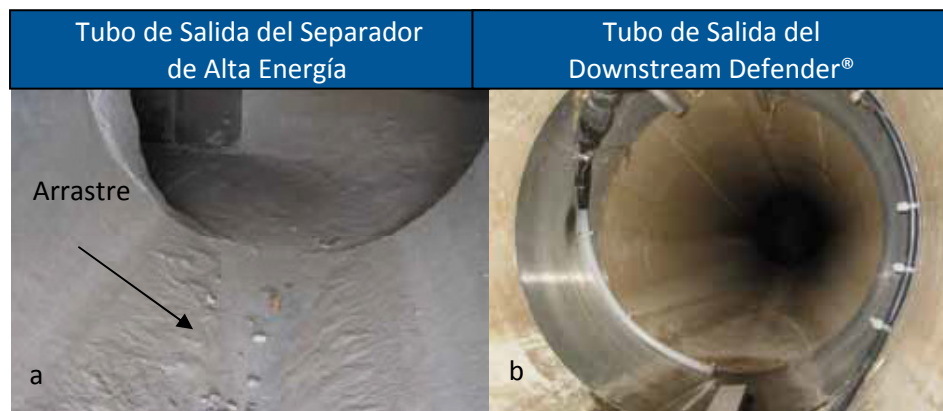
Fotos tomadas después de la instalación del tubo de salida del Separador de Vórtice de Alta Energía de la Ilust.20a muestran una estela de sedimento que sale del dispositivo después de haber sido lavado del cárcamo durante una tormenta precedente (Ilust. 21a).



Ilust. 20 a) En esta imagen se muestra el sedimento capturado en la repisa plana de un separador de vórtice de alta energía siendo arrastrado hacia afuera en flujos moderados durante el experimento realizado en el 2005 en la Universidad John Moores de Liverpool; b) La Tolva de Tanqueo del Downstream Defender® tiene un ángulo que va más allá del “ángulo de reposo” para evitar que el sedimento se asiente en ella.

A la inversa, el tubo de salida del Downstream Defender®, que ha estado instalado por más de dos años, se encuentra libre de depósitos de sedimento (Ilust.21b).

La presencia de sedimento en el tubo de salida del Separador de Vórtice de Alta Energía y la falta de sedimento en el tubo de salida del Downstream Defender® son consistentes con los hallazgos del estudio de la Universidad John Moores de Liverpool del 2005.



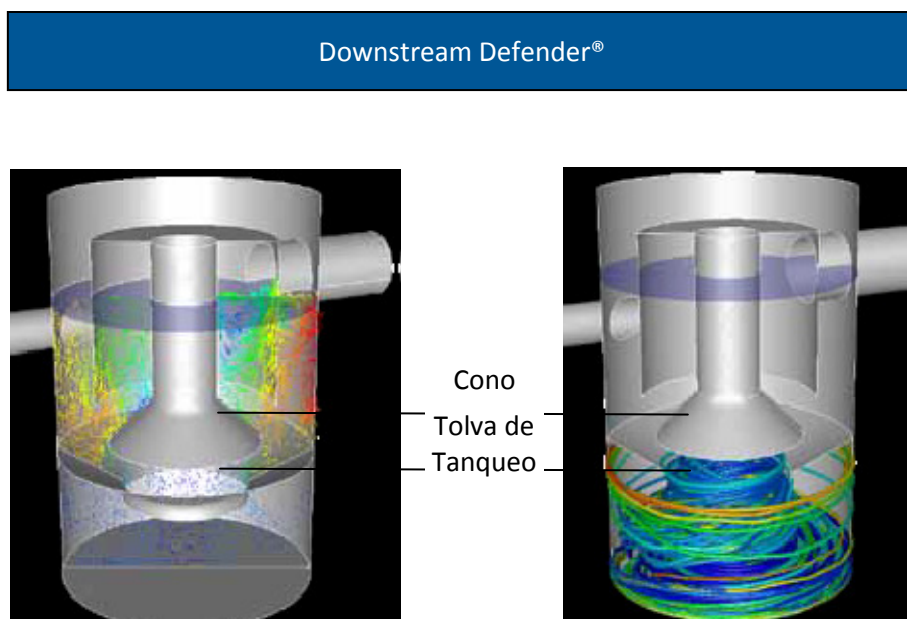
Ilust.21 a) Una foto de campo tomada del tubo de salida viendo hacia adentro del Separador de Vórtice de Alta Energía muestra una estela de sedimento siendo arrastrado hacia afuera del dispositivo, mientras que b) una foto de campo tomada del Downstream Defender® muestra que el tubo de salida se encuentra libre de depósitos de sedimento.

Protegiendo al Almacenamiento de Sedimento de las Velocidades de Lavado Elevadas

La Tolva de Tanqueo y el Cono son los componentes claves usados para proteger el cárcamo de almacenamiento de contaminantes del Downstream Defender® en contra del arrastre.

La Tolva de Tanqueo forma una barrera física entre la cámara de tratamiento y el cárcamo de almacenamiento de contaminantes. El Cono, situado por encima del orificio de la Tolva de Tanqueo, evita que el régimen de flujo de vórtice penetre en el cárcamo (Ilust.22a) y vuelva a suspender el sedimento capturado (Ilust.22b).

Ilust.22 a) El modelado de dinámica computarizada de fluidos de vectores de velocidad al interior de un Downstream Defender® muestra condiciones de inactividad al interior del cárcamo, tal como lo indica la baja densidad de los vectores de velocidad color azul marino; b) El modelado de transporte de partículas muestra que aun cuando el sedimento en la base se mueve alrededor lentamente, no abandona el cárcamo.



Vea el Video de la Prueba de Arrastre del Downstream Defender®

www.hydro-int.com/us/products/downstream-defender

Recursos Multimedia sobre el Downstream Defender® disponibles en el sitio www.hydro-int.com



Calculadora de
Tamaño de
Downstream
Defender®



Video de
Introducción



Videos de Prueba de
Arrastre



Video de
Instrucciones de
Mantenimiento

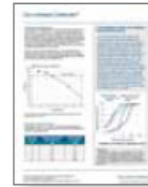
Documentos sobre el Downstream Defender® disponibles en el sitio www.hydro-int.com



Ficha Técnica



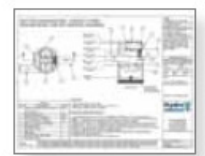
Estudios
de Caso



Informes de
Pruebas de
Desempeño



Manual de
Operación y
Mantenimiento



Planos Generales

Catálogos de Productos



Soluciones para
Aguas Pluviales



Soluciones para
Agua y Aguas
Residuales



Soluciones para
Aguas Residuales
/ Clima Húmedo

Referencias

Field, R (1972). "The Swirl Concentrator as a CSO Regulation Facility." USEPA-R2-72-008

Marsalek, J., Anderson, B. C. y Watt, W. E. (2002). "Suspended Particulate in Urban Stormwater Ponds: Physical, Chemical and Toxicological Characteristics", 9ª Conferencia Internacional sobre Drenaje Urbano, Portland, Oregon, EUA, 8-13 Septiembre.

Bentzen, T. R., Larsen, T., Thorndahl, S. y Rasmussen, M. R. (2005). "Removal of Heavy Metals and PAH in Highway Detention Ponds", 10ª Conferencia Internacional sobre Drenaje Urbano, Copenhague, Dinamarca, 21-26 Agosto.

Phipps, D. A., Alkhaddar, R. M. y Faram, M. G. (2005). "Pollutants Retention in Stormwater Treatment Chambers", 10ª Conferencia Internacional sobre Drenaje Urbano, Copenhague, Dinamarca, 21-26 Agosto.

Faram, M. G., Iwugo, K. O. y Andoh, R. Y. G (2006). "Quantification of Persistent Pollutants Captured by Proprietary Stormwater Sediment Interceptors", IWA 10ª Conferencia Internacional Especializada sobre Contaminación Difusa y Gestión de cuencas Sustentables, Estambul, Turquía, 18-22 Septiembre.

Soluciones Hidropluviales

94 Hutchins Drive
Portland, ME 04102
Tel: (207) 756-6200
Fax: (207) 756-6212
www.hydro-int.com

Turning Water Around...®