gunt HAMBURG

Equipos
para la educación
en ingeniería

Hidráulica para ingenieros civiles

4b

Bienvenidos a GUNT

El presente catálogo contiene una descripción exhaustiva de nuestros innovadores equipos de demostración y de ensayo.

Equipos GUNT para:

- formación en profesiones técnicas
- cursos de formación y perfeccionamiento para personal técnico en la artesanía y la industria
- estudio de las disciplinas de un ingeniero

Pie de imprenta

© 2018 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La reutilización, el almacenamiento, la reproducción y la reimpresión del contenido – ya sea total o parcial – sólo están permitidos con la autorización escrita. GUNT es una marca registrada. Los productos GUNT están protegidos por derechos de autor.

No se proporciona ninguna garantía por fallos de impresión.
Reservado el derecho a efectuar modificaciones.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Prof. Dr. Ing. Bernhard Haber de la Escuela Superior de Bochum, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto de Agua y Medio Ambiente, Especialidad en Ingeniería Hidráulica e Hidromecánica, por su ayuda amable y competente en el tema del “flujo en canales abiertos”.

Revisión técnica y términos en español: Doctor Ingeniero Luis Castillo Elsitdié, Profesor Titular de Universidad, Grupo de I+D+i en Ing. Hidráulica, Marítima y Medioambiental Hidr@m, Universidad Politécnica de Cartagena.

Fotografías: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, fotografías del fabricante, Shutterstock, 123RF.
Diseño y composición: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hamburgo.
Impresión: impreso en papel reciclable blanqueado sin cloro.

Tabla de materias

Hidráulica para ingenieros civiles

	Introducción	004
1	Fundamentos de la mecánica de fluidos	008
2	Ingeniería hidráulica	066
	Índice conocimientos básicos flujo en canales abiertos	196
	Índice	199
	Vista general de productos	203

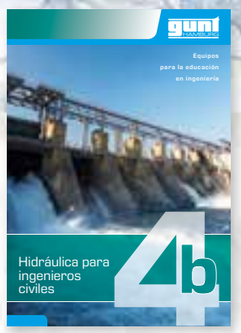
Mecánica de fluidos en GUNT

La mecánica de fluidos desempeña un papel central y fundamental en la formación de ingenieros. En un amplio espectro de disciplinas de ingeniería, como ingeniería mecánica y de instalaciones, ingeniería energética y de procesos, ingeniería ambiental, construcción naval, ingeniería civil, ingeniería agrícola, tecnología de los alimentos, etc., las clases y los ejercicios de laboratorio sobre mecánica de fluidos forman parte del programa básico. También en la formación y cualificación profesional para muchas profesiones técnicas, los fundamentos de la mecánica de fluidos son un componente imprescindible del programa didáctico.

El gráfico inferior aclara la estructura del programa de GUNT del área de productos 4. La mecánica de fluidos general se encuentra en el catálogo 4. El catálogo 4b trata el tema de la ingeniería hidráulica y el catálogo 4a, por otro lado, se centra en las máquinas fluidomecánicas.

- ingeniería mecánica
- ingeniería de construcción de instalaciones
- ingeniería aeronáutica y aeroespacial
- automoción
- ingeniería de accionamientos
- ingeniería energética

- ingeniería mecánica
- ingeniería aeronáutica y aeroespacial
- ciencias naturales aplicadas
- construcción naval
- ingeniería energética
- ingeniería de procesos



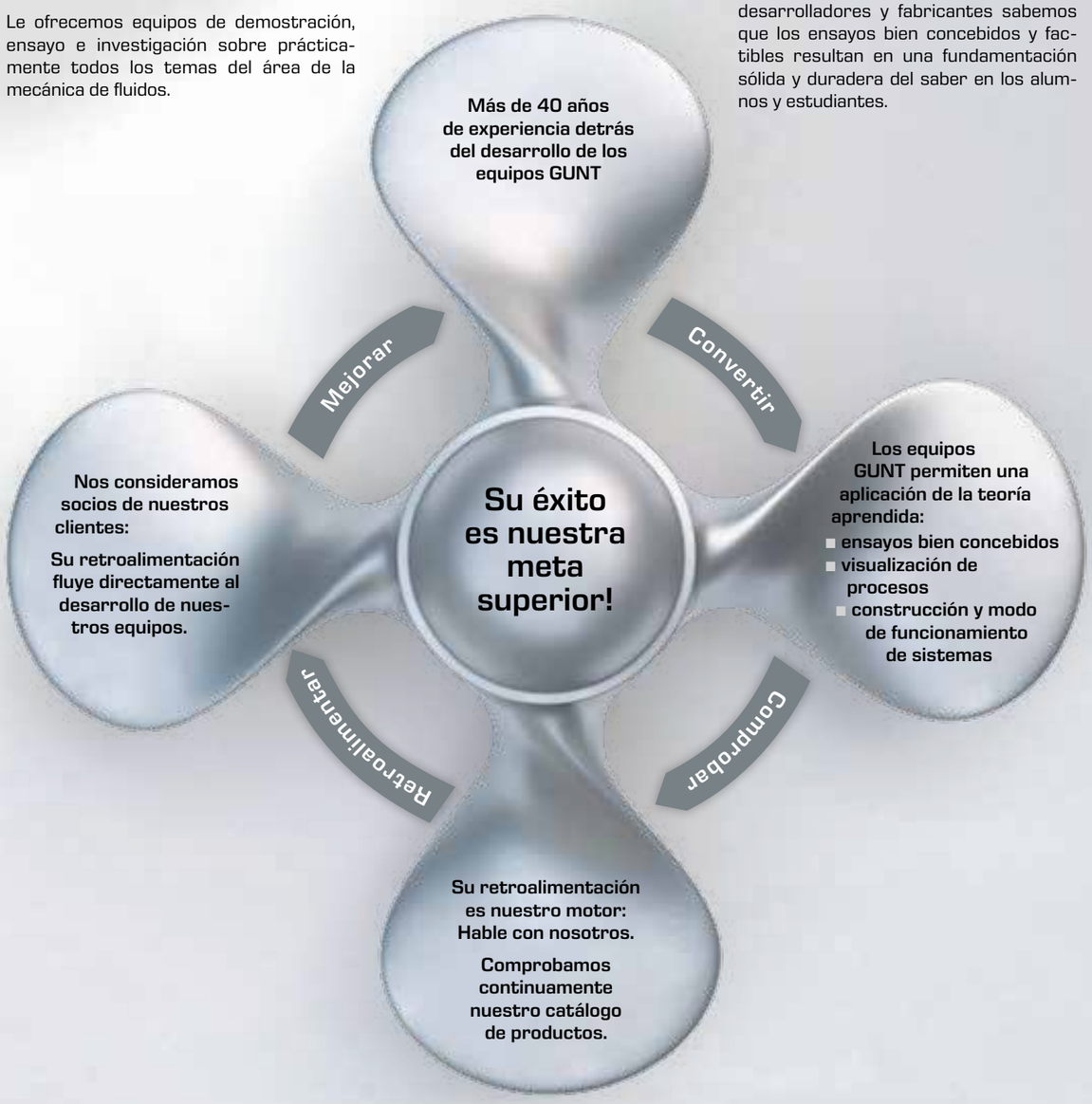
- ingeniería hidráulica
- tecnología de suministro
- construcción naval
- tecnología marina
- ingeniería medioambiental
- ciencias de la tierra

¿Qué puede hacer GUNT por usted,...

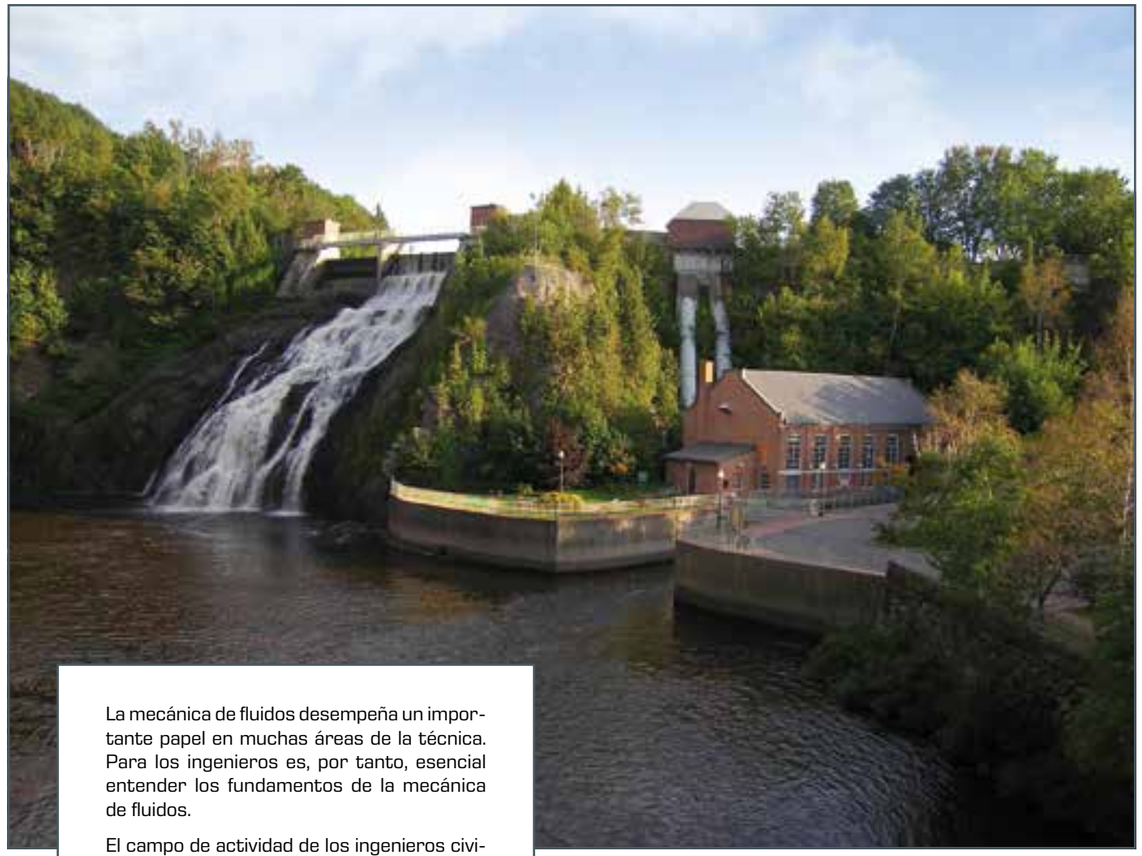
...para ayudarle y enriquecer sus clases o lecciones?

Le ofrecemos equipos de demostración, ensayo e investigación sobre prácticamente todos los temas del área de la mecánica de fluidos.

Usted como docente en escuelas y escuelas superiores y **nosotros** como desarrolladores y fabricantes sabemos que los ensayos bien concebidos y factibles resultan en una fundamentación sólida y duradera del saber en los alumnos y estudiantes.



Sistemas didácticos y de aprendizaje para el área de la hidráulica para ingenieros civiles



La mecánica de fluidos desempeña un importante papel en muchas áreas de la técnica. Para los ingenieros es, por tanto, esencial entender los fundamentos de la mecánica de fluidos.

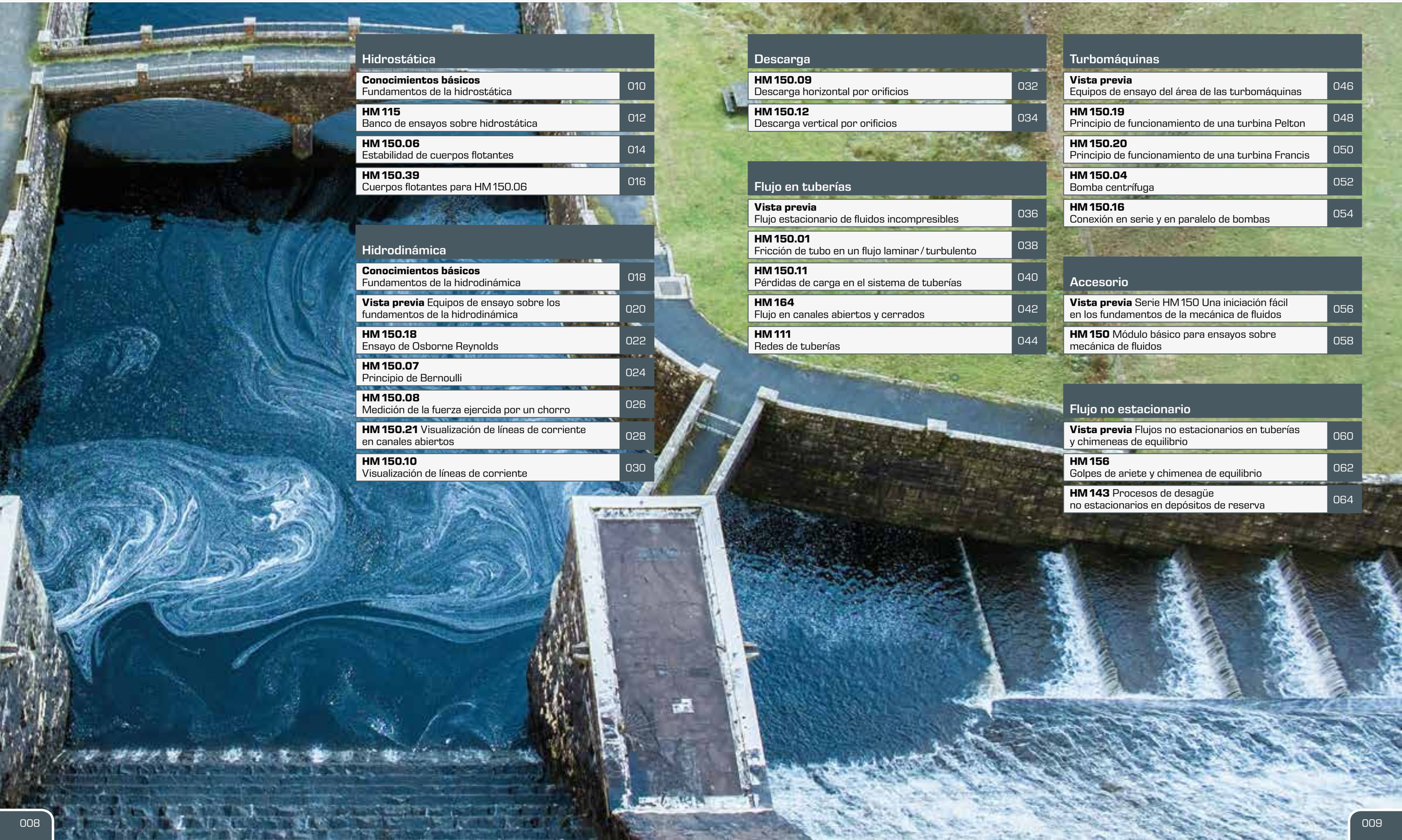
El campo de actividad de los ingenieros civiles incluye construcciones para el suministro de agua, drenaje y protección del agua. Determinadas áreas del campo general de la mecánica de fluidos tienen una importancia secundaria en el curriculum de la ingeniería civil, como, p.ej., los fundamentos del flujo compresible. Para tener en cuenta este aspecto, hemos creado además del **catálogo 4** "**Mecánica de fluidos**", un **catálogo 4b independiente** "**Hidráulica para ingenieros civiles**". Los sistemas de ensayo y aprendizaje tienen en cuenta especialmente las necesidades de formación de la ingeniería civil.

El catálogo 4b se divide en dos capítulos. En el primer capítulo se encuentran fundamentos generales de la mecánica de fluidos, que son relevantes para múltiples disciplinas, p.ej., ecuaciones fundamentales (entre otras, la ecuación de continuidad y la de Bernoulli), flujo en tuberías y turbomáquinas. El segundo capítulo contiene los temas específicos para ingenieros civiles, centrándose en la «ingeniería hidráulica». En este se tratan el flujo en canales abiertos, el transporte de sedimentos en canales abiertos y el flujo a través de medios porosos.

Los subcapítulos van precedidos por páginas informativas con información básica y explican de forma fácilmente comprensible las relaciones técnicas y físicas. De este modo, la introducción al tema correspondiente resulta más fácil. Los equipos GUNT permiten la demostración y estudio práctico de las relaciones.

Contenidos didácticos de "hidráulica para ingenieros civiles"		Productos GUNT
Hidrostática	■ vasos comunicantes, presión sobre superficies planas, empuje, paradoja hidráulica ■ condiciones de flotación	HM115, HM150.06
Hidrodinámica	■ ecuación de continuidad, consideración de energía (Bernoulli) ■ principio del momento lineal ■ flujo laminar / turbulento, número de Reynolds ■ flujo potencial, líneas de corriente	HM150.07, HM150.08, HM150.18, HM150.10, HM150.21
Descarga por orificios	■ descarga horizontal ■ descarga vertical ■ descarga bajo una compuerta	HM150.09, HM150.12, HM160 – HM163 y accesorios
Turbomáquinas	■ bombas centrífugas ■ turbinas	HM150.04, HM150.16, HM150.19, HM150.20
Descarga con nivel de agua libre	■ ecuaciones de flujo ■ relación entre energía específica y profundidad de descarga ■ transición de flujo ■ descarga uniforme y variada ■ modificación en la sección transversal ■ estructuras de control (caída libre y chorro sumergido)	HM160 – HM163 y accesorios
Determinación de descarga en canales abiertos	■ vertederos de aforo ■ medición de velocidad ■ método del trazador	HM156, HM143, HM160 – HM163 y accesorios
Moviemiento no estacionario del agua	■ en tuberías cerradas (vibración de masa) ■ con superficie libre: retención de depósitos de reserva ■ con superficie libre: subida y descenso del nivel, flujo en canales abiertos no estacionario con fricción ■ con superficie libre: llenado y vaciado de esclusas, flujo de marea	HM156, HM143, HM160 – HM163 y accesorios
Olas	■ olas de aguas profundas y poco profundas ■ olas cambiantes	HM160 – HM163 y accesorios
Transporte de sólidos	■ tipos del transporte de sólidos ■ ecuaciones para evaluación de masas transportadas	HM166, HM140, HM168, HM142
Flujo a través de medios porosos, flujo de agua subterránea	■ flujo de agua subterránea, acuífero ■ niveles de acuíferos ■ ley de Darcy, coeficiente de permeabilidad ■ descenso del nivel del agua subterránea ■ filtros (filtro de grava, geotextile filters) ■ infiltración de estructuras ■ filtración de presas	HM152, HM165, HM167, HM169, HM145, HM141, CE116

1 Fundamentos de la mecánica de fluidos



Hidrostática

Conocimientos básicos Fundamentos de la hidrostática 010

HM 115 Banco de ensayos sobre hidrostática 012

HM 150.06 Estabilidad de cuerpos flotantes 014

HM 150.39 Cuerpos flotantes para HM 150.06 016

Hidrodinámica

Conocimientos básicos Fundamentos de la hidrodinámica 018

Vista previa Equipos de ensayo sobre los fundamentos de la hidrodinámica 020

HM 150.18 Ensayo de Osborne Reynolds 022

HM 150.07 Principio de Bernoulli 024

HM 150.08 Medición de la fuerza ejercida por un chorro 026

HM 150.21 Visualización de líneas de corriente en canales abiertos 028

HM 150.10 Visualización de líneas de corriente 030

Descarga

HM 150.09 Descarga horizontal por orificios 032

HM 150.12 Descarga vertical por orificios 034

Flujo en tuberías

Vista previa Flujo estacionario de fluidos incompresibles 036

HM 150.01 Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento 038

HM 150.11 Pérdidas de carga en el sistema de tuberías 040

HM 164 Flujo en canales abiertos y cerrados 042

HM 111 Redes de tuberías 044

Turbomáquinas

Vista previa Equipos de ensayo del área de las turbomáquinas 046

HM 150.19 Principio de funcionamiento de una turbina Pelton 048

HM 150.20 Principio de funcionamiento de una turbina Francis 050

HM 150.04 Bomba centrífuga 052

HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas 054

Accesorio

Vista previa Serie HM 150 Una iniciación fácil en los fundamentos de la mecánica de fluidos 056

HM 150 Módulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos 058

Flujo no estacionario

Vista previa Flujos no estacionarios en tuberías y chimeneas de equilibrio 060

HM 156 Golpes de ariete y chimenea de equilibrio 062

HM 143 Procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva 064

Conocimientos básicos

Fundamentos de la hidrostática

La hidrostática estudia los fluidos en reposo.

Los equipos de ensayo GUNT cubren los fundamentos de los siguientes temas de la hidrostática: presión hidrostática, empuje, tensión superficial, capilaridad/adhesión.

Fundamentos físicos y propiedades de los fluidos

- medición de la presión con manómetros y sensores de presión
- medición de temperatura
- curva de la presión de vapor
- cambio de estado de gases

Fuerzas

- fuerza de Coriolis
- tensión y fuerzas superficiales
- fuerzas de empuje
- presión hidrostática y fuerzas resultantes

Presión hidrostática

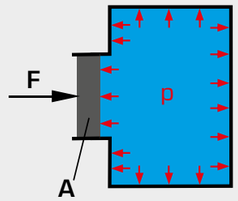
La presión en los fluidos en reposo no depende de la dirección. Depende linealmente de la altura del fluido sobre el elemento estudiado o de la profundidad de inmersión.

La presión hidrostática para fluidos incompresibles, que no están sujetos a la gravedad, se calcula según la ley de Pascal.

Ley de Pascal

El efecto de una fuerza **F** sobre un líquido en reposo genera dentro del líquido una presión **p**, que se extiende uniformemente en todas las direcciones. La presión siempre actúa perpendicularmente a sobre la superficie limitadora **A** del líquido.

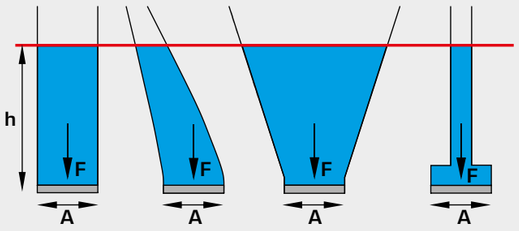
Todos los procesos de fuerza y presión en líquidos se basan en esta ley.



$$p = F / A$$

Paradoja hidrostática

La presión hidrostática genera una fuerza **F** en la superficie **A**. En una superficie igual, esta fuerza solo depende del nivel **h**. La forma del depósito no influye en este caso.

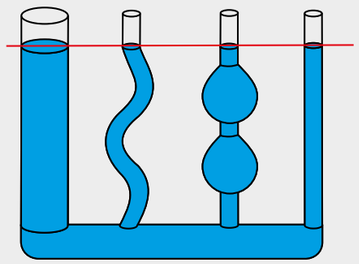


h nivel, **F** fuerza, **A** superficie, **línea roja** nivel

Vasos comunicantes

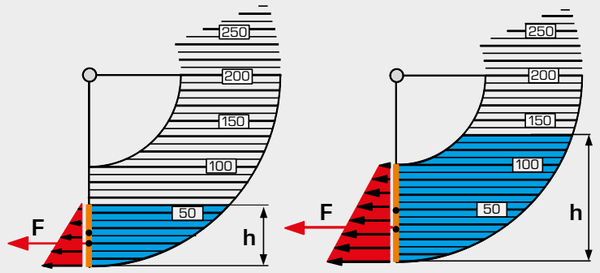
Los vasos comunicantes son tuberías abiertas por la parte superior y comunicadas entre sí por la parte inferior. Independientemente de la forma y el tamaño de las tuberías, el nivel del fluido en ellas es el mismo.

Aplicación: entre otras, nivel de agua, esclusa y sifón en alcantarillados.



Presión hidrostática en paredes

Además de la presión sobre el fondo de un fluido, a menudo también es importante conocer la presión hidrostática en superficies limitadoras, para, p.ej., calcular las fuerzas que actúan en las paredes laterales (conducto, acuario, etc.) o en un vertedero.

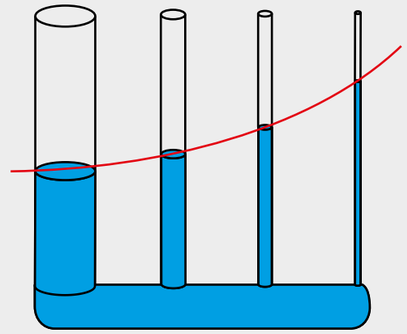


h nivel, **F** fuerza resultante, **A** superficie efectiva,
perfil de presión, nivel de agua

Capilaridad

Los líquidos ascienden o descienden en capilares debido a las fuerzas moleculares entre líquido y pared o entre líquido y aire. La altura de ascensión en el capilar depende de la tensión superficial y del diámetro del capilar.

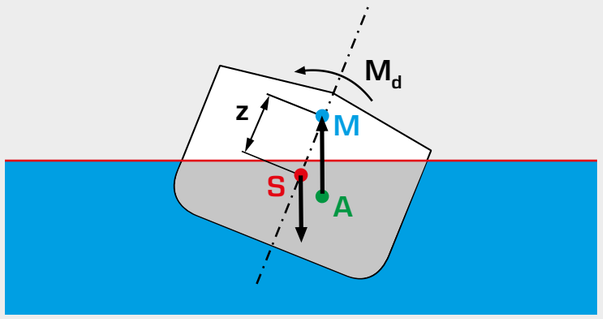
En líquidos humectantes (p.ej. agua), el nivel de líquido en el capilar asciende mientras que en líquidos no humectantes (p.ej. mercurio), el nivel de líquido desciende.



Estabilidad de cuerpos flotantes

Para poder evaluar si un cuerpo flota de forma estable o si puede zozobrar, se determina el metacentro **M**. La posición del metacentro depende del centro de gravedad del agua desplazada **A** y del ángulo de escora. El cuerpo flota de forma estable si el metacentro **M** se encuentra por encima del centro de masas **S**. El momento restaurador $\mathbf{M_d}$ tiende a restaurar la posición vertical.

La distancia entre el centro de masas y el metacentro se denomina altura metacéntrica **z**.



M metacentro, **S** centro de masas,
A centro de empuje, **z** altura metacéntrica,
$\mathbf{M_d}$ momento restaurador, que tiende a enderezar el cuerpo flotante,
línea roja nivel de agua

HM 115
Banco de ensayos sobre hidrostática

La ilustración muestra un aparato similar.

Descripción

- **ensayos fundamentales sobre hidrostática**
- **amplio espectro experimental**
- **circuito de agua cerrado con depósitos y bomba**

En la hidrostática se tiene en cuenta el estado de los fluidos en reposo. Los fenómenos producidos como consecuencia de la presión hidrostática son analizados y el efecto dinámico determinado. En distintas áreas de la técnica como, p.ej., en la ingeniería sanitaria y doméstica, en la construcción de bombas en la ingeniería aeronáutica y astronáutica, así como en la ingeniería naval (flotabilidad, carga de las bordas), las consideraciones hidrostáticas resultan de gran importancia.

Con el HM 115 pueden realizarse experimentos de alguna de las áreas de la hidrostática, como la medición de la presión sobre el suelo o la demostración de la ley de Boyle-Mariotte. La determinación del centro de presión completa el espectro experimental. Además se incluyen equipos de ensayo para estudiar el efecto capilar y la flotabilidad. La presión hidrostática y la tensión superficial se miden. Con ayuda de un tubo de Pitot y una sonda para presión estática, también se estudian en un ensayo las porciones de presión en un flujo de fluido.

Para poder visualizar las funciones y procesos, los depósitos y los equipos de ensayo son transparentes. Los depósitos y tuberías están totalmente fabricados de plástico.

Para las mediciones de presión y diferencia de presión del líquido existen distintos manómetros, como el tubo de Pitot, la sonda para presión estática, el sensor de presión con indicador digital, los dos tubos manométricos o el manómetro de presión diferencial. El manómetro de lámina elástica y el manómetro de Bourdon indican la presión del fluido gaseoso.

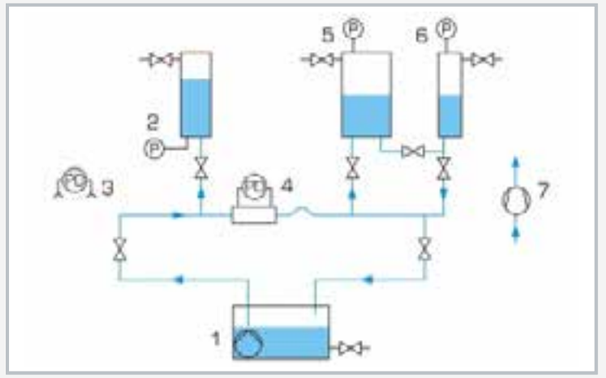
El banco de ensayos posee un sistema de alimentación de aire y agua propio. El circuito cerrado de agua contiene un depósito de reserva con una bomba sumergible. Para los ensayos de aire, el volumen de suministro incluye un compresor para generar sobrepresiones y depresiones.

Contenido didáctico/ensayos

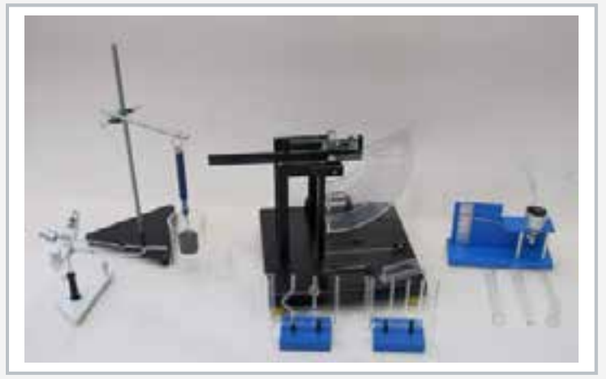
- estudio de la flotabilidad de varios cuerpos
- estudio de la densidad de líquidos
- presión hidrostática, ley de Pascal
- vasos comunicantes
- determinación del centro de presión
- estudio de tensiones superficiales
- demostración del efecto capilar
- ley de Boyle-Mariotte
- estudio del porcentaje de presión estática y dinámica en el fluido fluyente
- familiarización con distintos métodos de la medición de la presión

HM 115
Banco de ensayos sobre hidrostática

1 dos tubos manométricos, 2 depósito, 3 indicador de presión digital, 4 sensor de presión, 5 depósito de reserva con bomba sumergible, 6 tubo de Pitot y sonda para presión estática, 7 manómetro de presión diferencial, 8 sección de tubo, 9 presión hidrostática en líquidos, 10 depósito a presión, 11 depósito a presión, 12 manómetro de Bourdon, 13 manómetro de lámina elástica



1 depósito de reserva con bomba sumergible, 2 depósito con sensor de presión, 3 2 tubos manométricos, 4 tubo de Pitot + sonda para presión estática con manómetro de presión diferencial, 5 depósito a presión con manómetro de Bourdon, 6 depósito a presión con manómetro de lámina elástica, 7 compresor; P presión, PD presión diferencial



Accesorios para un amplio espectro experimental

Especificación

[1] introducción experimental completa a la hidrostática
[2] depósitos transparentes para observar los procesos
[3] gran variedad de accesorios incluidos: compresor para generar sobrepresiones y depresiones, equipo de medición de la presión sobre el suelo, dos areómetros
[4] equipos de ensayo para: medición de la fuerza ascensional, estudio de la presión hidrostática en líquidos, medición de la tensión superficial, vasos comunicantes, efecto capilar
[5] tubo de Pitot para determinar la presión total y sonda para presión estática
[6] instrumentación: sensor de presión con indicador digital, manómetro de presión diferencial, 2 tubos manométricos, manómetro de lámina elástica, manómetro de Bourdon

Datos técnicos

Bomba
- consumo de potencia: 250W
- caudal de salida máx.: 9m^3/h
- altura de elevación máx.: 7,6m

Compresor
- potencia: 65W
- presión de entrada: 240mbar
- presión de salida: 2bar

3 depósitos
- altura: 500mm
- Ø 100mm, Ø 133mm, Ø 200mm

Depósito de reserva para agua: aprox. 50L
2 areómetros con distintos rangos de medición

Rangos de medición
- presión: 2x -1...1,5bar
- presión diferencial: 0...500mmCA
- presión diferencial: 0...0,4bar
- densidad: 1x 0,8...1g/cm^3, 1x 1...1,2g/cm^3

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1760x820x1940mm
Peso: aprox. 270kg

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 compresor
1 equipo de medición de la presión sobre el suelo
2 areómetros
1 depósito cuneiforme equipos de ensayo para: tensión superficial, presión hidrostática en líquidos, fuerza ascensional, efecto capilar, vasos comunicantes
1 material didáctico

HM 150.06
Estabilidad de cuerpos flotantes

Contenido didáctico/ensayos

- estudio y determinación de
  - empuje, centro de empuje
  - centro de masas, metacentro, estabilidad
  - escora

Descripción

- **estabilidad de un cuerpo flotante**
- **determinación del metacentro**
- **otros cuerpos flotantes con distintas formas de cuaderna disponibles opcionalmente, HM 150.39**

En la hidrostática, el metacentro es un punto importante a tener en cuenta cuando se evalúa la estabilidad de cuerpos flotantes. La estabilidad describe la capacidad de un barco de volver a enderezarse desde una posición escorada. El metacentro es la intersección del vector de empuje y el eje simétrico de la nave para una escora dada.

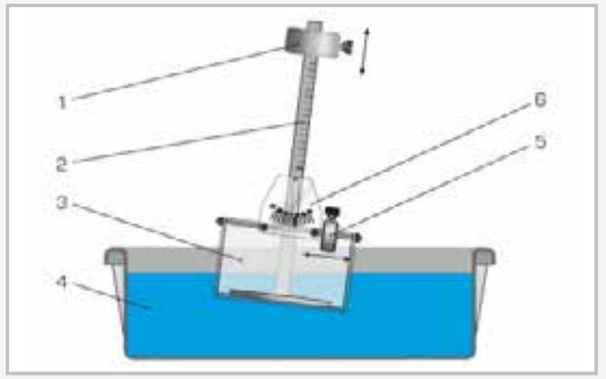
Con el HM 150.06 se examina la estabilidad de un cuerpo flotante y se determina gráficamente el metacentro. Además puede determinarse el empuje del cuerpo flotante. El ensayo es fácil de preparar y es especialmente apropiado para el trabajo práctico en grupos pequeños.

El ensayo se lleva a cabo en un depósito lleno de agua. Un cuerpo transparente con una sección transversal (cuaderna) rectangular se utiliza como cuerpo flotante. Los pesos de apriete que se pueden desplazar horizontal y verticalmente permiten ajustar el centro de masas y la escora.

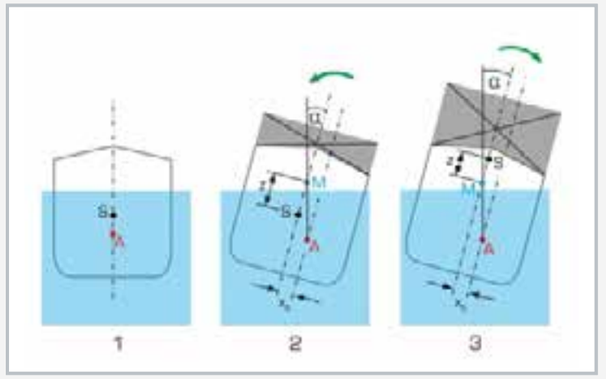
La posición de los pesos de apriete puede leerse en escalas. Un clinómetro indica la escora.

Para realizar otros ensayos con distintas formas de cuaderna hay accesorios opcionales disponibles HM 150.39.

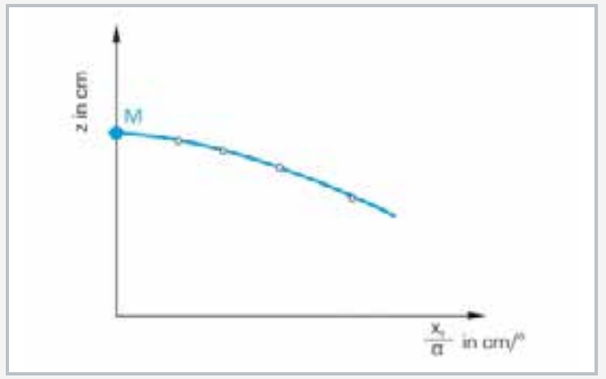
HM 150.06
Estabilidad de cuerpos flotantes



1 ajuste del centro de masas, 2 escala, 3 cuerpo flotante, 4 depósito con agua, 5 ajuste de la escora, 6 clinómetro con escala



1 posición estable, 2 posición estable a pesar de la carga, metacentro encima del centro de masas, 3 posición inestable por la carga, metacentro debajo del centro de masas; flecha verde: momento restaurador, M metacentro, S centro de masas, A centro de empuje, z altura metacéntrica, α ángulo de escora



Determinación gráfica del metacentro: x_s / α gradiente de estabilidad, M metacentro, z posición vertical del centro de masas

Especificación

[1] estudio de la estabilidad en un cuerpo flotante y determinación del metacentro
[2] cuerpo flotante transparente con sección transversal rectangular de cuaderna
[3] 1 peso de apriete desplazable horizontalmente para ajustar la escora
[4] 1 peso de apriete desplazable verticalmente para ajustar el centro de masas
[5] clinómetro con escala para indicar la escora
[6] otros cuerpos flotantes con distintas formas de cuaderna disponibles como accesorios, HM 150.39

Datos técnicos

Cuerpo flotante
- LxAnxAl: 300x130x190mm
- altura del mástil: 400mm

Escala horizontal: 180mm
Escala vertical: 400mm
Escala de altura del cuerpo flotante: 120mm
Escala del clinómetro: ±30°

Pesos
- cuerpo flotante sin peso de apriete: aprox. 2,7kg
- peso de apriete vertical: 575g
- peso de apriete horizontal: 196g

Depósito para agua: 50L

LxAnxAl: 660x450x220mm (depósito)
Peso: aprox. 6kg

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

HM 150.39
Cuerpos flotantes para HM 150.06

Descripción

■ **estabilidad de cuerpos flotantes con distintas formas de cuaderna**

El accesorio HM 150.39 contiene dos cuerpos flotantes transparentes con distintas formas de cuaderna (cuaderna en forma de V y cuaderna en forma de U). Los cuerpos flotantes se utilizan con el HM 150.06 y amplían su espectro de ensayos.

El diseño de los cuerpos flotantes y los ensayos posibles son como los del HM 150.06.

Contenido didáctico/ensayos

■ comparación de dos formas de cuaderna diferentes: cuaderna en forma de V y cuaderna en forma de U

Especificación

[1] determinación del metacentro de 2 cuerpos flotantes con formas de cuaderna distintas: cuaderna en forma de V y cuaderna en forma de U
[2] cada cuaderna con peso de apriete desplazable horizontalmente para ajustar la escora
[3] cada cuaderna con peso de apriete desplazable verticalmente para ajustar el centro de masas
[4] cada cuaderna con clinómetro con escala para indicar la escora
[5] para utilizar con el HM 150.06

Datos técnicos

Cuaderna en forma de V
■ LxAnxAl: 300x200x140mm
■ altura del mástil: 240mm
Cuaderna en forma de U
■ LxAnxAl: 300x200x100mm
■ altura del mástil: 240mm

Escala horizontal: 180mm
Escala vertical: 240mm
Escala de altura del cuerpo flotante: 120mm
Escala del clinómetro: ±30°

Pesos
■ cuerpo flotante sin peso de apriete:
  ▸ cuaderna en forma de V: aprox. 2,9kg
  ▸ cuaderna en forma de U: aprox. 2,4kg
■ peso de apriete vertical: 575g
■ peso de apriete horizontal: 196g

LxAnxAl: 330x220x290mm (cuaderna en forma de V)
LxAnxAl: 330x220x280mm (cuaderna en forma de U)
Peso total: aprox. 7kg

Volumen de suministro

2 cuerpos flotantes
1 manual

Conocimientos básicos

Fundamentos de la hidrodinámica

La hidrodinámica se encarga del estudio y descripción de fluidos en movimiento. La enseñanza de las leyes de conservación de masa, energía e impulso tiene prioridad.

Los fluidos en movimiento poseen energía cinética. Esta energía puede convertirse en energía potencial (presión, altura) vice versa.

Las palabras clave típicas incluyen: ecuación de Bernoulli, ecuación de continuidad y conservación de impulsos. Para una comprensión sencilla, la mayoría de las veces se suelen considerar estados estacionarios de fluidos incompresibles.

Otros temas de la hidrodinámica

- flujo de tubería (laminar / turbulento)
- métodos de la medición del caudal
- flujo en canales abiertos
- flujo alrededor de cuerpos
- turbomáquinas
- flujo de fluidos compresibles

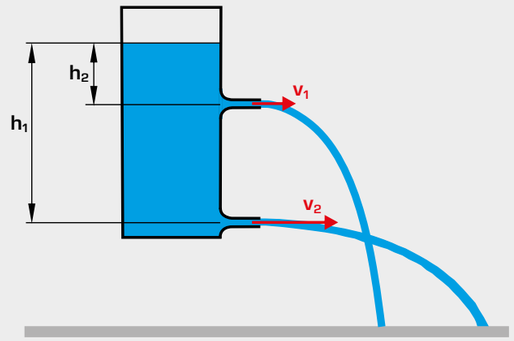
Descarga desde un depósito

La descarga desde un depósito puede considerarse como estacionaria y también como no estacionaria. En el caso estacionario, la altura de llenado y, con ella la anchura del chorro, permanecen constantes (p.ej. en una descarga bajo un vertedero). La velocidad de salida **v** solo depende del salto **h** y se calcula según la fórmula de Torricelli.

$$v = \sqrt{2gh}$$

v velocidad, **g** aceleración de gravedad,
h distancia entre descarga y nivel de agua

Cuando el depósito se vacía durante el proceso de descarga, hablamos de estado no estacionario.

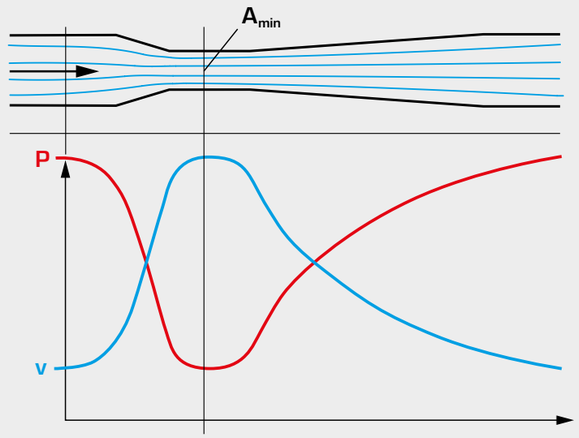


h salto, distancia entre descarga y nivel de agua, **v** velocidad

Tubo de Venturi

En la sección transversal más estrecha, la velocidad del fluido fluyente alcanza su valor máximo (**ecuación de continuidad** A·v = const). Bernoulli descubrió que una porción de la energía de presión es convertida en energía cinética. A mayor velocidad se produce una caída de presión, de modo que la menor presión se produce en la sección transversal más estrecha. La **ecuación de Bernoulli** indica que la energía de un fluido incompresible, en movimiento y libre de fricción es constante.

Aplicación: trompa de agua, carburador, medición de caudal

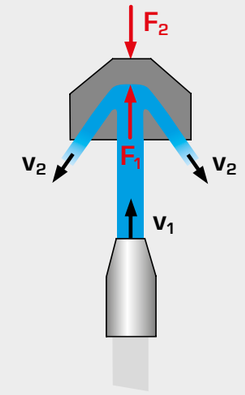


velocidad, curva de presión estática

Fuerzas ejercidas por un chorro

Cuando se produce un cambio de la velocidad del flujo, el impulso de un fluido cambia de magnitud y/o de dirección, produciéndose fuerzas que, p.ej., pueden accionar una turbina Pelton o un vehículo acuático.

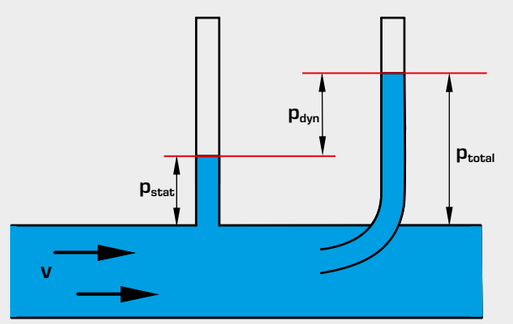
Estas fuerzas se pueden demostrar y medir fácilmente cuando el chorro choca contra una pared y se desvía.



F1 fuerza ejercida por un chorro, **F2** fuerza de reacción, **v1** velocidad de chorro, **v2** velocidad después de un cambio en la dirección

Presión en un fluido en movimiento

La energía de un fluido en movimiento es determinada por la presión, velocidad y densidad. La presión total consta de un componente estático y uno dinámico. El componente dinámico aumenta con el cuadrado de la velocidad del flujo. Un fluido en movimiento puede contener energía potencial, cinética y de presión. En el caso ideal se conserva toda la energía. En este caso, los componentes pueden variar, es decir, p.ej. la energía de presión puede convertirse en energía cinética.



v velocidad, p_{stat} presión estática, p_{dyn} presión dinámica, p_{total} presión total

Formación de vórtices

Los vórtices de producen cuando dentro de un fluido, una porción de este fluye más rápido que las porciones adyacentes. Se produce así un gradiente de velocidad dentro del fluido. La energía se disipa en vórtices.

Los vórtices libres (vórtice potencial, p.ej. remolinos) se producen, p.ej., con la descarga de un depósito. En los vórtices libres, todas las partículas de fluido se mueven en trayectorias circulares concéntricas, sin girar sobre el propio eje de la partícula. Los vórtices libres se producen solamente por fuerzas hidrodinámicas.

Los vórtices forzados son rotacionales y se forman debido a fuerzas externas, p.ej. un agitador.

Equipos de ensayo sobre los fundamentos de la hidrodinámica

Ecuación de continuidad, Bernoulli

HM 150.07
Principio de Bernoulli

- estudio y verificación del principio de Bernoulli
- registro de la distribución de presión en el tubo de Venturi
- seis tubos manométricos para indicar la presión estática y un tubo manométrico para indicar la presión total

Flujo laminar y turbulento

HM 150.18
Ensayo de Osborne Reynolds

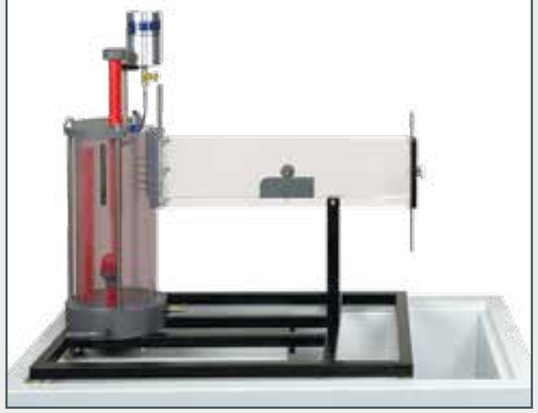
- representación de flujo laminar y turbulento así como del área de transición
- determinación del número de Reynolds crítico
- visualización de los estados de flujo con tinta como contraste

Visualización de líneas de corriente

HM 150.10
Visualización de líneas de corriente

- visualización de líneas de corriente con tinta como contraste
- diversos modelos incluidos en el volumen de suministro: cuerpos de resistencia y modificaciones de la sección transversal
- influencia de fuentes y sumideros

HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos



- demostración de fenómenos de flujo en canales abiertos
- flujo incidente y flujo alrededor de distintos vertederos y cuerpos de resistencia
- visualización de las líneas de corriente con tinta como contraste

Descarga por orificios

HM 150.09
Descarga horizontal por orificios

HM 150.12
Descarga vertical por orificios

- visualización de la trayectoria del chorro de agua con HM 150.09
- estudios del chorro de salida (caudal, velocidad) con HM 150.12
- determinación del coeficiente de contracción en ambos equipos de ensayo

Fuerzas ejercidas por un chorro

HM 150.08
Medición de la fuerza ejercida por un chorro

- estudio de fuerzas ejercidas por un chorro y demostración del principio del momento lineal
- cuatro deflectores de formas diferentes: superficie plana, superficie oblicua, superficie semicircular, superficie cónica
- influencia de flujo másico y desviación

HM 150.18
Ensayo de Osborne Reynolds

Contenido didáctico/ensayos

- visualización del flujo laminar
- visualización del área de transición
- visualización del flujo turbulento
- determinación del número de Reynolds crítico

Descripción

- **visualización de flujo laminar y turbulento**
- **determinación del número de Reynolds crítico**
- **ensayo clásico siguiendo el ejemplo del físico británico Osborne Reynolds**

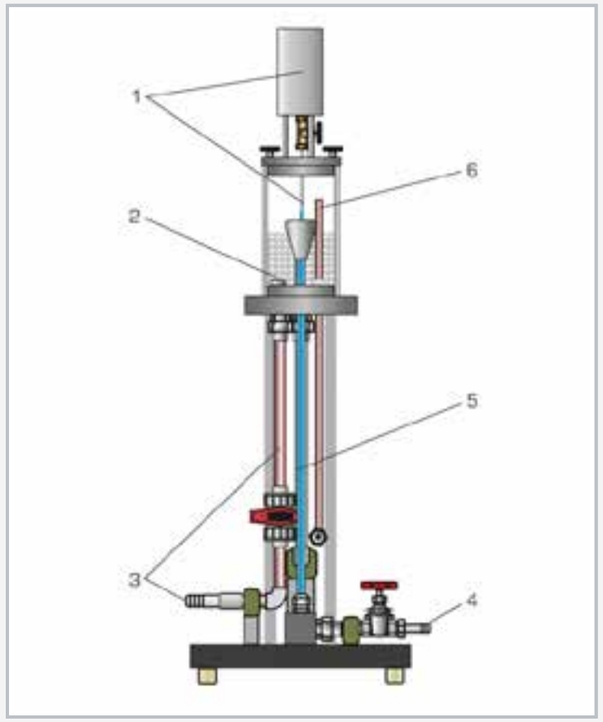
En el ensayo de Osborne Reynolds se representan el flujo laminar y turbulento. Aquí se puede observar, a partir de una velocidad límite, la transición de flujo laminar a turbulento. Para evaluar si un flujo es laminar o turbulento se utiliza el número de Reynolds.

Con el HM 150.18 se representan en color las líneas de corriente en el flujo laminar o turbulento con ayuda de un contraste introducido (tinta). A partir de los resultados del ensayo se determina el número de Reynolds crítico.

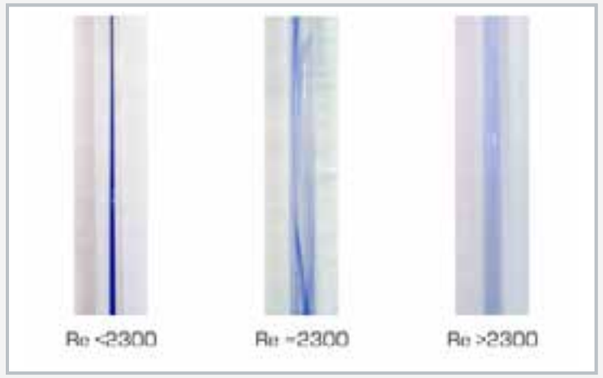
El equipo de ensayo consta de una sección de tubo transparente por la cual fluye el agua con una alimentación de flujo optimizada. A través de una válvula puede ajustarse el caudal en la sección de tubo. La tinta se introduce en el agua que fluye. Una capa de esferas de vidrio en el depósito de alimentación se encarga de que el flujo sea uniforme y con escasas turbulencias.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

HM 150.18
Ensayo de Osborne Reynolds



1 depósitos para tinta con tubo de alimentación, 2 depósito de alimentación con esferas de vidrio, 3 alimentación de agua, 4 salida de agua con válvula de control, 5 sección de tubo de vidrio, 6 rebosadero



Estados de flujo de izquierda a derecha: flujo laminar, transición de flujo laminar a turbulento, flujo turbulento

Especificación

[1] visualización de flujo laminar y turbulento en el ensayo de Osborne Reynolds
[2] agua como medio fluyente y tinta como contraste
[3] sección de tubo vertical de vidrio
[4] depósito de agua con esferas de vidrio para amortiguar el flujo
[5] caudal de la sección de tubo ajustable mediante válvula
[6] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[7] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Depósito de alimentación
- capacidad: 2200mL

Sección de tubo
- longitud: 675mm
- Ø interior: 10mm

Depósitos para tinta
- capacidad: aprox. 250mL

LxAnxAl: 400x400x1140mm
Peso: aprox. 16kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 bolsa de bolas de vidrio
1 tinta (1L)
1 material didáctico

HM 150.07
Principio de Bernoulli

Descripción

- **estudio y verificación del principio de Bernoulli**
- **presiones estáticas y distribución de la presión total a lo largo del tubo de Venturi**
- **determinación del coeficiente de caudal en distintos caudales**

El principio de Bernoulli describe la relación entre la velocidad de flujo de un fluido y su presión. Por tanto, un aumento de la velocidad en un fluido de fluidos provoca una caída de presión y vice versa. La presión total del fluido permanece constante. La ecuación de Bernoulli se denomina también ley de conservación de la energía del flujo.

Con el equipo de ensayo HM 150.07 se demuestra el principio de Bernoulli determinando las presiones en un tubo de Venturi.

El equipo de ensayo contiene una sección de tubo con un tubo de Venturi transparente y un tubo de Pitot móvil para medir la presión total. El tubo de Pitot se encuentra dentro del tubo de Venturi y es desplazado axialmente dentro de este. Gracias a la placa frontal transparente del tubo de Venturi, puede observarse la posición del tubo de Pitot.

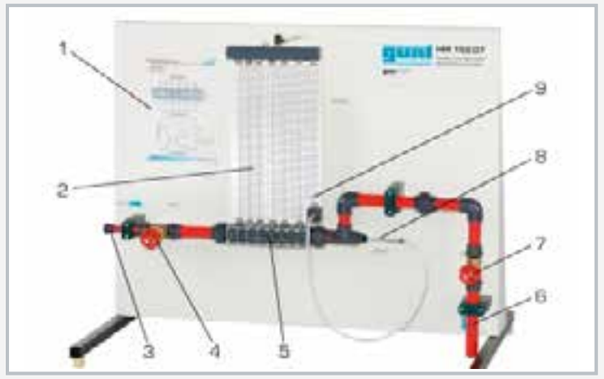
El tubo de Venturi posee puntos de medición para determinar las presiones estáticas. Las presiones de muestran en los seis tubos manométricos. La presión total se mide con el tubo de Pitot y se indica en un tubo manométrico adicional.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

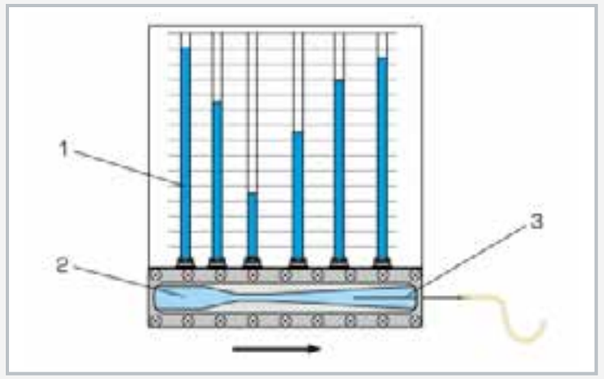
Contenido didáctico/ensayos

- conversión de energía en un flujo de tubo divergente / convergente
- registro del desarrollo de presión en el tubo de Venturi
- determinación del desarrollo de la velocidad en el tubo de Venturi
- determinación del coeficiente de caudal
- detección de efectos de fricción

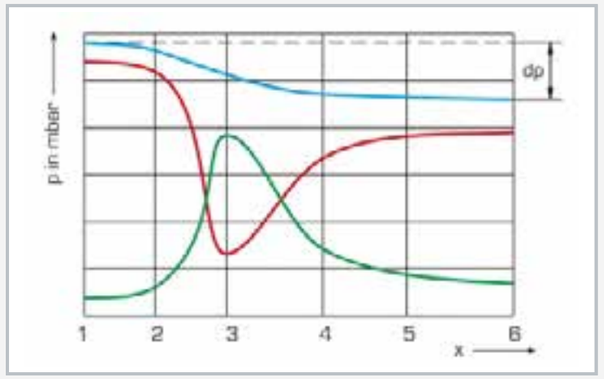
HM 150.07
Principio de Bernoulli



1 esquema, 2 tubos manométricos (presiones estáticas), 3 alimentación de agua, 4 válvula para alimentación de agua, 5 tubo de Venturi, 6 salida de agua, 7 válvula para salida de agua, 8 tubo de Pitot, 9 tubo manométrico (presión total)



Medición de las presiones en un tubo de Venturi
1 tubos manométricos para indicar las presiones estáticas, 2 tubo de Venturi con puntos de medición, 3 tubo de Pitot para medir la presión total, desplazable axialmente



Desarrollo de presión en el tubo de Venturi: azul: presión total, rojo: presión estática, verde: presión dinámica; x puntos de medición de presión, p presión, dp pérdida de carga debido a la fricción

Especificación

[1] familiarización con el principio de Bernoulli
[2] tubo de Venturi con placa frontal transparente y puntos de medición para la medición de presiones estáticas
[3] tubo de Pitot desplazable axialmente para determinar la presión total en distintos puntos del tubo de Venturi
[4] 6 tubos manométricos para indicar las presiones estáticas
[5] 1 tubo manométrico para indicar la presión total
[6] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[7] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Tubo de Venturi
- A: 84...338mm^2
- ángulo en la entrada: 10,5°
- ángulo en la salida: 4°

Tubo de Pitot
- área desplazable: 0...200mm
- Ø 4mm

Tubos y conectores de tubos: PVC

Rangos de medición
- presión:
  - 0...290mmCA (presión estática)
  - 0...370mmCA (presión total)

LxAnxAl: 1100x680x900mm
Peso: aprox. 28kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

HM 150.08
Medición de la fuerza ejercida por un chorro

Contenido didáctico/ensayos

- demostración del principio del momento lineal
- estudio de la fuerza ejercida por un chorro
- influencia del caudal y la velocidad de flujo
- influencia de distintos ángulos de desviación

Descripción

- **estudio de las fuerzas ejercidas por un chorro en deflectores**
- **demostración del principio del momento lineal**
- **cuatro deflectores intercambiables con distintos ángulos de desviación**

Cuando un fluido en movimiento acelera, decelera o cambia de dirección se produce un cambio en su vector velocidad y, por tanto, en su impulso. Los cambios del impulso resultan en fuerzas.

En la práctica, las fuerzas del impulso se utilizan para convertir la energía del flujo en trabajo técnico, p.ej., en turbinas Pelton.

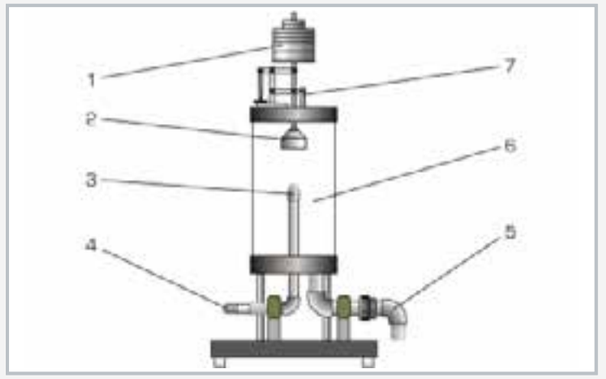
En el HM 150.08 se generan y estudian fuerzas ejercidas por un chorro con ayuda de un chorro de agua que se desvía al chocar contra un deflector intercambiable.

El equipo de ensayo contiene un depósito transparente, una tobera, cuatro deflectores intercambiables con ángulos de desviación diferentes y una balanza con contrapeso. La fuerza del chorro de agua se ajusta mediante el caudal.

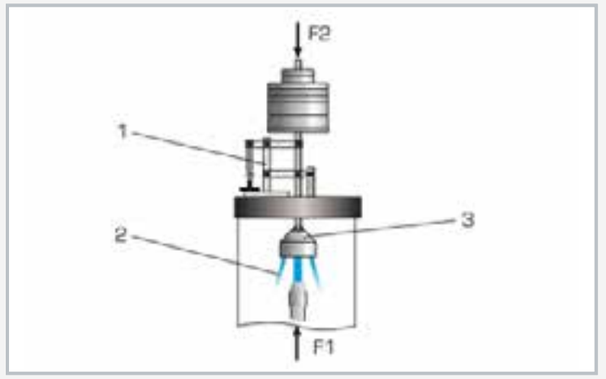
Los ensayos estudian la influencia de la velocidad del flujo y del caudal, así como los distintos ángulos de desviación. Las fuerzas ejercidas por un chorro producidas por el chorro de agua se determinan en la balanza con contrapeso. Con ayuda del principio del momento lineal se calculan las fuerzas y se comparan con las mediciones.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición del caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

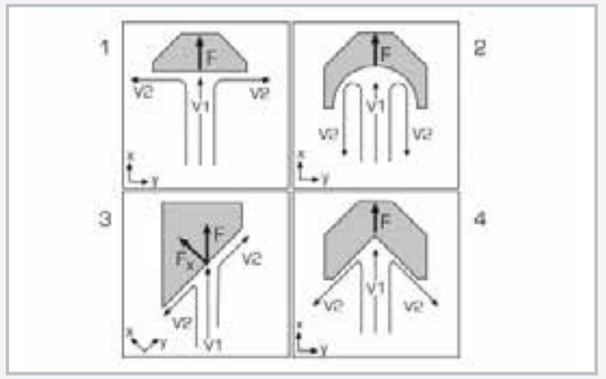
HM 150.08
Medición de la fuerza ejercida por un chorro



1 peso, 2 deflector, 3 tobera, 4 alimentación de agua, 5 desagüe, 6 depósito, 7 sistema de palanca



Medición de las fuerzas ejercidas por un chorro a través de la balanza con contrapeso
1 sistema de palanca, 2 chorro de agua desviado, 3 deflector con superficie cónica;
F1 fuerza ejercida por un chorro, F2 peso



Distribución de las velocidades v y fuerzas F en deflectores
1 deflector con superficie plana, 2 deflector con superficie semicircular, 3 deflector con superficie oblicua, 4 deflector con superficie cónica

Especificación

[1] estudio de las fuerzas ejercidas por un chorro y demostración del principio del momento lineal
[2] depósitos de material transparente para observar los ensayos
[3] tobera para generar el chorro de agua
[4] fuerza ejercida por un chorro ajustable mediante caudal
[5] 4 deflectores de formas diferentes: superficie plana, superficie oblicua, superficie semicircular, superficie cónica
[6] medición de las fuerzas ejercidas por un chorro a través de la balanza con contrapeso
[7] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[8] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través del suministro del laboratorio

Datos técnicos

Depósito
- Ø interior: 200mm
- altura: 340mm

Tobera
- Ø 10mm

Deflectores
- superficie plana: 90°
- superficie oblicua: 45°/135°
- superficie semicircular: 180°
- superficie cónica: 135°

Pesos
- 4x 0,2N
- 3x 0,3N
- 2x 1N
- 2x 2N
- 2x 5N

LxAnxAl: 400x400x880mm
Peso: aprox. 23kg

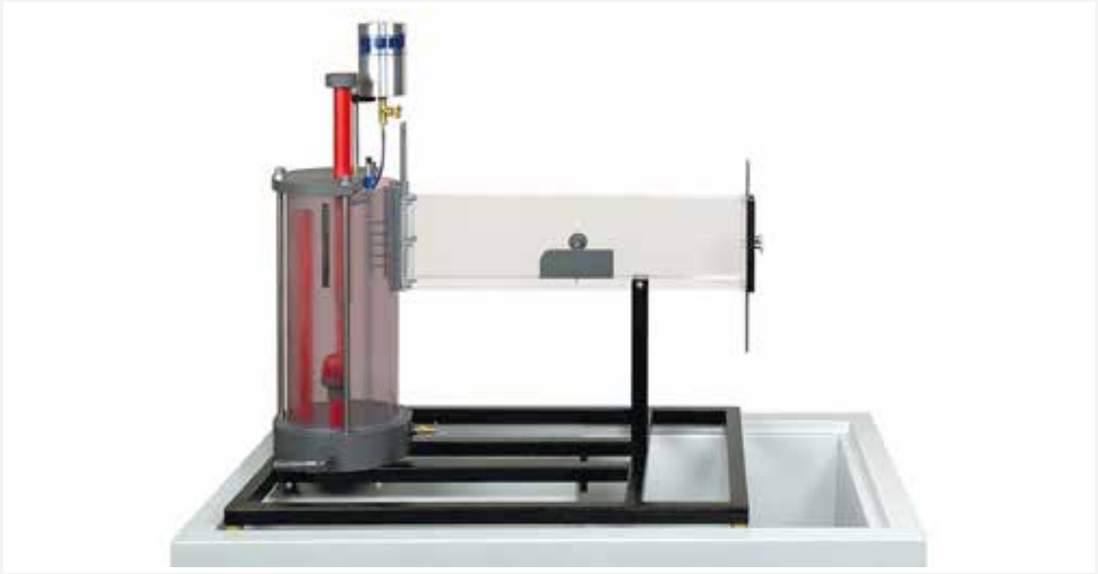
Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 juego de pesos
4 deflectores
1 material didáctico

HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos



Descripción

- **flujo alrededor de distintos cuerpos de resistencia**
- **flujo incidente de distintos tipos de vertederos**
- **tinta como producto de contraste para visualizar las líneas de corriente**

Con el HM 150.21 se pueden visualizar flujos alrededor de cuerpos de resistencia y fenómenos del flujo en canales abiertos.

En el canal de ensayo se puede fijar un cuerpo de resistencia o un vertedero. Con ayuda del producto de contraste inyectado se visualizan las líneas de corriente. El canal de ensayo es de material transparente para poder observar con claridad las líneas de corriente y la formación de vórtices. El nivel de agua en el canal de ensayo se puede ajustar mediante una compuerta de esclusa a la entrada y a través de un vertedero a la salida.

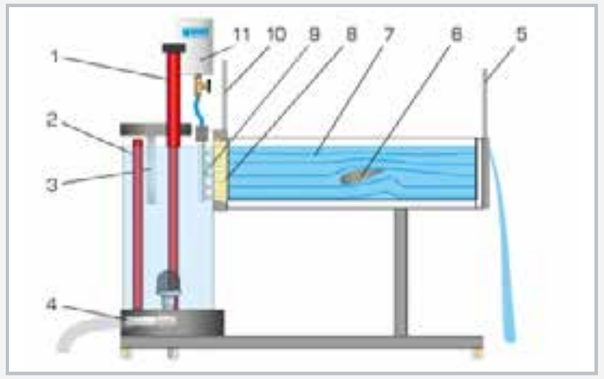
Hay dos vertederos disponibles para los ensayos y cuatro cuerpos de resistencia diferentes. Un rectificador de flujo se ocupa de mantener un flujo del agua uniforme y libre de vórtices.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua se realiza a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

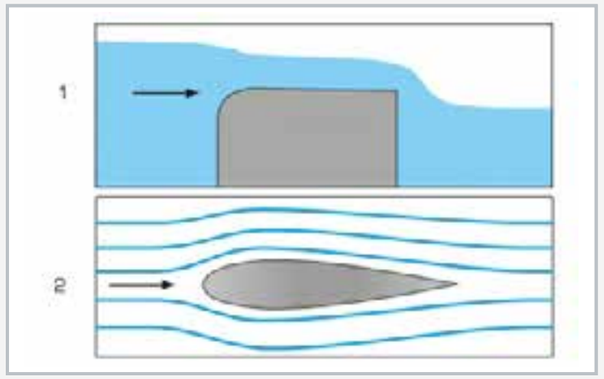
Contenido didáctico/ensayos

- influencia de vertederos de distintas formas en el flujo
- visualización de las líneas de corriente en el flujo incidente de vertederos
- visualización de las líneas de corriente en el flujo alrededor de distintos cuerpos de resistencia

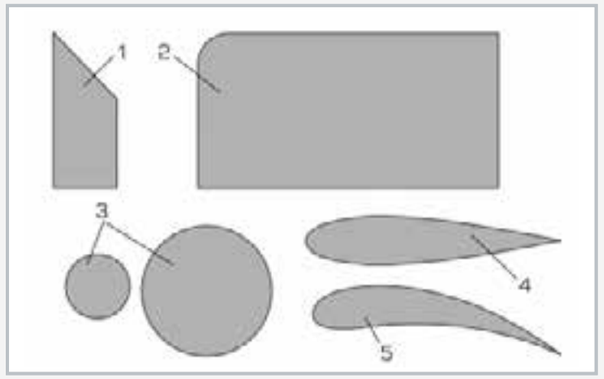
HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos



1 rebosadero ajustable, 2 depósito, 3 escala, 4 alimentación de agua del HM 150, 5 vertedero en la salida de agua, 6 cuerpo de resistencia, 7 canal de ensayo, 8 rectificador de flujo, 9 distribuidor de producto de contraste, 10 compuerta de esclusa a la entrada de agua del canal de ensayo, 11 depósito para producto de contraste



1 flujo incidente en vertedero de cresta ancha, 2 flujo alrededor de un cuerpo fuselado



Cuerpos de resistencia y vertederos suministrados
1 vertedero de cresta delgada, 2 vertedero de cresta ancha, 3 cilindro, 4 cuerpo fuselado, 5 perfil de álabe distribuidor

Especificación

[1] visualización de líneas de corriente en el flujo incidente y flujo alrededor de distintos vertederos y cuerpos de resistencia
[2] canal de ensayo transparente
[3] flujo incidente demostrado en 2 vertederos
[4] flujo alrededor demostrado en 4 cuerpos de resistencia distintos
[5] producto de contraste: tinta
[6] distribuidor para producto de contraste con 7 toberas
[7] nivel de agua ajustable en el canal de ensayo mediante una compuerta de esclusa a la entrada de agua y un vertedero en la salida de agua
[8] rectificador de flujo para una entrada de agua uniforme y sin vórtices
[9] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través del suministro del laboratorio

Datos técnicos

Canal de ensayo
- LxAnxAl: 625x20x150mm

Producto de contraste: tinta
Inyección del producto de contraste
- 7 toberas

Depósito para agua: 12,5L
Depósito para tinta: 200mL

Cuerpos de resistencia
- cilindro pequeño: Ø 35mm
- cilindro grande: Ø 60mm
- cuerpo fuselado
- perfil de álabe distribuidor

Vertederos
- vertedero de cresta ancha
- vertedero de cresta delgada

LxAnxAl: 895x640x890mm
Peso: aprox. 24kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 juego de cuerpos de resistencia y vertederos
1 tinta (1L)
1 juego de herramientas
1 material didáctico

HM 150.10
Visualización de líneas de corriente

Descripción

- **visualización de líneas de corriente**
- **tinta como producto de contraste**
- **diversos modelos incluidos en el volumen de suministro: cuerpos de resistencia y cambios en la sección transversal de paso**
- **fuentes y sumideros, individuales o en combinación**

El flujo laminar bidimensional en el HM 150.10 es una buena aproximación al flujo de fluidos ideales, el flujo potencial.

Con el HM 150.10 se visualizan campos de líneas de corriente en el flujo alrededor de cuerpos de resistencia y en el flujo de paso de modificaciones de la sección transversal. Con ayuda de un producto de contraste inyectado (tinta), las líneas de corriente son representadas en color. Por medio de las cuatro tomas de agua, que se encuentran en la placa inferior, se generan fuentes y sumideros. Las líneas de corriente en el flujo alrededor o en el flujo de paso se pueden observar claramente a través de la placa de vidrio.

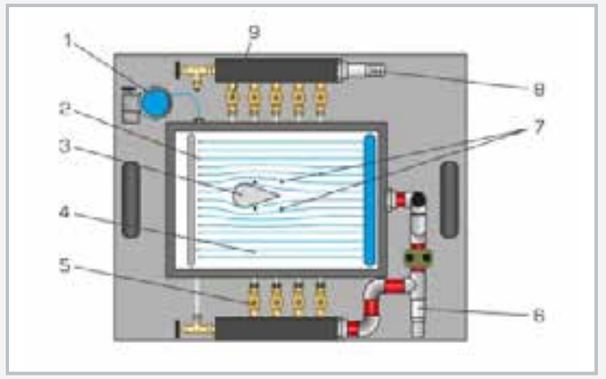
El caudal de agua y la cantidad del producto de contraste inyectado se pueden ajustar por medio de válvulas. Las tomas de agua también son activadas mediante válvulas y se pueden combinar libremente. Pueden crearse modelos propios con la plancha de goma incluida en el volumen de suministro.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua se realiza a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

Contenido didáctico/ensayos

- visualización de líneas de corriente durante
  - flujo alrededor de cuerpos de resistencia
  - flujo de paso a través de un cambio de sección transversal
- influencia de fuentes y sumideros

HM 150.10
Visualización de líneas de corriente



1 depósito para producto de contraste, 2 orificios para inyectar el producto de contraste, 3 cuerpo de resistencia, 4 área de ensayos, 5 válvulas para sumideros, 6 salida de agua, 7 orificios para fuentes y sumideros, 8 alimentación de agua, 9 válvulas para fuentes

Modelos suministrados
coche, triángulo, cuadrado, 2 triángulos para modificación de la sección transversal, 2 semicírculos, gota, cuerpo fuselado, perfil de álabe director

Especificación

[1] visualización de líneas de corriente
[2] agua como líquido de trabajo y tinta como producto de contraste
[3] placa de vidrio superior plegable para el cambio de modelos
[4] placa inferior con tomas de agua para la generación de fuentes/sumideros
[5] fuentes/sumideros combinables libremente
[6] cuerpos de resistencia y cambios en la sección transversal de paso
[7] plancha de goma para crear modelos propios
[8] velocidad de flujo, alimentación y salida de agua en fuentes/sumideros, así como dosificación del contraste ajustables mediante válvulas
[9] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través del suministro del laboratorio

Datos técnicos

La cámara de flujo contiene 2 placas
- distancia entre las placas: 2mm
- placa de vidrio superior
- placa inferior con 4 tomas de agua para fuentes/sumideros
- tamaños de la área de ensayos LxAn: 400x280mm

10 cuerpos de resistencia y modificaciones de la sección transversal

Plancha de goma para modelos propios
- LxAl 300x400mm
- grosor: 2mm

Inyección del producto de contraste (tinta)
- 15 orificios

Depósito para producto de contraste: 500mL

LxAnxAl: 640x520x520mm
Peso: aprox. 24kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 juego de modelos
1 plancha de goma
1 tinta (2x 30mL)
1 juego de mangueras
1 material didáctico

HM 150.09
Descarga horizontal por orificios

Descripción

- **visualización de la trayectoria del chorro de salida**
- **estudio de orificios con diámetros y contornos diferentes**
- **determinación del coeficiente de descarga**

La hidrodinámica permite estudiar la relación entre la trayectoria parabólica, el contorno de salida y la velocidad de salida en la descarga horizontal de orificios. Estas consideraciones tienen aplicación práctica en la ingeniería hidráulica, p.ej., al diseñar desagües de fondo en vertederos.

Con el HM 150.09 se estudia y visualiza el perfil de un chorro de agua. Además, puede determinarse el coeficiente de descarga como característica de los distintos contornos.

El equipo de ensayo contiene un depósito transparente, un dispositivo palpador, así como un panel para visualizar los cursos del chorro. Para estudiar distintos orificios se instala un inserto intercambiable en la salida de agua del depósito. En el volumen de suministro se incluyen cuatro insertos con diámetros y contornos diferentes.

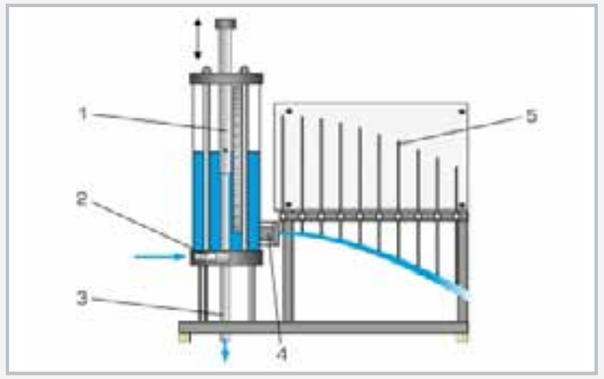
Al visualizar la trayectoria se registra el chorro de agua saliente a través de un dispositivo palpador, que consta de varillas móviles. Las varillas se colocan en función del perfil del chorro de agua. De ahí se obtiene una trayectoria que se transmite al panel.

El depósito contiene un rebosadero ajustable y una escala. De este modo, es posible un ajuste y una lectura precisos del nivel. El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición del caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

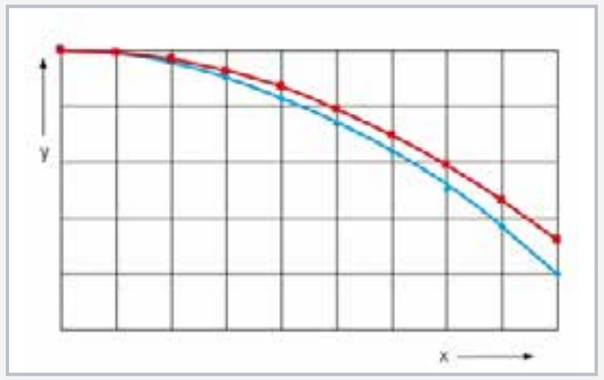
Contenido didáctico/ensayos

- registro de trayectoria del chorro de agua en velocidades de salida distintas
- estudio de la influencia del nivel del depósito en la velocidad de salida
- determinación del coeficiente de descarga para distintos contornos y diámetros
- comparación de velocidad de salida real y teórica

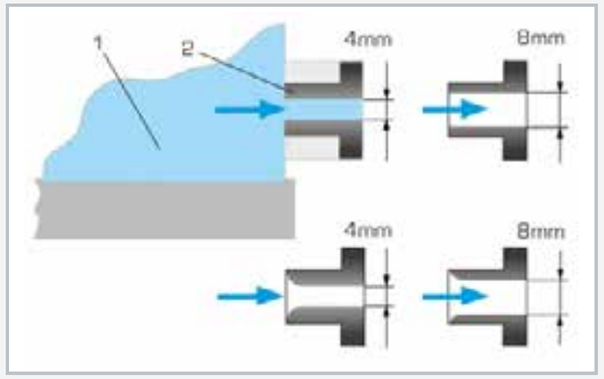
HM 150.09
Descarga horizontal por orificios



1 depósito con rebosadero ajustable, 2 alimentación de agua, 3 rebosadero de agua, 4 salida de agua, 5 dispositivo palpador para el chorro de agua



Trayectoria del chorro de salida medida (azul) y calculada; teórica (rojo)



Insertos intercambiables para estudiar los distintos orificios
1 depósito, 2 inserto; arriba: salida del depósito a través de contorno cuadrado, abajo: salida del depósito a través de contorno redondeado

Especificación

[1] estudio de descargas horizontales por orificios
[2] determinación del coeficiente de descarga para distintos contornos y diámetros
[3] depósito con rebosadero ajustable y escala
[4] 4 insertos intercambiables con distintos diámetros y contornos
[5] dispositivo palpador con 8 varillas móviles para visualizar el perfil del chorro
[6] panel blanco para trazar la trayectoria
[7] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[8] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través del suministro del laboratorio

Datos técnicos

Depósito
- altura: 510mm
- Ø 190mm
- capacidad: aprox. 13,5L

Insertos con contorno redondeado
- 1x Ø 4mm
- 1x Ø 8mm

Insertos con contorno cuadrado
- 1x Ø 4mm
- 1x Ø 8mm

Dispositivo palpador, 8 varillas móviles
- longitud: 350mm

LxAnxAl: 865x640x590mm
Peso: aprox. 27kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
4 insertos
1 material didáctico

HM 150.12
Descarga vertical por orificios

Contenido didáctico/ensayos

- exámenes en el chorro de salida (diámetro, velocidad)
- determinación de pérdidas de carga y coeficiente de descarga para distintos perfiles de salida
- determinación del caudal con distintas alturas de descarga

Descripción

- **determinación del diámetro y la velocidad del chorro de salida**
- **estudio de orificios con perfiles de entrada y salida diferentes**
- **determinación del coeficiente de descarga**

Las pérdidas de carga en la descarga son causadas fundamentalmente por dos procesos: la desviación del chorro a la entrada del orificio y la fricción de la pared del orificio. Las pérdidas de carga provocan que el caudal volumétrico que fluye hacia fuera sea menor que el caudal teórico posible.

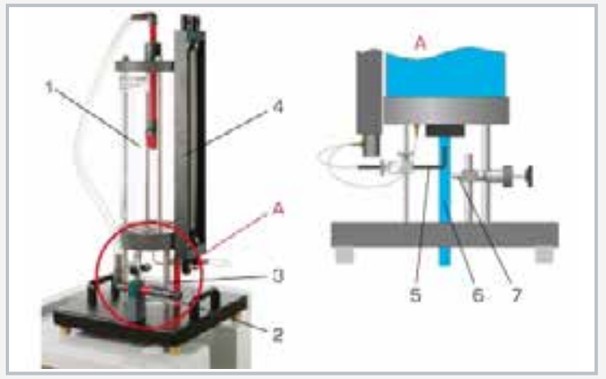
Con el HM 150.12 se determinan las pérdidas con caudales diferentes. Los distintos caudales, así como los perfiles de entrada y salida de los orificios pueden ser estudiados. Además, puede determinarse el coeficiente de descarga como característica de los distintos perfiles.

El equipo de ensayo posee un depósito transparente, un instrumento de medición, así como un tubo de Pitot y dos tubos manométricos. Para estudiar distintos orificios se instala un inserto intercambiable en la salida del agua del depósito. En el volumen de suministro se incluyen cinco insertos con diámetros y perfiles de entrada y salida distintos.

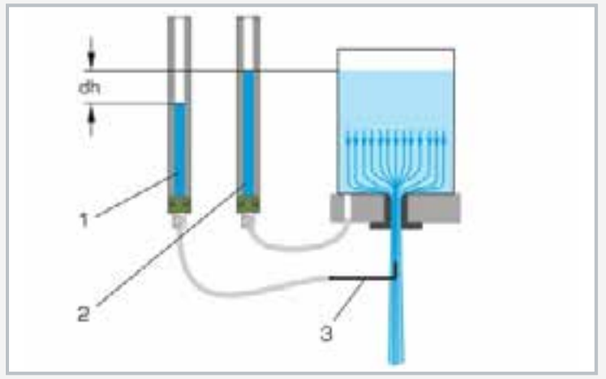
El chorro de agua saliente se mide con ayuda de un instrumento de medición. Un tubo de Pitot registra la presión total del flujo. La diferencia de presión, leída en el manómetro, sirve para determinar la velocidad.

El depósito está equipado con un rebosadero ajustable y un punto de medición para presión estática. De este modo puede ajustarse el nivel de forma precisa y leerse en el manómetro. El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

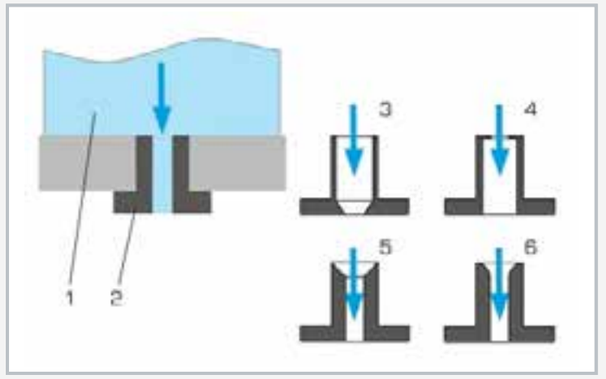
HM 150.12
Descarga vertical por orificios



1 colador de alimentación, 2 toma de agua, 3 rebosadero, 4 dos tubos manométricos, 5 tubo de Pitot, 6 chorro de agua, 7 instrumento de medición para diámetro del chorro



Medición de las presiones: 1 presión total en el chorro libre, 2 presión estática en el depósito, 3 tubo de Pitot; dh pérdida al convertir presión en velocidad



Insertos intercambiables para estudiar los distintos perfiles de entrada y salida; 1 depósito, 2 inserto con orificio cilíndrico, 3 inserto con salida esférica, 4 inserto con diafragma a la entrada, 5 inserto con entrada esférica, 6 inserto con entrada redondeada

Especificación

[1] estudio de pérdidas de carga con descargas verticales por orificios
[2] determinación del coeficiente de descarga para distintos perfiles y diámetros
[3] depósito con rebosadero ajustable
[4] 5 insertos intercambiables con distintos perfiles
[5] instrumento de medición para determinar el diámetro del chorro
[6] tubo de Pitot para determinar la presión total
[7] indicador de presión en los 2 tubos manométricos
[8] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[9] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Depósito
- capacidad: aprox. 13L
- altura de rebose: máx. 400mm
- caudal máx.: 14L/min

Insertos
Diámetro interior: d_1=entrada, d_2=salida
- 1x orificio cilíndrico, d_1= d_2=12mm
- 1x salida del inserto: esfera d_1=24mm, d_2=12mm
- 1x entrada en el inserto: diafragma d_1=24mm, d_2=12mm
- 1x entrada en el inserto: esfera d_1=30mm, d_2=12mm
- 1x entrada en el inserto: redondeada d_1= d_2=12mm

Rangos de medición
- presión: 500mmCA
- radio del chorro: 0...10mm

LxAnxAl: 400x400x830mm
Peso: aprox. 18kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
5 insertos
1 juego de mangueras
1 material didáctico

Flujo estacionario de fluidos incompresibles

Fluido

En la mecánica de fluidos se estudian fuerzas y movimientos de líquidos y gases. Ambos medios son continuos, cuyos elementos se pueden desplazar de manera continua unos contra otros. Estos se agrupan bajo el término fluido.

Flujo incompresible

Los líquidos son **incompresibles**. En numerosas aplicaciones de la mecánica de fluidos, también se asume la incompresibilidad para gases si la velocidad de flujo permanece por debajo de Mach 0,3. En base al aire de 20°C, este valor límite corresponde a una velocidad de aprox. 100 m/s y el cambio de densidad asciende aprox. al 4%. Por tanto, es posible, en gran medida, tratar flujos de líquido y gas con fundamentos comunes en la mecánica de fluidos.

Flujo estacionario e no estacionario

Flujo estacionario: la velocidad de una partícula de fluido cambia con la posición: **v=f(s)**.

Flujo no estacionario: la velocidad de una partícula de fluido cambia con el tiempo y la posición: **v=f(s,t)**

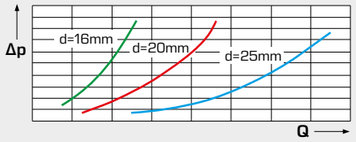
Los flujos no estacionarios se producen durante procesos de descarga, procesos de arranque y parada de turbomáquinas o durante vibraciones de fluido y procesos de golpe de ariete.

Contenidos didácticos

Flujo en sistemas de tuberías

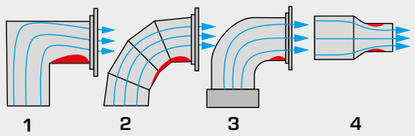
Perfil de velocidad en un flujo totalmente desarrollado

- laminar (izquierda)
- turbulento (derecha)



Δp presión diferencial,
Q caudal volumétrico

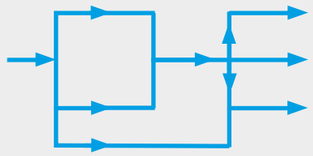
Pérdidas de carga en tuberías rectas



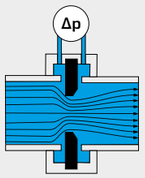
1 ángulo de tubería,
2 codo en segmentos,
3 codo de tubería,
4 contracción

Pérdidas de carga en elementos de tuberías

- expansión / contracción / cambio de dirección
- codo de tubería
- codo en segmentos / ángulo de tubería



Pérdidas en sistemas de tuberías de una y de varias líneas

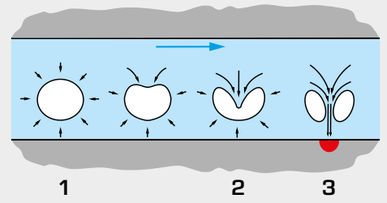


Δp presión diferencial

Metrología de caudal: representación del procedimiento de medición habitual en la práctica

Contenidos didácticos

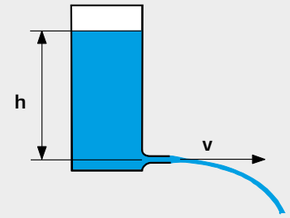
Cavitación



1 se forma una burbuja de vapor,
2 la burbuja de vapor colapsa,
3 el chorro de agua choca con la superficie y provoca la destrucción de material

Efectos de cavitación en sistemas de tuberías: formación y consecuencias

Procesos de descarga

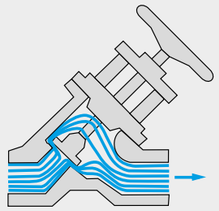


h salto,
v velocidad

Descarga de depósitos

- influencia de la sección transversal de descarga y forma de la sección transversal del chorro
- descarga vertical / descarga horizontal

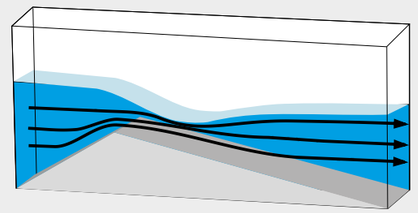
Flujo en válvulas



Especial énfasis en las aplicaciones prácticas

- formas constructivas
- características de la válvula
- valores K_{vs}

Flujo en canales abiertos



- flujo subcrítico y supercrítico
- estructuras de control
- método de medición de descarga

Para el área de **flujo estacionario de fluidos incompresibles** hemos presentado contenidos didácticos como se suelen encontrar en la literatura especializada en todo el mundo. Por ello, podemos referirnos a ellos como contenidos didácticos estándar. Sin embargo, las variaciones en ciertas secciones son posibles. Por tanto, uno puede decidir si desea, p.ej., tratar **la medición práctica del caudal** en este punto.

GUNT le ofrece un programa con el que puede desarrollar experimentalmente todos los contenidos didácticos presentados en ensayos de laboratorio educativos.

HM 150.01
Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento

Contenido didáctico/ensayos

- mediciones de la pérdida de carga en el flujo laminar
- mediciones de la pérdida de carga en el flujo turbulento
- determinación del número de Reynolds crítico
- determinación del factor de fricción del tubo
- comparación del factor de fricción del tubo real con el factor de fricción del tubo teórico

Descripción

- **pérdidas por fricción de tubo en un flujo laminar y turbulento**
- **determinación del número de Reynolds crítico**

Cuando el flujo pasa por las tuberías se producen pérdidas de carga como consecuencia de la fricción interna y la fricción entre el fluido y la pared. Al calcular las pérdidas de carga se requiere el factor de fricción del tubo, un parámetro adimensional. La determinación del factor de fricción del tubo se realiza con ayuda del número de Reynolds, que describe la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

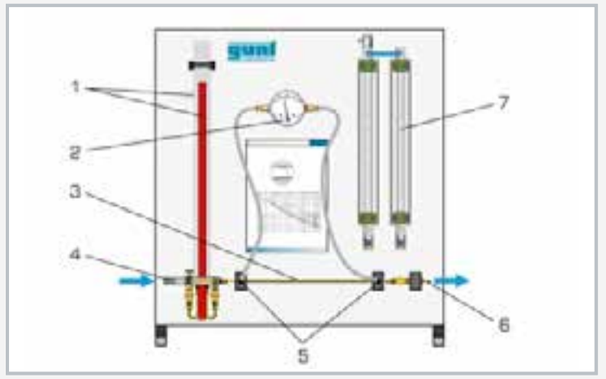
El HM 150.01 permite estudiar la relación entre la pérdida de carga como consecuencia de la fricción en fluidos y la velocidad en el flujo del tubo, además se determinar el factor de fricción del tubo.

El equipo de ensayo posee una sección de tubo de pequeño diámetro en el que se genera un flujo laminar o turbulento. A partir del caudal y la pérdida de carga se determina el número de Reynolds y el factor de fricción del tubo. Con el flujo turbulento, la tubería es alimentada directamente desde la alimentación de agua; con el flujo laminar, un tubo vertical en el rebosadero se encarga de la presión inicial constante necesaria. El caudal puede regularse por medio de válvulas.

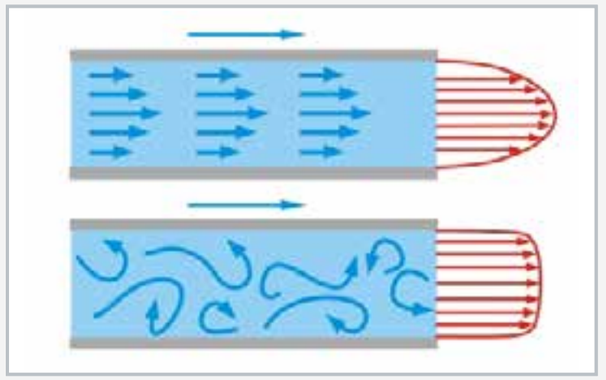
Las presiones en el flujo laminar son registradas con dos tubos manométricos. La presión en el flujo turbulento es leída en un manómetro de aguja.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

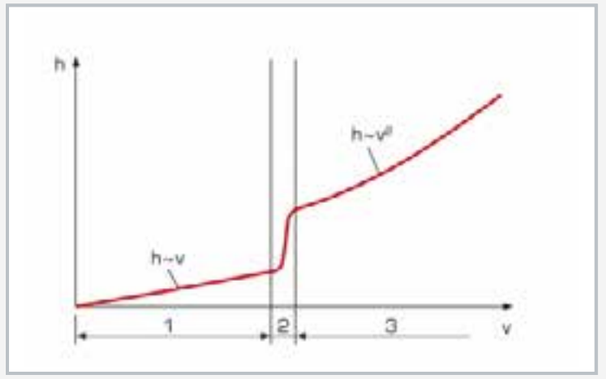
HM 150.01
Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento



1 depósito con rebosadero, 2 manómetro de aguja, 3 sección de tubo, 4 alimentación de agua, 5 puntos de medición de presión, 6 salida de agua, 7 2 tubos manométricos



Representación del flujo laminar y turbulento en el tubo
arriba: flujo laminar, abajo: flujo turbulento; azul: flujo, rojo: perfil de velocidad



Pérdidas de carga en función de la velocidad en un flujo de tubo
1 flujo laminar, 2 transición de laminar a turbulento, 3 flujo turbulento;
h pérdida de carga, v velocidad

Especificación

[1] estudio de la fricción de tubo en flujo laminar o turbulento
[2] el depósito transparente con rebosadero garantiza una presión constante de la entrada del agua en la sección de tubo para ensayos con flujo laminar
[3] ajuste del caudal mediante válvulas
[4] 2 tubos manométricos para mediciones con flujo laminar
[5] manómetro de aguja para mediciones con flujo turbulento
[6] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[7] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Sección de tubo
- longitud: 400mm
- Ø interior: 3mm

Depósito: aprox. 2L

Rangos de medición
- presión diferencial:
  - 2x 370mmCA
  - 1x 0...0,4bar

LxAnxAl: 850x680x930mm
Peso: aprox. 23kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 juego de accesorios
1 material didáctico

HM 150.11
Pérdidas de carga en el sistema de tuberías

Descripción

- **pérdidas de carga en el sistema de tuberías**
- **medición de presión precisa mediante cámaras anulares**
- **dispositivos deprimógenos transparentes para determinar el caudal**

En el flujo de fluidos reales se producen pérdidas de carga debido a la fricción y la turbulencia (remolinos). Las pérdidas de carga en tuberías, piezas de conexión de tuberías, robinetería y dispositivos deprimógenos (p.ej. caudalímetros, taquímetros) provocan pérdidas de carga y deben tenerse en cuenta, por tanto, al diseñar sistemas de tuberías.

Con el HM 150.11, se estudian las pérdidas de carga en tuberías, elementos de tuberías y elementos de cierre. Además se presenta el método de presión diferencial para la medición de caudal.

El equipo de ensayo contiene seis secciones de tubo diferentes, que se pueden cerrar individualmente. Las secciones de tubo están equipadas con elementos de tuberías como codos, ángulos o ramificaciones. En una sección de tubo pueden instalarse diferentes robinetes y dispositivos deprimógenos para determinar el caudal. Los dispositivos deprimógenos están hechos con material transparente para poder visualizar bien la estructura interior. Los puntos de medición de presión en el sistema de tuberías están construidos como cámaras anulares. De este modo se logra una medición de la presión precisa.

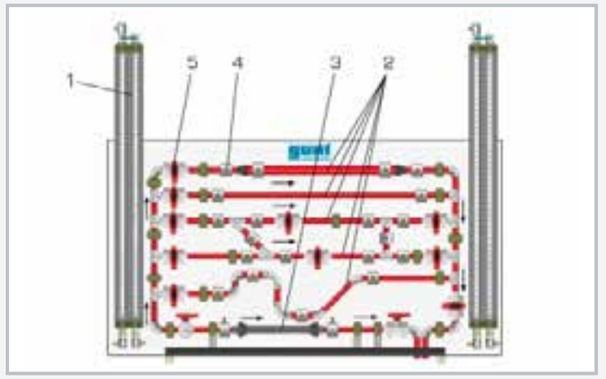
En los ensayos se miden las pérdidas de carga en las tuberías y los elementos de tuberías, p.ej., bifurcaciones y codos. En los elementos de cierre se registran además las características de las aberturas. Las presiones se registran con dos tubos manométricos.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

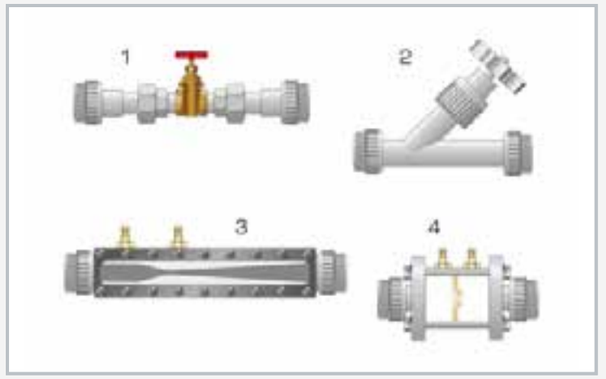
Contenido didáctico/ensayos

- estudio de pérdidas de carga en tuberías, piezas de conexión de tuberías y robinetería
- influencia de la velocidad de flujo en la pérdida de presión
- determinación de coeficientes de resistencia
- características de las aberturas de la válvula de asiento inclinado y la válvula de compuerta
- familiarización con distintos dispositivos deprimógenos para determinar el caudal:
  - tubo de Venturi
  - caudalímetro de placa con orificio, tobera de medida

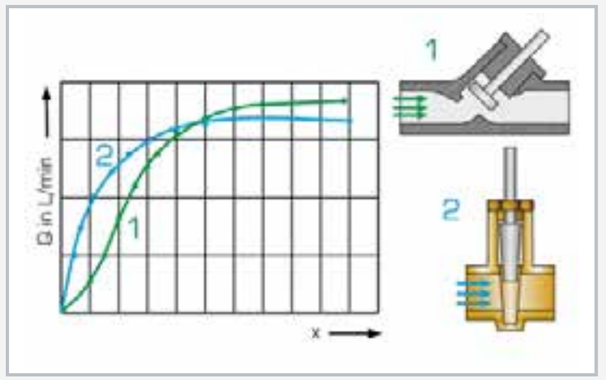
HM 150.11
Pérdidas de carga en el sistema de tuberías



1 2 tubos manométricos, 2 secciones de tubo diversos, 3 sección de tubo para robinetería/dispositivos deprimógenos intercambiables, 4 cámara anular, 5 grifo de bola para cerrar la sección de tubo



Robinetería de cierre y dispositivos deprimógenos para determinar el caudal; 1 válvula de compuerta, 2 válvula de asiento inclinado, 3 tubo de Venturi, 4 caudalímetro de placa con orificio o tobera de medida



Características de las aberturas de la robinetería de cierre: Q caudal, x abertura, azul: válvula de asiento inclinado, verde: válvula de compuerta; 1 válvula de asiento inclinado, 2 válvula de compuerta

Especificación

[1] estudio de pérdidas de carga en piezas de conexión de tuberías y robinetería
[2] distintos dispositivos deprimógenos para determinar el caudal según el método de presión diferencial
[3] 6 secciones de tubo, que se pueden cerrar individualmente, con distintos elementos de tuberías: contracción súbita, expansión súbita, piezas en Y, piezas en T, ángulos y codos
[4] una sección de tubo para instalar robinetería / dispositivos deprimógenos intercambiables
[5] objetos de medición fabricados con material transparente: tubo de Venturi, caudalímetro de placa con orificio y tobera de medida
[6] robinetería: válvula de asiento inclinado, válvula de compuerta
[7] las cámaras anulares permiten una medición altamente precisa de la presión
[8] 2x 2 tubos manométricos para la medición de la diferencia de presión
[9] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[10] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Sección de tubo para instalar robinetería y/o objetos de medición
- 20x1,5mm, PVC

Secciones de tubo, PVC
Diámetro, interior: d
- recto: d=20x1,5mm, longitud: 800mm
- estrechamiento discontinuo: d=32x1,8-20x1,5mm
- ensanche discontinuo: d=20x1,5-32x1,8mm
- con 2x piezas en Y de 45° y 2x piezas en T
- con 2x ángulos/codos de 90°: d=20x1,5mm y 2x ángulos de 45°: d=20x1,5mm

2x 2 tubos manométricos: 0...1000mmCA

Rangos de medición
- presión: 0...0,1bar

LxAnxAl: 1550x640x1300mm
Peso: aprox. 58kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
2 robineterías de cierre (válvula de asiento inclinado, válvula de compuerta)
1 tubo de Venturi
1 caudalímetro de placa c. orificio o tobera de medida
1 juego de mangueras
1 juego de herramientas
1 material didáctico

HM 164
Flujo en canales abiertos y cerrados

Descripción

- **procesos del flujo en el canal abierto: compuerta, umbral y distintos vertederos**
- **procesos del flujo en el canal cerrado: flujo en tuberías**
- **circuito de agua cerrado con depósito y bomba**

El HM 164 se utiliza para demostrar distintos procesos del flujo en estructuras de control diversas en canales abiertos. En el canal cerrado se determinan presiones en una tubería.

El banco de ensayos contiene un canal de ensayo transparente con límite superior, un umbral de altura ajustable y un circuito de agua cerrado. El nivel de agua en la sección de ensayo se ajusta con un vertedero de cresta delgada ajustable en la salida de agua. Con una simple conversión, el canal de ensayo puede utilizarse como canal abierto o cerrado.

Al estudiar el flujo en canales abiertos el nivel de agua debe ser bajo. Para la realización de ensayos se fija un vertedero al fondo del canal o se utiliza el umbral de altura ajustable. Además, se puede demostrar la descarga bajo una compuerta. Hay distintos vertederos disponibles como estructuras de control, que se pueden cambiar de forma rápida y segura.

Al estudiar el canal cerrado, el nivel de agua es tan alto que el flujo pasa por toda la sección de ensayo. El umbral se utiliza para cambiar la sección transversal por la que pasa el flujo.

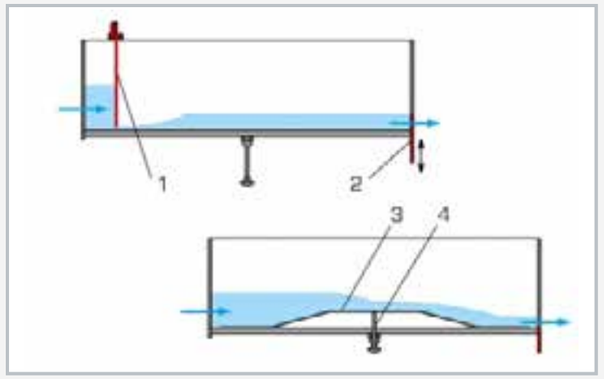
Las presiones estáticas y las presiones totales sobre la sección transversal son registradas con tubos de medición. A partir de la diferencia de presión se calcula la velocidad de flujo.

Contenido didáctico/ensayos

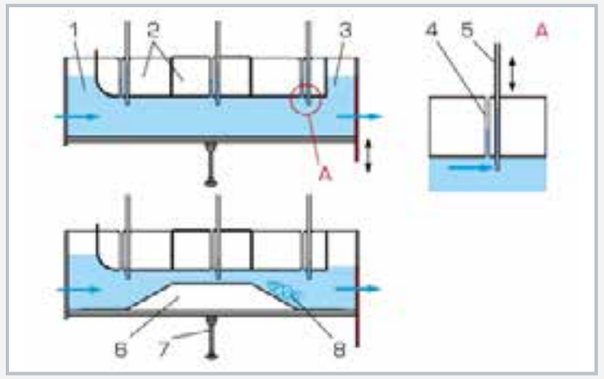
- canal abierto
  - flujo sobre la estructura de control: vertedero de cresta ancha, vertedero de cresta delgada, presa- vertedero de perfil Ogee con tipo de salida en forma de salto de esquí, umbral
  - descarga bajo una compuerta
  - resalto hidráulico
- canal cerrado
  - flujo en tuberías con sección transversal de flujo constante y variable
  - medición de presión estática y presión total
  - cálculo de velocidad de flujo

HM 164
Flujo en canales abiertos y cerrados

1 compuerta plana deslizante, 2 alimentación de agua, 3 ajuste de altura del umbral, 4 depósito de reserva, 5 presa-vertedero de perfil Ogee instalado en el canal de ensayo, 6 límite superior, 7 salida de agua con vertedero de cresta delgada, 8 tubo de medición



Procesos del flujo en el canal abierto; 1 flujo bajo una compuerta, 2 vertedero de cresta delgada en la salida de agua, 3 flujo sobre un umbral, 4 ajuste de altura del umbral



Procesos del flujo en el canal cerrado; 1 entrada, 2 límite superior, 3 salida, 4 medición de presión estática, 5 medición de presión total, 6 umbral, 7 ajuste de altura del umbral, 8 turbulencias

Especificación

[1] estudio de los procesos del flujo en el canal abierto y cerrado
[2] canal de ensayo con límite superior de material transparente
[3] umbral de altura ajustable en la base del canal de ensayo
[4] nivel de agua ajustable sobre vertedero de cresta delgada en la salida de agua
[5] conversión sencilla de canal abierto a cerrado
[6] estructuras de control para ensayos en el canal abierto: vertedero de cresta ancha, vertedero de cresta delgada, presa-vertedero de perfil Ogee con tipo de salida en forma de salto de esquí, umbral, compuerta
[7] flujo de paso por toda la sección de ensayo y modificación de la sección transversal sobre el umbral para ensayos en el canal cerrado
[8] circuito cerrado de agua con depósito de reserva y bomba
[9] tubos de medición transparentes para medición de presión estática y presión total

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud: 1,1m
- sección transversal AnxAl: 40x300mm

Depósito de reserva: 70L

Bomba
- consumo de potencia: 250W
- caudal máx.: 150L/min
- altura de elevación máx.: 7,6m

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1900x800x1350mm
Peso sin carga: aprox. 150kg

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de estructura de control
1 vertedero de cresta delgada
1 juego de herramientas
1 material didáctico

HM 111
Redes de tuberías

Descripción

- **montaje de distintas redes de tuberías**
- **pérdidas de carga en distintos elementos de tuberías y redes de tuberías**
- **circuito de agua cerrado con depósito y bomba**

Una tarea importante en la construcción de tuberías es la determinación de presión y caudal es sistemas de canalización complejos. El cálculo de las pérdidas de carga total sirve en la práctica como fundamento para el diseño de grupos generadores de presión apropiados de instalaciones de aire acondicionado y calefacción, instalaciones para el suministro de agua potable, así como elementos de sistemas de alcantarillado. El conocimiento de las pérdidas de carga se utiliza además para optimizar el funcionamiento.

El HM 111 permite la construcción y el estudio de distintas redes de tuberías como, p.ej., conexiones en serie y en paralelo de tuberías, sus ramificaciones y uniones, así como el estudio de tuberías individuales. Los análisis de nodos pueden realizarse en analogía con las leyes de Kirchhoff de la electricidad.

Las cinco secciones de tubo premontadas en la parte superior del banco de ensayos se conectan a las redes de tuberías mediante los elementos de tuberías. Los depósitos, tuberías, elementos de tuberías y robineterías están fabricados totalmente de plástico. Las secciones de tubo individuales se cierran mediante grifos de bola. En los ensayos se registran y evalúan las pérdidas de carga en distintas configuraciones de redes de tuberías.

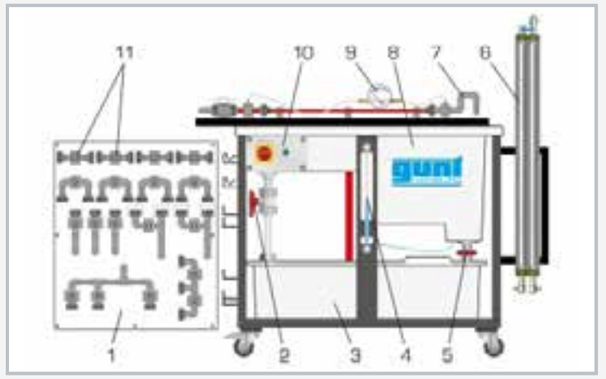
Se incluyen dos manómetros para distintas áreas de medición para realizar mediciones de presión diferencial. La medición de caudal es volumétrica.

El banco de ensayos dispone de un suministro de agua propio. El circuito de agua cerrado contiene un depósito de reserva con una bomba sumergible.

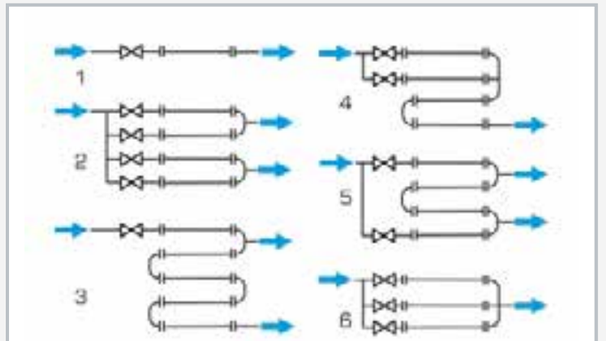
Contenido didáctico/ensayos

- registro de curva de calibración para secciones de tubo individuales: pérdida de carga sobre caudal
- conexiones en paralelo de secciones de tubo
- conexiones en serie de secciones de tubo
- conexión combinada en serie y en paralelo
- estudio de una tubería circular
- medición de presión diferencial
- pérdidas de carga en distintos elementos de tuberías

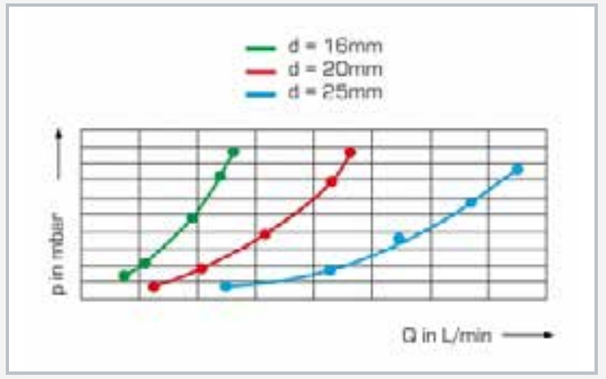
HM 111
Redes de tuberías



1 panel con elementos de tuberías, 2 válvula para ajustar el caudal, 3 depósito de reserva con bomba sumergible, 4 recipiente graduado indicador de nivel, 5 válvula de compuerta para vaciar el recipiente graduado, 6 dos tubos manométricos, 7 secciones de tubo, 8 recipiente graduado, 9 manómetro de presión diferencial, 10 caja de distribución, 11 punto de medición de presión



Distintas configuraciones de redes de tuberías: 1 calibración de secciones de tubo, 2 duplicación, 3 conexión en serie, 4 conexión en serie y en paralelo, 5 tubería circular, 6 conexión en paralelo



El diagrama muestra la pérdida de carga sobre el caudal para distintos diámetros de tubería: p presión, Q caudal, d diámetro interior

Especificación

[1] estudio de distintas redes de tuberías
[2] 5 secciones de tubo premontadas con diferentes diámetros
[3] panel para elementos de tuberías
[4] montaje de redes de tuberías a partir de secciones de tubo y distintos elementos de tuberías
[5] calibración de secciones de tubo
[6] conexión en serie y en paralelo de secciones de tubo
[7] montaje de una tubería circular
[8] medición de presión diferencial con 2 tubos manométricos y un manómetro de presión diferencial
[9] medición de caudal con recipiente graduado con cierre, cronómetro e indicador de nivel

Datos técnicos

Bomba
- consumo de potencia: 250W
- caudal máx.: 9m³/h
- altura de elevación máx.: 7,6m
- red de tuberías, caudal máx.: 4,8m³/h

Secciones de tubo, longitud de cada uno 700mm
- 1x Ø 25x1,9mm
- 2x Ø 20x1,5mm
- 2x Ø 16x1,2mm

Depósito para agua: 180L

Depósito para medición de caudal
- rango de medición pequeño: 10L
- rango de medición grande: 40L

Cronómetro: 1/100s

Rangos de medición
- presión diferencial:
  - 1x 0...1bar
  - 1x 0...100mbar

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1550x800x1600mm
Peso: aprox. 117kg

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 cronómetro
1 material didáctico

Equipos de ensayo del área de las turbomáquinas

Un área importante de la mecánica de fluidos son las turbomáquinas. Estas se dividen en máquinas motrices y generatrices. Las turbinas pertenecen a las máquinas motrices y las bombas son máquinas generatrices clásicas.

Todos los equipos de ensayo aquí presentados funcionan con agua, y se utilizan para la introducción al tema de las turbomáquinas.

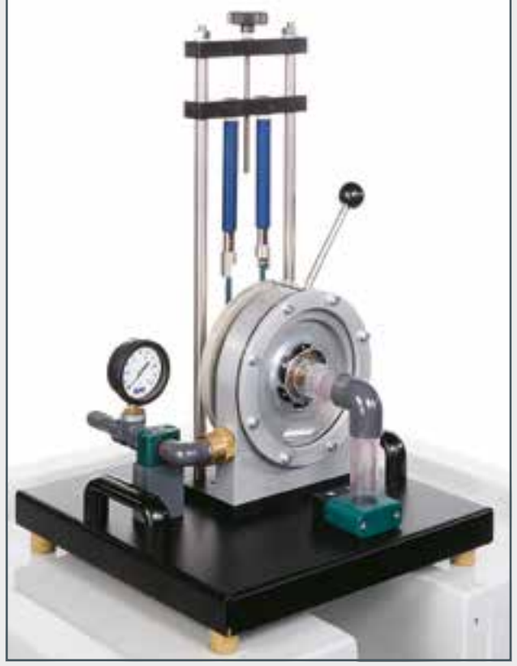
Los equipos de ensayo forman parte de la serie HM 150. El suministro de agua y la medición del caudal se realizan a través del módulo básico HM 150.

Máquinas motrices

HM 150.19
Principio de funcionamiento de una turbina Pelton

- modelo de una turbina de presión constante o de chorro libre
- pared frontal transparente para observar el área de trabajo
- aguja de la tobera ajustable para ajustar distintas secciones transversales de la tobera

HM 150.20
Principio de funcionamiento de una turbina Francis



- modelo de una turbina Francis o una turbina de sobrepresión
- pared frontal transparente para observar el área de trabajo
- álabes directores ajustables para ajustar distintos ángulos de ataque

Máquinas generatrices

HM 150.04
Bomba centrífuga

- estudio de una bomba centrífuga y registro de una característica típica de la bomba
- determinación del rendimiento de la bomba
- estudio de la influencia del número de revoluciones en la capacidad y la presión de elevación

HM 150.16
Conexión en serie y en paralelo de bombas

- estudio de bombas individuales, en conexión en serie y en paralelo
- registro de características de la bomba y determinación del punto de funcionamiento
- determinación de la potencia hidráulica de las bombas

HM 150.19
Principio de funcionamiento de una turbina Pelton

Contenido didáctico/ensayos

- diseño y funcionamiento de una turbina Pelton
- determinación del par, la potencia y el rendimiento
- representación gráfica de curvas de par, potencia y rendimiento

Descripción

- **modelo de una turbina de impulsión o bien de acción**
- **área de trabajo transparente**
- **sección transversal de la tobera ajustable**
- **carga mediante freno de cinta**

Las turbinas hidráulicas son turbomáquinas con las cuales se aprovecha la energía hidraúlica. La turbina Pelton pertenece al grupo de las turbinas de impulsión o bien de acción. Con estas se produce la transformación completa de la energía de presión del agua en energía cinética en el distribuidor. Para ello, el chorro de agua se acelera en una tobera e incide en los álabes de la rueda Pelton tangencialmente. En los álabes se desvía el chorro de agua casi 180°. El impulso del chorro de agua se transmite a la rueda Pelton.

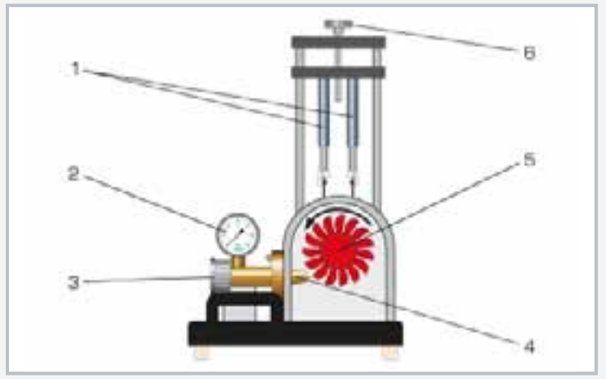
HM 150.19 es el modelo de una turbina Pelton, con el cual se demuestra el funcionamiento de una turbina de acción.

El equipo de ensayo consta de la rueda Pelton, una tobera de aguja como distribuidor, un freno de cinta para la carga de la turbina y una carcasa con la pared frontal transparente. A través de ella se pueden observar el flujo de agua, la rueda Pelton y la tobera en funcionamiento. Mediante el ajuste de la aguja de la tobera, se modifica la sección transversal de la tobera y, por tanto, el caudal.

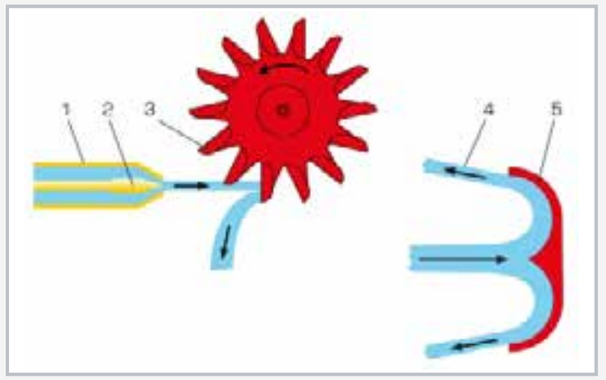
El par de la turbina se determina mediante la medición de la fuerza en el freno de cinta. Para medir el número de revoluciones, se necesita un cuentarrevoluciones sin contacto, p.ej., HM 082. Un manómetro indica la presión hidráulica a la entrada de la turbina.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan también a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

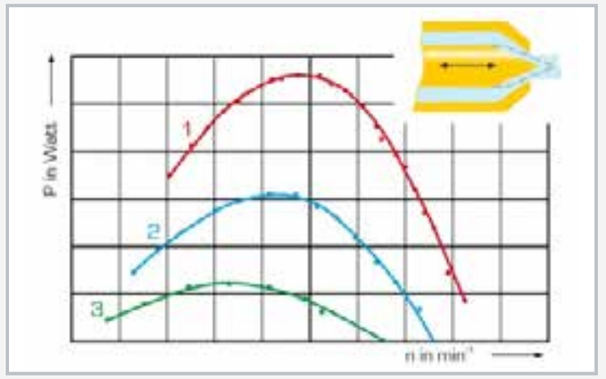
HM 150.19
Principio de funcionamiento de una turbina Pelton



1 balanza de muelle, 2 manómetro, 3 ajuste de la sección transversal de la tobera, 4 tobera de aguja, 5 rueda Pelton, 6 ajuste del freno de cinta



Principio de funcionamiento de la turbina Pelton;
1 tobera de aguja, 2 aguja de la tobera ajustable, 3 álabe en la rueda Pelton, 4 chorro de agua desviado, 5 sección transversal a través del álabe



Curvas de potencia con distintas posiciones de la aguja de la tobera:
1 Q=31,6L/min, 2 Q=18,8L/min, 3 Q=11,5L/min;
n número de revoluciones, P potencia de la turbina

Especificación

[1] funcionamiento de una turbina Pelton
[2] pared frontal transparente para observar el área de trabajo
[3] carga de la turbina mediante freno de cinta
[4] aguja de la tobera ajustable para ajustar distintas secciones transversales de la tobera
[5] marcación en el tambor de freno para una medición del número de revoluciones sin contacto
[6] instrumentación: balanzas de muelle para determinar el par; el manómetro indica la presión en la entrada de la turbina
[7] determinación del caudal en el módulo básico HM 150
[8] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Turbina Pelton
- potencia: 5W a 500min^{-1}, aprox. 30L/min, H=2m
- rueda Pelton
  - 14 álabes
  - ancho de los álabes: 33,5mm
  - Ø exterior: 132mm

Tobera de aguja
- diámetro del chorro: 10mm

Rangos de medición
- fuerza: 2x 0...10N
- presión: 0...1bar

LxAnxAl: 400x400x620mm
Peso: aprox. 15kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

HM 150.20
Principio de funcionamiento de una turbina Francis

Contenido didáctico/ensayos

- diseño y funcionamiento de una turbina Francis
- determinación del par, la potencia y el rendimiento
- representación gráfica de curvas de par, potencia y rendimiento

Descripción

- **modelo de una turbina de reacción**
- **área de trabajo transparente**
- **turbina con álabes distribuidores ajustables**
- **carga mediante freno de cinta**

Las turbinas hidráulicas son turbomáquinas con las cuales se aprovecha la energía hidraúlica. La turbina Francis pertenece al grupo de las turbinas de reacción. Con estas se produce la transformación de la energía de presión del agua en energía cinética en el distribuidor y en la rueda. El agua es alimentada al distribuidor a través de una caja espiral. El agua que fluye se acelera en el distribuidor mediante los álabes distribuidores ajustables y se desvía en los álabes móviles. A través de la desviación y aceleración ulterior del agua en la rueda se produce un impulso, que se transmite al rotor.

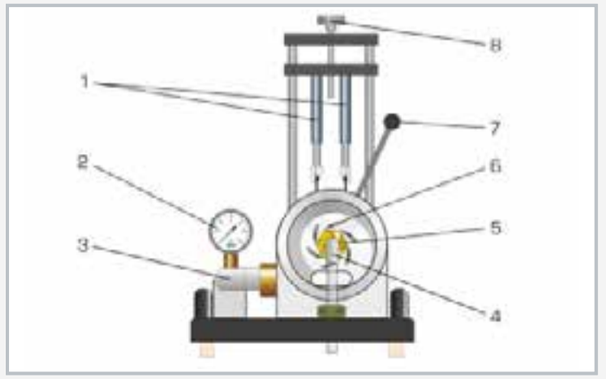
HM 150.20 es el modelo de una turbina Francis, con el cual se demuestra el funcionamiento de una turbina de reacción.

El equipo de ensayo consta del rotor, el distribuidor con álabes distribuidores ajustables, un freno de cinta para la carga de la turbina y una carcasa con la pared frontal transparente. A través de ella se pueden observar el flujo de agua, la rueda y los álabes distribuidores en funcionamiento. Mediante el ajuste de los álabes distribuidores, se modifica el ángulo de ataque y también la potencia de la rueda.

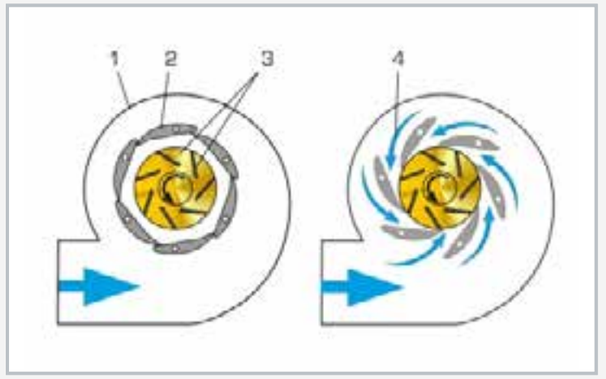
El par de la turbina se determina mediante la medición de la fuerza en el freno de cinta. Para medir el número de revoluciones, se necesita un cuentarrevoluciones sin contacto, p.ej., HM 082. Un manómetro indica la presión hidráulica a la entrada de la turbina.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición de caudal se realizan también a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

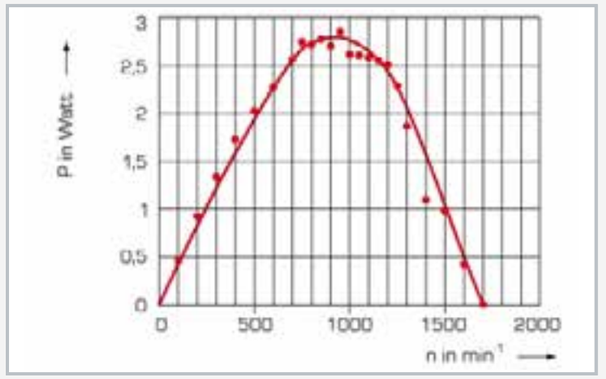
HM 150.20
Principio de funcionamiento de una turbina Francis



1 balanza de muelle, 2 manómetro, 3 entrada de agua, 4 salida de agua, 5 rotor, 6 álabes distribuidores, 7 ajuste de los álabes distribuidores, 8 ajuste del freno de cinta



Principio de funcionamiento de la turbina Francis; 1 tubo en forma de espiral, 2 álabe distribuidor, 3 rotor con álabes móviles, 4 flujo; izquierda: posición de los álabes distribuidores cerrados, Q=0, P=0; derecha: posición de los álabes distribuidores abiertos, Q=máx., P=máx.



Curva característica de potencia en el eje de la turbina;
P potencia de la turbina, n número de revoluciones

Especificación

[1] funcionamiento de una turbina Francis
[2] pared frontal transparente para observar el área de trabajo
[3] carga de la turbina mediante freno de cinta
[4] álabes distribuidores ajustables para ajustar distintos ángulos de ataque
[5] marcación en el tambor de freno para una medición del número de revoluciones sin contacto
[6] instrumentación: balanzas de muelle para determinar el par; el manómetro indica la presión en la entrada de la turbina
[7] determinación del caudal en el módulo básico HM 150
[8] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150 o a través de la red del laboratorio

Datos técnicos

Turbina
- potencia: 12W con n=1100min^{-1}, aprox. 40L/min, Al=8m
- rotor
  - 7 álabes
  - ancho de los álabes: 5mm
  - Ø exterior: 50mm
- álabes distribuidores
  - 6 álabes, ajustables (20 etapas)

Rangos de medición
- fuerza: 2x 0...10N
- presión: 0...1,0bar

LxAnxAl: 400x400x630mm
Peso: aprox. 17kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

HM 150.04
Bomba centrífuga

La ilustración muestra la HM 150.04 con el HM 150.

Descripción

- **característica de una bomba centrífuga**
- **número de revoluciones variable a través de convertidor de frecuencia**

Las bombas centrífugas son turbomáquinas, que se utilizan para elevar fluidos. Con la HM 150.04 se estudia una bomba centrífuga y se registra una característica típica de la bomba.

El equipo de ensayo contiene una bomba centrífuga autoaspirante, un grifo de bola en el lado de salida y un manómetro en el lado de entrada y en el lado salida. El equipo es accionado por un motor asíncrono. El número de revoluciones se puede ajustar sin escalonamiento mediante un convertidor de frecuencia. La altura de elevación se ajusta mediante el grifo de bola.

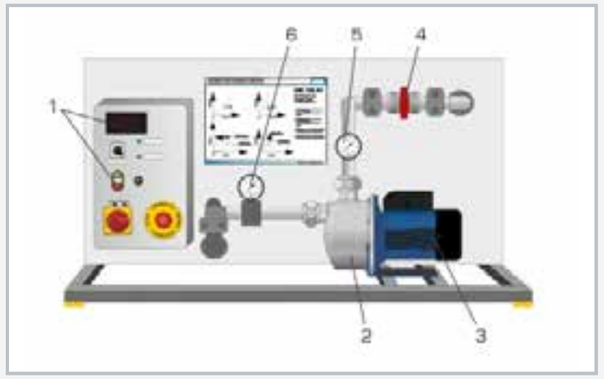
En los ensayos se estudia el comportamiento de funcionamiento de la bomba en función del caudal y se representa en características. El número de revoluciones y la potencia eléctrica del motor se indican digitalmente. Las presiones de entrada y salida se indican en dos manómetros.

El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. La bomba aspira agua del depósito del módulo básico HM 150. El caudal es determinado volumétricamente al retornar al recipiente graduado del HM 150.

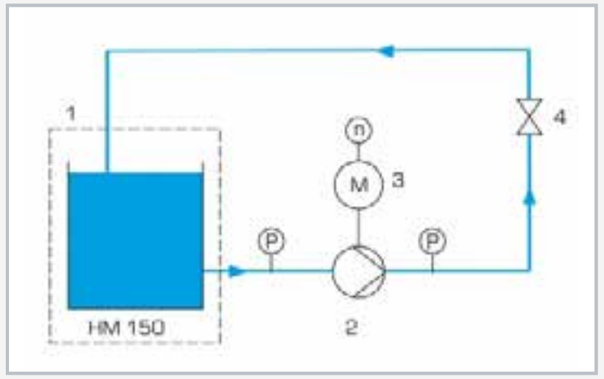
Contenido didáctico/ensayos

- familiarización con el comportamiento de funcionamiento y los datos característicos de una bomba centrífuga
- registro de característica de la bomba con número de revoluciones constante de la bomba
  - ▸ medición de presión de entrada y salida
  - ▸ determinación del caudal
- registro de características de la bomba con distintos números de revoluciones
- desarrollo de curvas de potencia y rendimiento
  - ▸ medición de la potencia de accionamiento eléctrica
  - ▸ determinación de la potencia hidráulica
  - ▸ cálculo del rendimiento

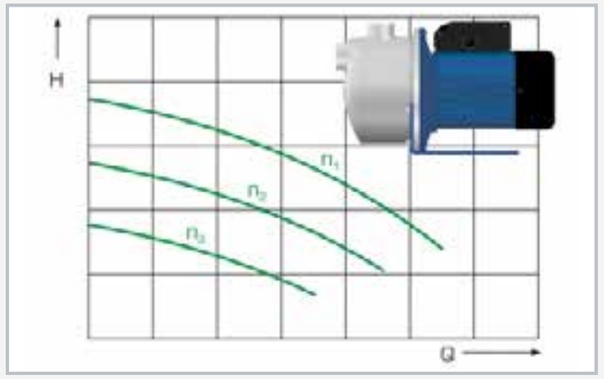
HM 150.04
Bomba centrífuga



1 elementos de indicación y mando, 2 bomba centrífuga, 3 motor, 4 grifo de bola para ajuste de la altura de elevación, 5 manómetro en salida, 6 manómetro en entrada



1 suministro de agua a través del HM 150, 2 bomba centrífuga, 3 motor, 4 grifo de bola para ajuste de la altura de elevación; P presión, n número de revoluciones



Características de la bomba para diferentes números de revoluciones
H altura de elevación, Q caudal, n número de revoluciones

Especificación

[1] estudio de una bomba centrífuga
[2] accionamiento con número de revoluciones variable, ajustable sin escalonamiento a través del convertidor de frecuencia
[3] grifo de bola para ajustar la altura de elevación
[4] manómetros en entrada y salida de la bomba
[5] indicación digital del número de revoluciones y la potencia
[6] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[7] suministro de agua con ayuda del módulo básico HM 150

Datos técnicos

Bomba centrífuga, autoaspirante
- caudal máx.: 3000L/h
- altura de elevación máx.: 36,9m

Motor asíncrono
- potencia nominal: 370W

Rangos de medición
- presión (salida): -1...5bar
- presión (entrada): -1...1,5bar
- número de revoluciones: 0...3000min^{-1}
- potencia: 0...1000W

Rangos de medición
- presión (salida): -1...5bar
- presión (entrada): -1...1,5bar
- número de revoluciones: 0...3000min^{-1}
- potencia: 0...1000W

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1100x640x600mm
Peso: aprox. 46kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua)

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

HM 150.16
Conexión en serie y en paralelo de bombas

Descripción

- **conexión en serie y en paralelo de bombas**
- **determinación de las características de la bomba**

En instalaciones complejas, las bombas se pueden instalar conectadas en serie o en paralelo. En el funcionamiento en serie se añaden las alturas de elevación de las bombas; en el funcionamiento en paralelo se añaden los caudales de las bombas. Las conexiones en serie y en paralelo de bombas se comportan de igual forma que las conexiones en serie y en paralelo de las resistencias en circuitos eléctricos. La bomba corresponde a la resistencia, el flujo a la corriente y la altura de elevación a la tensión.

El HM 150.16 sirve para estudiar bombas individuales, en conexión en serie y en paralelo.

El equipo de ensayo contiene dos bombas centrífugas idénticas y un depósito de aspiración con rebosadero. El rebosadero se encarga de mantener una altura de aspiración constante en el depósito, independientemente del suministro de agua. Los grifos de bola en las tuberías permiten una conmutación sencilla entre el funcionamiento en serie y en paralelo.

Las presiones a al entrada y a la salida de las dos bombas se indican en los manómetros.

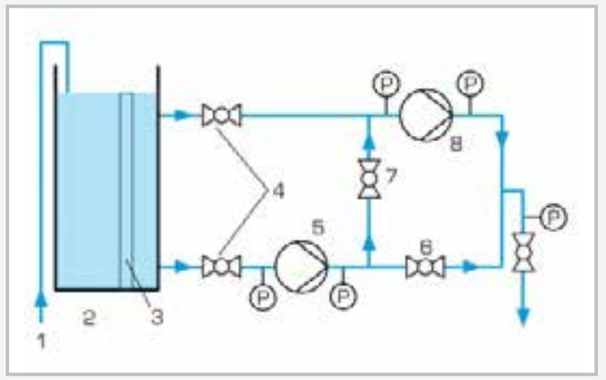
El equipo de ensayo se coloca de forma sencilla y segura sobre la superficie de trabajo del módulo básico HM 150. El suministro de agua y la medición del caudal se realizan a través del HM 150. Como alternativa, el equipo de ensayo también se puede conectar a la red del laboratorio.

Contenido didáctico/ensayos

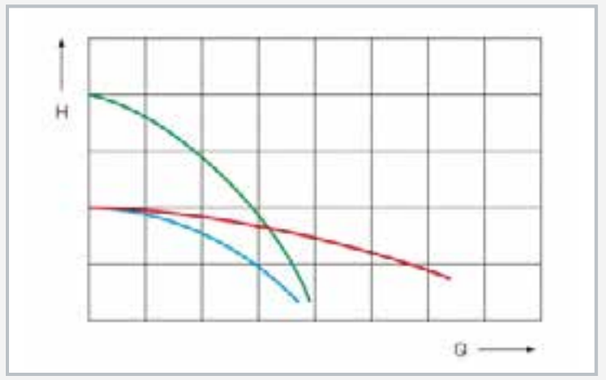
- estudio de bombas en conexión en serie y en paralelo
  - determinación de la altura de elevación
  - registro de la característica de la bomba
  - determinación de la potencia hidráulica
  - determinación del punto de funcionamiento

HM 150.16
Conexión en serie y en paralelo de bombas

1 depósito, 2 rebosadero, 3 toma de agua, 4 grifo de bola, 5 bomba, 6 interruptores de bombas, 7 desagüe, 8 manómetro



1 toma de agua, 2 depósito, 3 rebosadero, 4 grifo de bola, 5 bomba 1, 6 y 7 grifos de bola para conmutar las bombas en funcionamiento en serie y en paralelo, 8 bomba 2; P presión



Características azul: una bomba en funcionamiento, rojo: conexión en paralelo de bombas, verde: conexión en serie de bombas; H altura de elevación, Q caudal

Especificación

[1] estudio de la conexión en serie y en paralelo de bombas
[2] 2 bombas centrífugas idénticas
[3] depósito transparente como depósito de aspiración
[4] el rebosadero en el depósito se encarga de mantener una altura de aspiración constante
[5] conmutación de funcionamiento en serie y en paralelo a través de grifos de bola
[6] manómetros a la entrada y a la salida de cada bomba
[7] determinación de caudal a través del módulo básico HM 150
[8] suministro de agua a través del HM 150 o el suministro del laboratorio

Datos técnicos

2x bombas centrífugas
- consumo de potencia: 370W
- caudal máx.: 21L/min
- altura de elevación máx.: 12m

Depósito: 13L
Tuberías y conexiones de tuberías: PVC

Rangos de medición
- presión (entrada): 2x -1...1,5bar
- presión (salida): 3x 0...2,5bar

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1110x650x500mm
Peso: aprox. 62kg

Necesario para el funcionamiento

HM 150 (circuito cerrado de agua) o toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
1 material didáctico

Serie HM 150 Una iniciación fácil en los fundamentos de la mecánica de fluidos

Flujo estacionario en tuberías

HM 150.11
Pérdidas de carga en el sistema de tuberías

HM 150.11
Pérdidas de carga en el sistema de tuberías

HM 150.01
Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento

HM 150.29
Pérdida de energía en elementos de tuberías

Flujo laminar / turbulento, número de Reynolds

HM 150.18
Ensayo de Osborne Reynolds

HM 150.18
Ensayo de Osborne Reynolds

HM 150.01
Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento

Determinación del metacentro

HM 150.06
Estabilidad de cuerpos flotantes

HM 150.06
Estabilidad de cuerpos flotantes

Flujo no estacionario en canales abiertos

HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos

HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos

HM 150.03
Vertederos de cresta delgada para el HM 150

Principio de Bernoulli / medición de caudal

HM 150.13
Principios fundamentales de la medición de caudal

HM 150.13
Principios fundamentales de la medición de caudal

HM 150.11
Pérdidas de carga en el sistema de tuberías

HM 150.07
Principio de Bernoulli

Flujo no estacionario

HM 150.15
Ariete hidráulico – elevación con ayuda de golpes de ariete

HM 150.15
Ariete hidráulico – elevación con ayuda de golpes de ariete

Flujo alrededor de cuerpos

HM 150.10
Visualización de líneas de corriente

HM 150.10
Visualización de líneas de corriente

HM 150.21
Visualización de líneas de corriente en canales abiertos

Descarga de depósitos

HM 150.09
Descarga horizontal por orificios

HM 150.09
Descarga horizontal por orificios

HM 150.12
Descarga vertical por orificios

Turbomáquinas

HM 150.04
Bomba centrífuga

HM 150.04
Bomba centrífuga

HM 150.16
Conexión en serie y en paralelo de bombas

HM 150.19
Principio de funcionamiento de una turbina Pelton

HM 150.20
Principio de funcionamiento de una turbina Francis

Fuerzas ejercidas por un chorro

HM 150.08
Medición de la fuerza ejercida por un chorro

HM 150.08
Medición de la fuerza ejercida por un chorro

Formación de vórtices libres / forzados

HM 150.14
Formación de vórtices

HM 150.14
Formación de vórtices

Los equipos GUNT de la serie HM 150 demuestran fenómenos y permiten ensayos fáciles sobre los temas siguientes de la mecánica de fluidos:

- flujo estacionario en tuberías
- flujo laminar / turbulento, número de Reynolds
- ecuación de continuidad, principio de Bernoulli
- métodos de medición de caudal
- descarga de depósitos
- formación de vórtices libres / forzados
- flujo en canales abiertos
- flujo alrededor de cuerpos
- flujo no estacionario en el ariete hidráulico
- turbomáquinas
- fuerzas ejercidas por un chorro

El módulo básico HM 150 ofrece un circuito de agua cerrado para alimentar a equipos de ensayo individuales. La conexión entre el equipo de ensayo y el módulo básico se realiza a través de una manguera. La medición de caudal es volumétrica.

Todos los equipos están construidos de modo que se puedan instalar de forma segura y estable en el módulo básico.

HM 150
Módulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos

Descripción

- **suministro de agua para equipos de ensayo sobre mecánica de fluidos**
- **medición volumétrica del caudal (caudales grandes y pequeños)**
- **la amplia selección de accesorios permite realizar un cursillo de formación completo sobre los fundamentos de la mecánica de fluidos**

La serie de equipos HM 150 permite realizar experimentos muy amplios y variados sobre los fundamentos de la mecánica de fluidos. El módulo básico HM 150 proporciona el suministro básico para cada uno de los ensayos individuales: el suministro de agua en un circuito cerrado, la determinación del caudal volumétrico, el posicionamiento del respectivo equipo de ensayo sobre la superficie de trabajo del módulo básico, así como la recogida del agua de goteo.

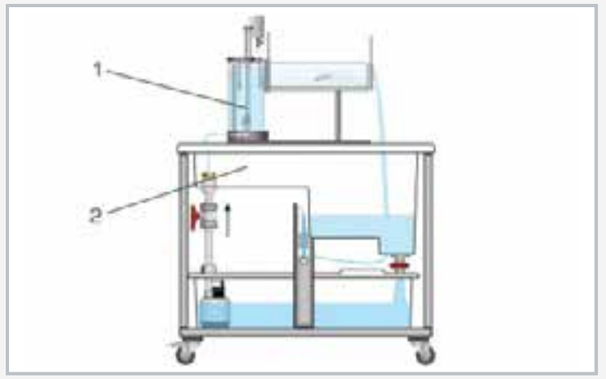
El circuito cerrado de agua está compuesto por el depósito de reserva, que se encuentra abajo, equipado con una bomba sumergible de alto rendimiento, y por el tanque de medición, que se encuentra encima, en el cual se recoge el agua que retorna.

El tanque de medición es escalonado, para caudales volumétricos mayores y menores. Para caudales volumétricos muy pequeños se utiliza un matraz aforado. Los caudales volumétricos se determinan con ayuda de un cronómetro.

La superficie de trabajo superior permite un posicionamiento fácil y seguro de los diversos equipos de ensayo. En la superficie de trabajo está integrado un pequeño canalón, con el cual se pueden realizar ensayos con vertederos (HM 150.03).

HM 150
Módulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos

1 válvula de estrangulación, 2 rebose, 3 depósito de reserva con bomba sumergible, 4 válvula de compuerta para descargar el tanque de medición, 5 indicador de nivel, 6 tanque de medición



HM 150.21 (1) montado sobre el módulo básico HM 150 (2)

Módulo básico para ensayos sobre la mecánica de fluidos con vertedero de cresta delgade HM 150.03

Especificación

[1] módulo básico de suministro para equipos de ensayo sobre mecánica de fluidos
[2] circuito cerrado de agua con depósito de reserva, bomba sumergible y tanque de medición
[3] tanque de medición dividido en dos partes, para mediciones volumétricas
[4] matraz aforado con escala para caudales volumétricos muy pequeños
[5] medición de los caudales volumétricos con ayuda de un cronómetro
[6] superficie de trabajo con canalón integrado para ensayos con vertederos
[7] superficie de trabajo con borde interior para un posicionamiento seguro de los accesorios y para la recogida del agua de goteo
[8] depósito de reserva, tanque de medición y superficie de trabajo hechos con plástico reforzado con fibra de vidrio

Datos técnicos

Bomba
- consumo de potencia: 250W
- máx. caudal: 150L/min
- máx. altura de elevación: 7,6m

Depósito de reserva, capacidad: 180L

Tanque de medición
- para caudales volumétricos grandes: 40L
- para caudales volumétricos pequeños: 10L

Canal
- LxAnxAl: 530x150x180mm

Matraz aforado con escala para caudales volumétricos muy pequeños
- capacidad: 2L

Cronómetro
- rango de medición: 0...9h 59min 59sec

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1230x770x1070mm
Peso: aprox. 85kg

Volumen de suministro

1 módulo básico
1 cronómetro
1 jarra graduada
1 juego de accesorios
1 manual

Flujos no estacionarios en tuberías y chimeneas de equilibrio

Flujo no estacionario

Los flujos, en los que los regímenes de flujo varían con el tiempo en un 'punto de observación', se denominan flujos no estacionarios. La única excepción son modificaciones provocadas por turbulencias. En los flujos con superficie abierta, un flujo no estacionario se puede reconocer a través de la variación del nivel de agua con el tiempo.

Los flujos no estacionarios se producen en todos los procesos de encendido y apagado de turbomáquinas, en aparatos y en tuberías, así como en procesos de descarga de depósitos con nivel de líquido variable; asimismo en oscilaciones fluidales (chimenea de equilibrio) y en procesos de golpe de ariete en tuberías y canales abiertos (chorro de agua y onda negativa).

En la práctica, la comprensión de los regímenes de flujo no estacionarios es muy útil para el diseño económico de tuberías (reserva en caso de golpe de ariete) en sistemas de distribución de agua, instalaciones de procesos y centrales hidroeléctricas.

GUNT le ofrece equipos de ensayo ilustrativos para el estudio de flujos no estacionarios en tuberías, la representación de golpes de ariete, así como el funcionamiento de chimeneas de equilibrio como elementos de seguridad en centrales hidroeléctricas.

El aprovechamiento de un golpe de ariete para la elevación de agua es demostrado en base al principio de funcionamiento de un ariete hidráulico.

Depósito colapsado como consecuencia de un golpe de ariete

Tubería y soportes de tubo destruidos como consecuencia de un golpe de ariete

Rotura de tubería, causada por un golpe de ariete

Golpes de ariete en tuberías

Un fenómeno frecuente de los flujos no estacionarios es la aparición de golpes de ariete en tuberías. Las fluctuaciones de presión y del caudal pueden o bien exceder considerablemente la presión determinada para una tubería o bien quedar considerablemente por debajo.

Los golpes de ariete son provocados por:

- cierre o apertura de elementos de bloqueo en la tubería
- encendido y apagado de bombas o turbinas
- nueva puesta en marcha deinstalaciones
- modificación del nivel de agua afluente

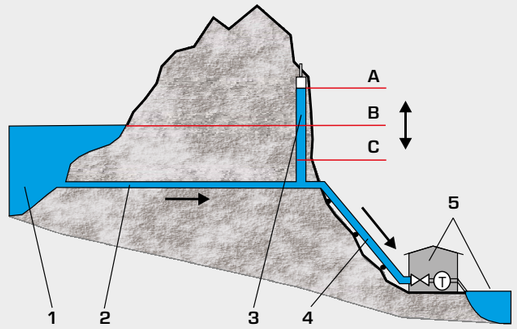
Consecuencias de los golpes de ariete

Los golpes de ariete causan daños en la instalación afectada. Las tuberías pueden reventar y los soportes de las tuberías pueden dañarse. Además, la robinetería, las bombas, fundamentos y otros componentes de la tubería (p.ej., cambiadores de calor) corren peligro de ser dañados. En el caso de tuberías de agua potable, es posible que un golpe de ariete provoque una aspiración de agua residual del exterior. Como los daños en las tuberías no siempre son inmediatamente visibles (p.ej., deterioro de una brida), es necesario tener en cuenta una posible aparición de golpes de ariete ya durante la planificación de una tubería.

Reducción de golpes de ariete

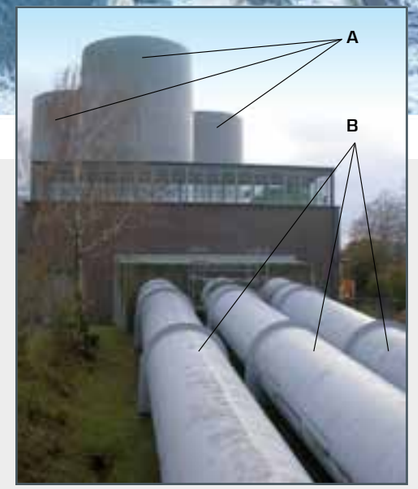
En el caso de diámetros nominales más pequeños, la incorporación de un depósito de compensación o la utilización de un determinado tipo de elementos tienen influencia sobre la aparición de golpes de ariete. Debido a los tiempos de cierre largos, las válvulas y compuertas no están tan expuestas como chapaletas y llaves de cierre. Las tuberías se pueden proteger contra daños causados por golpes de ariete por medio de válvulas de seguridad.

Los golpes de ariete en tuberías con gran diámetro nominal y gran salto son atenuados o evitados mediante el accionamiento lento de las válvulas de compuerta y el uso de chimeneas de equilibrio en la entrada de las tuberías forzadas (comparable con un depósito de compensación).



Central hidroeléctrica con chimenea de equilibrio bajo aprovechamiento de las condiciones geológicas naturales

1 depósito de retención, **2** canal de alimentación, **3** chimenea de equilibrio con nivel de agua variable, **4** tubería forzada, **5** alojamiento de la turbina con desagüe; **A** desconexión de la turbina, **B** posición de reposo, **C** arranque de la turbina



Central de acumulación por bombeo Niederwartha en Dresde (Alemania). En la entrada de las tres tuberías forzadas se encuentran tres chimeneas de equilibrio que han sido diseñadas como depósitos abiertos.
A chimeneas de equilibrio, **B** tuberías forzadas

El principio de una chimenea de equilibrio

Para reducir las fluctuaciones de presión, las centrales hidráulicas utilizan chimeneas de equilibrio. Al cerrarse la robinetería, el agua que fluye a través de la tubería forzada se desvía a la chimenea de equilibrio. Allí, el nivel de agua puede subir y bajar hasta que se vuelva a tranquilizar. La energía cinética del agua que fluye dentro de la tubería forzada es convertida así en energía potencial del nivel de agua elevado en la chimenea de equilibrio y no en una energía de presión destructora.

La tabla muestra un extracto de un curriculum habitual de una escuela superior. Los equipos GUNT cubren, en gran parte, estos contenidos.

Contenidos didácticos para el campo de "flujos no estacionarios"	Productos GUNT
Descarga de depósitos con nivel de agua variable: velocidad de descarga	**HM 150.09, HM 150.12**
Golpe de ariete: estudio de golpes de ariete y ondas de presión en tuberías, representación de las oscilaciones de un golpe de ariete, determinación de la velocidad del sonido en agua, determinación del tiempo de reflexión, determinación de un golpe de ariete (golpe de Joukowsky), influencia del caudal / de la velocidad de cierre de la robinetería sobre el golpe de ariete	**HM 155, HM 156, HM 143**
Ariete hidráulico: aprovechamiento de golpes de ariete para la elevación de agua	**HM 150.15**
Oscilación de chimenea de equilibrio: funcionamiento de una chimenea de equilibrio, frecuencia propia de las oscilaciones	**HM 143, HM 156**
Chorro de agua y onda negativa: comportamiento del flujo no estacionario, p.ej., en canales abiertos	**HM 160 a HM 163**
Procesos de desagüe no estacionarios: desagüe, procesos de desagüe retardados (retención)	**HM 143**
Onda de avenida	
Procesos de flujo no estacionarios en turbomáquinas hidráulicas: cavitación	**HM 380, ST 250**

HM 156
Golpes de ariete y chimenea de equilibrio

La ilustración muestra un aparato similar.

Descripción

- **visualización de golpes de ariete**
- **funcionamiento de una chimenea de equilibrio**
- **determinación de la velocidad del sonido en agua**
- **software GUNT para la representación de golpes de ariete y oscilaciones**

En edificios como las centrales hidroeléctricas o en sistemas para el suministro de agua se producen fluctuaciones de presión debido a cambios en el caudal, p. ej., al encender y apagar máquinas hidráulicas o al abrir y cerrar elementos de bloqueo. Se diferencia entre cambios de presión rápidos, que se propagan a velocidad del sonido (golpes de ariete), y cambios de presión lentos debido a oscilaciones másicas. En tuberías se utilizan cámaras de aire y chimeneas de equilibrio para atenuar los golpes de ariete y las oscilaciones másicas.

Con el banco de ensayos HM 156 se generan y visualizan golpes de ariete en tuberías y se demuestra el funcionamiento de una chimenea de equilibrio. El banco de ensayos está provisto de una sección de tubo con grifo de bola y chimenea de equilibrio y de una segunda sección de tubo con válvula electromagnética.

En el primer ensayo se genera un golpe de ariete mediante el cierre rápido del grifo de bola. Durante el frenado abrupto de la masa de agua se libera energía cinética que es convertida en energía potencial en la chimenea de equilibrio. Las oscilaciones de presión creadas son registradas por un sensor de presión situado detrás de la chimenea de equilibrio y representadas como desarrollo de presión en el software. Además, las oscilaciones son visibles como movimiento pendular del nivel del agua en la chimenea de equilibrio.

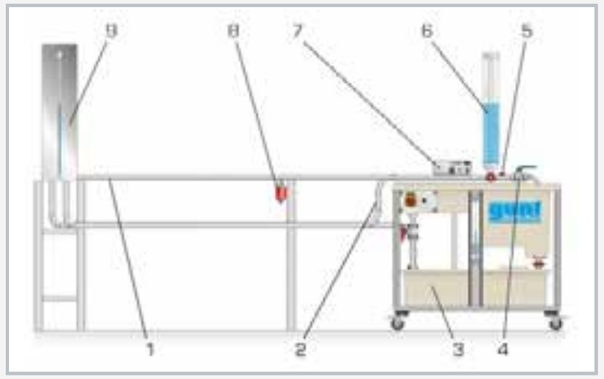
En el segundo ensayo, el cierre rápido de la válvula electromagnética genera un fuerte golpe de ariete en la segunda sección de tubo. La energía cinética del agua es convertida en energía de presión. El golpe de ariete y las oscilaciones subsecuentes son registrados por medio de dos sensores de presión en la sección de tubo y representadas como desarrollo de presión en el software.

La unidad de alimentación se encarga del suministro de agua y de la medición del caudal.

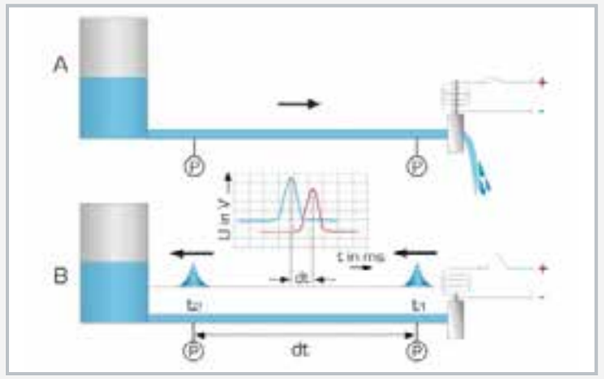
Contenido didáctico/ensayos

- procesos de desagüe no estacionarios en tuberías comprender en los ensayos
  - demostración de golpes de ariete en tuberías
  - determinación de la velocidad del sonido en agua
  - comprensión del funcionamiento de una chimenea de equilibrio
  - frecuencia propia de una chimenea de equilibrio

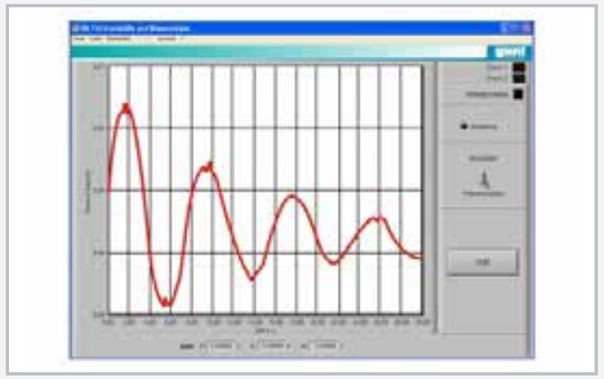
HM 156
Golpes de ariete y chimenea de equilibrio



1 dos secciones de tubo paralelas, 2 alimentación de agua, 3 unidad de alimentación, 4 grifo de bola/válvula electromagnética, 5 sensor de presión chimenea de equilibrio, 6 chimenea de equilibrio, 7 equipo de mando, 8 sensor de presión en sección de medida golpe de ariete, 9 depósito



Generación de un golpe de ariete; A: válvula electromagnética abierta, B: válvula electromagnética cerrada; P presión, t tiempo, U Tension



Captura de pantalla del software

Especificación

[1] funcionamiento de una chimenea de equilibrio
[2] sección de tubo con grifo de bola y chimenea de equilibrio
[3] chimenea de equilibrio como depósito de PMMA transparente
[4] sensor de presión detrás de la chimenea de equilibrio para medición de la onda de presión
[5] sección de tubo con válvula electromagnética y 2 sensores de presión para medición de los golpes de ariete
[6] medición volumétrica del caudal vía unidad de alimentación
[7] representación de los desarrollos de presión con el software GUNT
[8] software GUNT para la adquisición de datos a través de USB en Windows 7, 8.1, 10

Datos técnicos

Sección de tubo para oscilaciones de presión
- cobre
- longitud: 5875mm, Ø interior: 26mm
- grifo de bola
- chimenea de equilibrio, PMMA
  - altura: 825mm
  - Ø interior: 50mm

Sección de tubo para golpes de ariete
- cobre
- longitud: 5875mm, Ø interior: 26mm
- distancia entre los sensores: 3000mm
- válvula electromagnética, tiempo de cierre: 20...30ms

Depósito: 50L
Unidad de alimentación
- bomba
  - consumo de potencia: 250W
  - máx. caudal: 150L/min
  - máx. altura de elevación: 7,6m
- depósito: 1x 180L, 1x 40L

Rangos de medición
- presión: 2x 0...16bar abs. (sección de tubo)
- presión: 0...0,3bar (chimenea de equilibrio)

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 6800x820x2000mm (todo)
Peso: aprox.155kg

Necesario para el funcionamiento

PC con Windows

Volumen de suministro

1 banco de ensayos con unidad de alimentación
1 CD con software GUNT + cable USB
1 juego de accesorios
1 material didáctico

HM 143
Procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva

Contenido didáctico/ensayos

- demostración de procesos de desagüe no estacionarios en dos depósitos de reserva pluvial, uno situado detrás del otro
- demostración de procesos de desagüe no estacionarios en dos embalses, uno situado detrás del otro
- registro de las oscilaciones del nivel de agua en la chimenea de equilibrio después un golpe de ariete
- registro y representación de las fluctuaciones del nivel de agua

Descripción

- **estudio de procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva**
- **simulación de depósitos de retención pluvial y embalses**
- **chimenea de equilibrio transparente para la observación de oscilaciones después un golpe de ariete**
- **software GUNT para representación de desarrollos de los niveles de agua**

En el dimensionamiento de depósitos de agua se tienen que tener en cuenta los procesos de desagüe no estacionarios. Estos procesos ocurren, p. ej., en depósitos de retención de aguas pluviales y en presas.

El objetivo principal de un depósito de retención pluvial es retrasar el proceso de desagüe por medio de un almacenamiento temporario. Las presas sirven como depósitos permanentes en el suministro de agua y/o conversión de energía o en la protección contra inundaciones. El nivel del agua sube antes de que sea conducida a través de un rebose.

Los procesos de desagüe salen de los depósitos a través de tuberías o galerías de presión, entre otras cosas. Una chimenea de equilibrio debe evitar que se produzcan golpes de ariete en las tuberías y robinetterías cuando ocurran cambios rápidos en el caudal.

Con el banco de ensayos HM 143 se demuestran procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva, así como el funcionamiento de una chimenea de equilibrio. El banco de ensayos contiene un depósito con vertedero ajustable y un segundo depósito hundido con rebose y línea de desagüe. En la línea de desagüe de este depósito está incorporada una chimenea de equilibrio.

En el ensayo “depósito de retención pluvial”, el depósito A y depósito B simular una alcantarilla con compuerta. El flujo es regulado por medio de válvulas que se encuentran en la línea de desagüe. De esta manera se muestran unos típicos procesos de desagüe retardados.

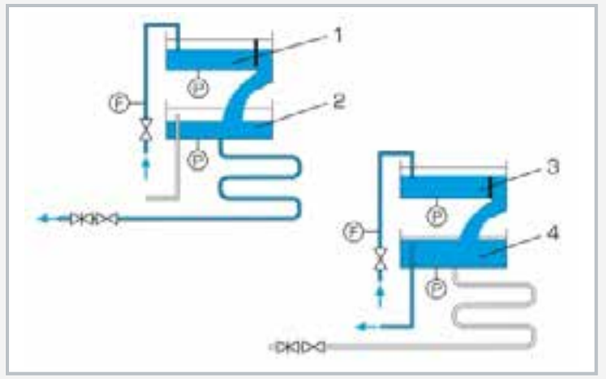
En el ensayo “embalses”, se demuestran procesos de desagüe no estacionarios en dos depósitos a largo plazo. En este ensayo, el vertedero sirve de aliviadero libre.

En el ensayo “chimenea de equilibrio”, se genera un golpe de ariete mediante el cierre rápido de una válvula de compuerta en la línea de desagüe. Las oscilaciones son visibles como movimiento pendular del nivel del agua en la chimenea de equilibrio.

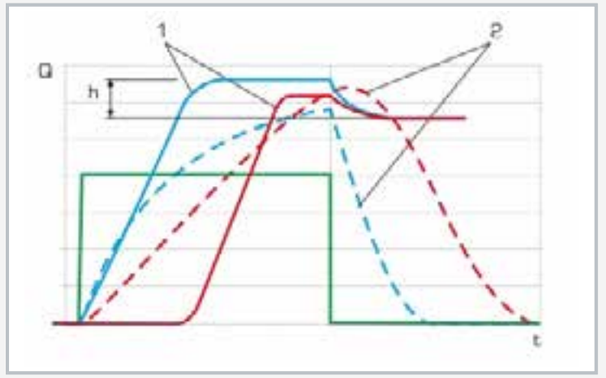
Los niveles de agua en los depósitos y en una chimenea de equilibrio son registradas mediante sensores de presión y representadas con ayuda del software GUNT.

HM 143
Procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva

1 depósito A con vertedero ajustable, 2 chimenea de equilibrio, 3 válvula en tubería de desagüe, 4 válvula de compuerta para la creación de golpes de ariete, 5 toma de agua, 6 línea de rebose, 7 depósito B con rebose, 8 caudalímetro



Arriba: “depósito de retención pluvial”: 1 depósito A como alcantarilla con compuerta, 2 depósito B como depósito de retención pluvial; abajo: “embalses”; 3 depósito A como depósito de reserva con vertedero, 4 depósito B como depósito de reserva con rebose; F caudal, P presión



Procesos de desagüe no estacionarios; azul: depósito A, rojo: depósito B, verde: afluencia de agua; Q flujo, t tiempo, h salto; 1: “embalses”, 2: “depósito de retención pluvial” con proceso de desagüe retardado

Especificación

[1] procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva
[2] funcionamiento de una chimenea de equilibrio
[3] ensayo “depósito de retención pluvial”: depósito A y depósito B como depósito de reserva a corto plazo, vertedero rectangular como compuerta
[4] ensayo “embalses”: depósito A y depósito B sirven como depósitos de reserva a largo plazo, el vertederor rectangular como aliviadero libre
[5] ensayo “chimenea de equilibrio”: tubo transparente como chimenea de equilibrio en la línea de desagüe del depósito B
[6] válvula de compuerta en la línea de desagüe para la creación de golpes de ariete
[7] sensores de presión en ambos depósitos y en la chimenea de equilibrio registran las fluctuaciones del nivel de agua
[8] representación de desarrollos de los niveles de agua con el software GUNT
[9] software GUNT para la adquisición de datos a través de USB en Windows 7, 8.1, 10

Datos técnicos

Depósito A: LxAnxAl: 900x900x300mm
- material: acero inoxidable
- vertedero rectangular según Rehbock, ajustable
  - como compuerta, abertura de la compuerta: 0...200mm
  - como vertedero, altura del vertedero: 0...200mm
  - anchura sumergible: 60mm

Depósito B: LxAnxAl: 900x900x300mm
- material: acero inoxidable
- rebose: 200mm

Chimenea de equilibrio
- material: PMMA
- Ø interior: 62mm
- altura: 1800mm

Rangos de medición
- presión: 2x 0...100mbar, 1x 0...200mbar
- caudal: 300...3300L/h

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1040x1220x2100mm
Peso: aprox. 165kg

Necesario para el funcionamiento

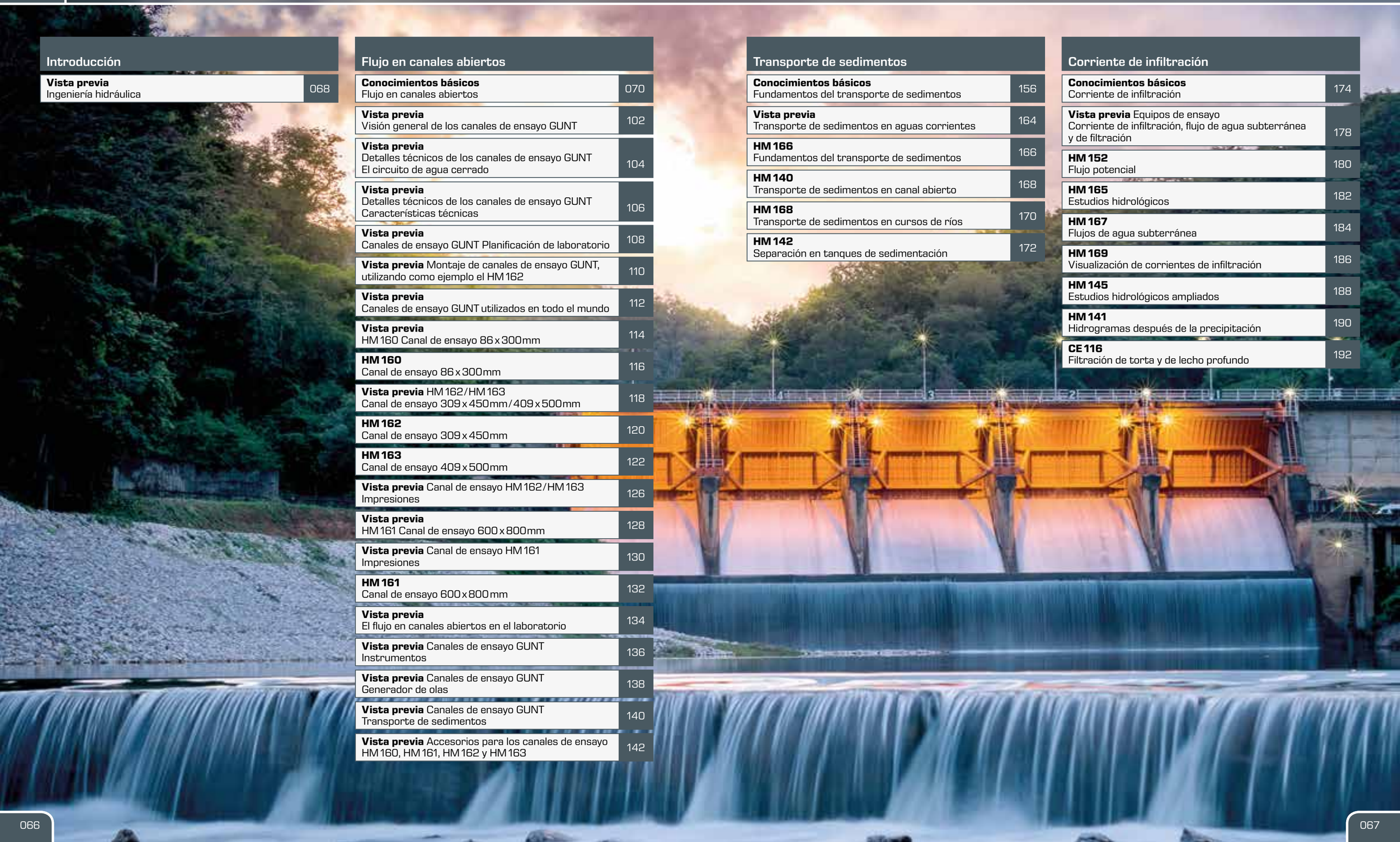
toma de agua, desagüe : 3000L/h
PC con Windows

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 CD con software GUNT + cable USB
1 material didáctico

2

Ingeniería hidráulica



Introducción

Vista previa
Ingeniería hidráulica 068

Flujo en canales abiertos

Conocimientos básicos
Flujo en canales abiertos 070

Vista previa
Visión general de los canales de ensayo GUNT 102

Vista previa
Detalles técnicos de los canales de ensayo GUNT
El circuito de agua cerrado 104

Vista previa
Detalles técnicos de los canales de ensayo GUNT
Características técnicas 106

Vista previa
Canales de ensayo GUNT Planificación de laboratorio 108

Vista previa Montaje de canales de ensayo GUNT, utilizando como ejemplo el HM 162 110

Vista previa
Canales de ensayo GUNT utilizados en todo el mundo 112

Vista previa
HM 160 Canal de ensayo 86 x 300 mm 114

HM 160
Canal de ensayo 86 x 300 mm 116

Vista previa HM 162 / HM 163
Canal de ensayo 309 x 450 mm / 409 x 500 mm 118

HM 162
Canal de ensayo 309 x 450 mm 120

HM 163
Canal de ensayo 409 x 500 mm 122

Vista previa Canal de ensayo HM 162 / HM 163
Impresiones 126

Vista previa
HM 161 Canal de ensayo 600 x 800 mm 128

Vista previa Canal de ensayo HM 161
Impresiones 130

HM 161
Canal de ensayo 600 x 800 mm 132

Vista previa
El flujo en canales abiertos en el laboratorio 134

Vista previa Canales de ensayo GUNT
Instrumentos 136

Vista previa Canales de ensayo GUNT
Generador de olas 138

Vista previa Canales de ensayo GUNT
Transporte de sedimentos 140

Vista previa Accesorios para los canales de ensayo
HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163 142

Transporte de sedimentos

Conocimientos básicos
Fundamentos del transporte de sedimentos 156

Vista previa
Transporte de sedimentos en aguas corrientes 164

HM 166
Fundamentos del transporte de sedimentos 166

HM 140
Transporte de sedimentos en canal abierto 168

HM 168
Transporte de sedimentos en cursos de ríos 170

HM 142
Separación en tanques de sedimentación 172

Corriente de infiltración

Conocimientos básicos
Corriente de infiltración 174

Vista previa Equipos de ensayo
Corriente de infiltración, flujo de agua subterránea y de filtración 178

HM 152
Flujo potencial 180

HM 165
Estudios hidrológicos 182

HM 167
Flujos de agua subterránea 184

HM 169
Visualización de corrientes de infiltración 186

HM 145
Estudios hidrológicos ampliados 188

HM 141
Hidrogramas después de la precipitación 190

CE 116
Filtración de torta y de lecho profundo 192

Ingeniería hidráulica

Las medidas, intervenciones y construcciones técnicas en el área del agua subterránea, las aguas superficiales y en la costa se denominan ingeniería hidráulica. Los fundamentos de la **ingeniería hidráulica** se enseñan en la hidromecánica y la hidrología.

La hidromecánica se divide en hidrostática, flujo en tuberías, flujo en canales abiertos y flujo subterráneo. En el capítulo de **fundamentos de la mecánica de fluidos** de este catálogo se tratan la hidrostática y el flujo en tuberías.

La hidrología contempla la distribución natural del agua sobre y por debajo de la superficie terrestre. Algunos procesos de la hidrología se muestran en los subcapítulos de **transporte de sedimentos** y **corriente de infiltración**.

Las fuerzas y fenómenos en aguas corrientes se tratan en profundidad en el subcapítulo de **flujo en canales abiertos**. ¿Qué sucede cuándo además del agua se transportan sedimentos y/o materias sólidas en las aguas corrientes como suele ocurrir en la naturaleza? El subcapítulo de **transporte de sedimentos** se ocupa de cuestiones de este tipo.

El subcapítulo de **corriente de infiltración** trata cuestiones como el modo en el que se transporta el agua en el suelo.

Flujo en canales abiertos

En el flujo en canales abiertos se trata, entre otras cosas, de regular ríos para su navegabilidad, embalsar lagos para producir energía y/o acumular agua potable y proteger de inundaciones.

En la enseñanza y la investigación se utilizan canales de ensayo para mostrar y estudiar los fenómenos más importantes del flujo en canales abiertos a escala de laboratorio. Los canales de ensayo GUNT demuestran relaciones de flujo en canales abiertos de sección rectangular. Existe una gran variedad de modelos que se instalan en los canales de ensayo y sirven para tratar temas como estructuras de control, modificación en la sección transversal, medición de la descarga u olas.

Transporte de sedimentos

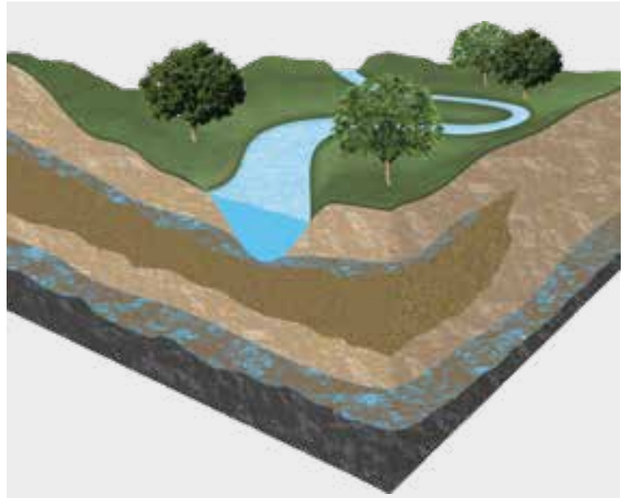
Este subcapítulo estudia el transporte de materia sólida y/o de sedimentos en aguas fluyentes. En el transporte de sedimentos se diferencia entre el transporte de sedimentos en suspensión y de depósitos arrastrados por la corriente.

En los ríos se suele producir principalmente el transporte de depósitos arrastrados por la corriente. Cuando los sedimentos se desmontan, hablamos de erosión o formación de socavación. La sedimentación se produce cuando se depositan sedimentos. Las medidas de ingeniería hidráulica pueden influir en el transporte de sedimentos.

El transporte de sedimentos en suspensión es un tema relevante en plantas depuradoras y delante de embalses y presas. En las plantas depuradoras, la sedimentación de las materias en suspensión es bien recibida, mientras que en las presas es una fuente de problemas.

Los equipos GUNT para el transporte de depósitos arrastrados por la corriente estudian, por ejemplo, el cambio de la superficie del lecho de un río y la formación de formas de lecho. Es posible observar la formación y el desplazamiento de dunas. Además, se tienen en cuenta, entre otros aspectos, la erosión y la sedimentación en pilares de puente.

Corriente de infiltración



Las corrientes de infiltración y los flujos de agua subterránea son movimientos de agua en un subsuelo permeable (arena, grava, etc.). Entre ellos se incluye la infiltración y la acumulación de precipitaciones. En la ingeniería hidráulica, la filtración de diques de tierra o la infiltración de embalses son especialmente importantes.

Los equipos GUNT demuestran y estudian la relación entre precipitación, infiltración y flujo de agua subterránea. La influencia de pozos en el gradiente hidráulico de las aguas subterráneas y la capacidad de acumulación del suelo también se tiene en cuenta.

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

En línea con muchos libros de texto, los canales de ensayo GUNT enseñan los fundamentos del flujo en canales abiertos mediante un canal de ensayo con sección rectangular.

Al principio de este capítulo, presentamos los fundamentos del flujo en canales abiertos. En paralelo, mostramos cómo se pueden implementar ciertos temas y fenómenos experimentalmente. Estas explicaciones sirven, en principio, para todos los canales de ensayo GUNT y sus accesorios.

Índice

Fundamentos del flujo en canales abiertos radio hidráulico perímetro mojado perfiles de canal típicos	072
Descarga uniforme en un canal rectangular ecuaciones de flujo	074
Descarga estacionaria ecuación de continuidad ecuación de Bernoulli energía específica	075
Descarga variada en un canal rectangular transición de flujo diagrama de energía específica diagrama de fuerza específica	076
Determinación de la pérdida de energía específica en el resalto hidráulico	078
Número de Froude y descarga crítica perturbación momentánea y permanente resalto hidráulico con distintos números de Froude	079 081
Subida y descenso del nivel en canales abiertos	082
Disipación de energía cuenco de disipación	084
Estructuras de control **flujo a través de vertederos** ■ condición de la caída en el vertedero ■ flujo a través de vertederos fijos ■ tipos de caída ■ cálculo de la descarga según Poleni presa-vertedero de perfil Ogee vertedero de cresta delgada vertedero de cresta ancha vertedero de sifón compuerta	086 086 087 088 088 089 090 091 092 093
Obra de paso	094
Pérdidas locales en canales pilares	095
Métodos para la medición de la descarga canal para aforar vertederos de aforo	096
Flujo no estacionario: vibraciones inducidas por el flujo pilotes vibratorios	098
Transporte de sedimentos transporte de depósitos arrastrados por la corriente	099
Flujo no estacionario: olas	100

Las aguas corrientes en la naturaleza representan “flujos en canales abiertos”. Desde hace siglos, el hombre ha realizado intervenciones de construcción en ellos: sistemas de regadío, protección contra las inundaciones y aprovechamiento de ríos para la navegación y la producción de energía. Algunos ejemplos conocidos son los antiguos sistemas de conducción de agua (acueductos) o los canales de irrigación agrícolas, que se extienden a lo largo de grandes distancias: las “Levadas” en Portugal (abajo).

Símbolos de fórmulas utilizados con frecuencia

E	energía específica
ΔE	pérdida de energía específica
h	profundidad de descarga
h_c	profundidad crítica
h_d	profundidad de descarga aguas abajo (“downstream”)
h_o	altura (“weir head”)
h_u	profundidad de descarga aguas arriba (“upstream”)
J	pendiente de línea de energía
Q	descarga
v	velocidad de flujo
W	altura del vertedero

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

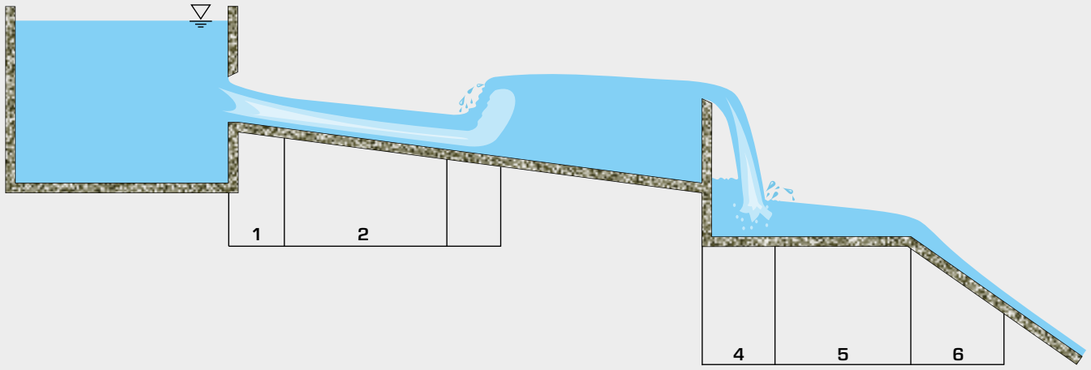
Fundamentos del flujo en canales abiertos

Los flujos en canales abiertos son muy comunes. Entre los ejemplos típicos encontramos ríos y canales, zanjas de drenaje, cunetas, atracciones acuáticas en parques de atracciones o canalización. La fuerza motriz de estos flujos normalmente turbulentos es la gravitación. Una característica de los flujos en canales abiertos es su superficie libre. En comparación con los flujos en tuberías, los flujos en canales abiertos tienen un mayor grado de libertad gracias a la superficie libre.

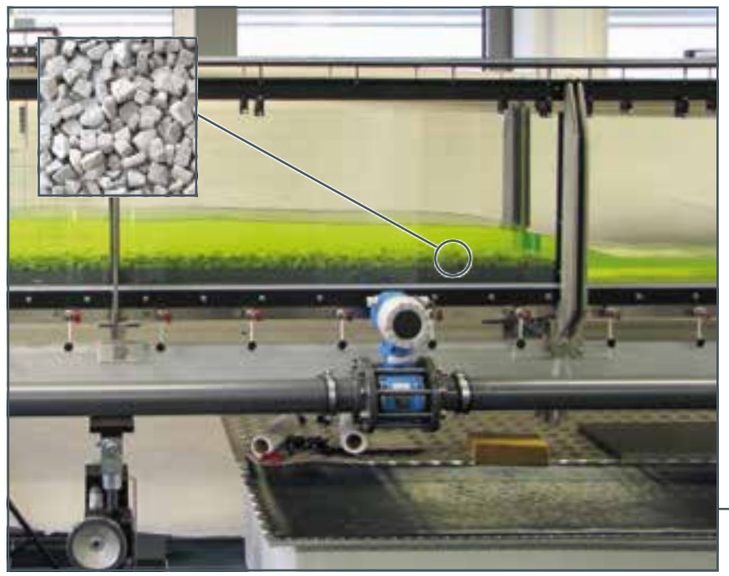
Básicamente existen dos tipos de flujo en canales abiertos:

- flujo uniforme (la profundidad de descarga (profundidad del agua) permanece igual; aceleración = deceleración)
- flujo variado (la profundidad de descarga varía debido a la aceleración o deceleración)

La descarga puede ser **subcrítica** (denominada también "lenta"), **crítica** o **supercrítica** (denominada también "torrencial").



1 descarga bruscamente variada bajo una compuerta, **2** descarga gradualmente variada, **3** resalto hidráulico (bruscamente variado), **4** desbordamiento de vertedero (flujo bruscamente variado), **5** descarga gradualmente variada, **6** descarga gradualmente variada en un cambio de pendiente



HM 162.77
Base del canal con grava

Perfiles de canal típicos

En la mayoría de los casos se puede reproducir aproximadamente la sección transversal correspondiente de un flujo en canales abiertos con pocos perfiles geométricos. Tanto circulares como semicirculares, rectangulares, trapezoidales, como también las combinaciones de los mismos son ideales para poder modelar y calcular matemáticamente el canal. A menudo es importante determinar la descarga **Q** y la profundidad de descarga **h** en puntos definidos. Las variables típicas de los cálculos son el área de caudal **A**, el perímetro mojado **P** y el radio hidráulico **R**.

En el caso de una **sección rectangular**, las variables se definen del modo siguiente:

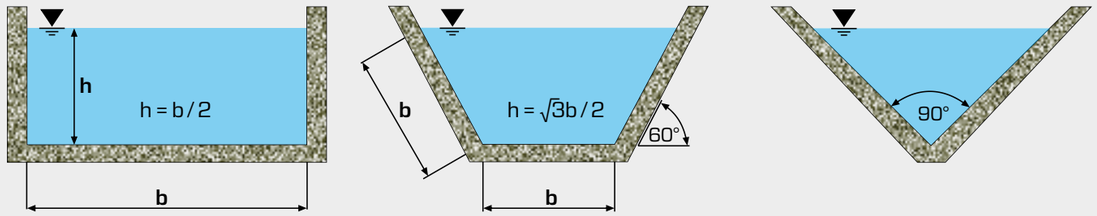
- área de caudal **A = bh**
- perímetro mojado **P = b + 2h**
- radio hidráulico **R = A / P = bh / (b+2h)**
  En canales anchos y poco profundos, el radio hidráulico **R** corresponde a la profundidad de descarga **h**.

En el caso de canales artificiales, el llamado perfil hidráulico óptimo es una variable importante – un diseño óptimo del perfil ahorra material y costes:

- descarga **Q** + pendiente de línea de energía **J** dadas: determinación del área de caudal **A** mínima
- descarga **Q** + área de caudal **A** dadas: determinación de la pendiente de línea de energía **J** mínima.

Secciones transversales hidráulicas óptimas de canal

En el caso del perímetro mojado más pequeño, basado en el área dada, se habla de sección transversal hidráulica óptima.



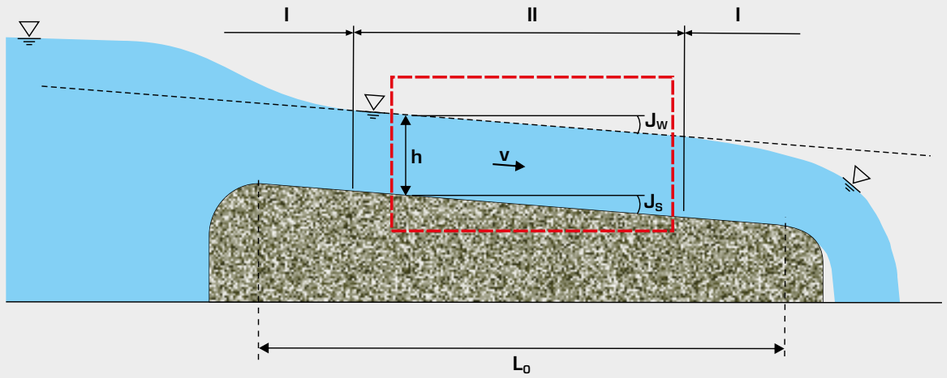
Rectángulo, trapecio con ángulos de 60°, triángulo; **h** profundidad de descarga, **b** anchura del canal

Los canales de ensayo GUNT tienen una sección rectangular. Estos ofrecen – además de la instalación de distintos modelos – la posibilidad de modificar la pendiente y la base del canal para influir en la superficie y la rugosidad. Es posible realizar múltiples ensayos del flujo en canales abiertos uniforme y variado, incluyendo los instrumentos para medir la velocidad de flujo **v** y la profundidad de descarga **h**.

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

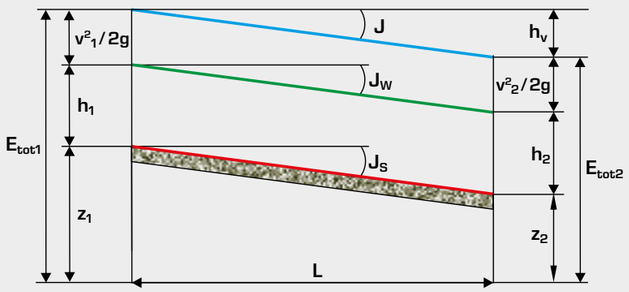
Descarga uniforme en un canal rectangular



I descarga variada, **II** descarga uniforme;
h profundidad de descarga, J_S pendiente del fondo uniforme, J_W pendiente del perfil de la superficie del agua,
L_0 longitud del canal con pendiente del fondo, J_S y ancho constante, **v** velocidad de flujo, **encuadre rojo** volumen de control

Con un flujo en canales abiertos uniforme, la profundidad de descarga **h** permanece igual, es decir, paralela al fondo. Esto significa también que la velocidad de flujo **v** permanece constante.

La profundidad de descarga **h** se puede describir también como altura de la presión (un componente de la energía específica). Estas energías específicas se suelen representar en forma de pendientes de línea. En la pendiente de línea de energía **J**, la profundidad de descarga **h** suele ser el componente más significativo. En un flujo en canales abiertos uniforme, la pendiente de línea de energía **J** es igual a la pendiente del fondo J_S y, por tanto, a la profundidad de descarga **h**. La llamada **descarga normal** domina en el flujo en canales abiertos uniforme, es decir, que la pendiente del fondo J_S compensa las pérdidas por fricción en la descarga **Q**. La línea de energía, el perfil de la superficie del agua y la pendiente del fondo son paralelos.



- pendiente de línea de energía **J**: $h_v / L = (E_1 - E_2) / L$
- pendiente del perfil de la superficie del agua J_W: $[(h_1 + z_1) - (h_2 + z_2)] / L$
- pendiente del fondo J_S: $(z_1 - z_2) / L$

Según Bernoulli, la energía específica total E_{tot} está compuesta por tres componentes:

- altura de velocidad ($v^2 / 2g$)
- altura de la presión ($h = p / \varrho g$)
- altura geodésica (z)

Ecuaciones de flujo

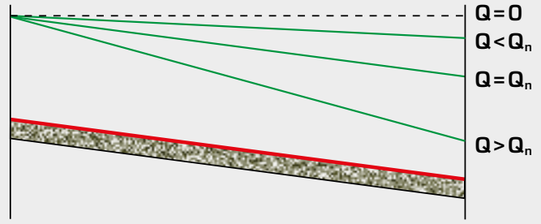
Las ecuaciones de flujo describen la relación entre la descarga **Q** y la profundidad de descarga **h** en una forma de la sección transversal y una característica de rugosidad dadas. La forma de la sección transversal se tiene en cuenta en el radio hidráulico; la profundidad de descarga **h** es un componente de la pendiente de línea de energía **J**.

Las ecuaciones de flujo utilizadas con asiduidad para canales habituales son

- Darcy-Weisbach
- Manning-Strickler (también Gauckler-Manning-Strickler).

Las ecuaciones de flujo se basan en valores empíricos.

Descarga estacionaria



Curso del perfil de la superficie del agua en el volumen de control para distintas descargas estacionarias:

- **Q = 0**: ninguna descarga
- **Q < Q_n**: descarga retardada
- **Q = Q_n**: descarga uniforme, también denominada descarga normal
- **Q > Q_n**: descarga acelerada

Al considerar la energía específica en el volumen de control, se recurre a la **ecuación de Bernoulli** y a la **ecuación de continuidad**.

Ecuación de continuidad:

$$Q = const = AV = bhv \quad o \quad bh_1v_1 = bh_2v_2$$

Ecuación de Bernoulli (conservación de la energía general):

$$\frac{1}{2} mv^2 + mgh = const$$

Expresada con energías específicas se obtiene:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + h_v$$ con pérdida por fricción h_v

con $v = \frac{Q}{bh}$ de la ecuación de continuidad se obtiene:

$$\frac{1}{2} \frac{Q^2}{gb^2h_1^2} + h_1 + (z_1 - z_2) = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{gb^2h_2^2} + h_2 + h_v$$

Para la **descarga normal** se aplica:

$h_1 = h_2$, esto es $h_v = z_1 - z_2$

La **energía específica** se define como

$$E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gh^2}$$

Se compone de la altura de velocidad y la altura de la presión. Expresada de otro modo:

$$h^3 - Eh^2 + \frac{Q^2}{2g} = 0$$

Como resultado se obtiene una ecuación de tercer grado para la profundidad de descarga **h**. La profundidad de descarga **h** depende de la energía específica **E** y la descarga **Q** o de la pendiente y la rugosidad.

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Descarga variada en un canal rectangular

En muchos casos, la descarga **Q** en un canal no es uniforme. Se diferencia entre descarga **gradualmente variada** y descarga **rápidamente variada**.

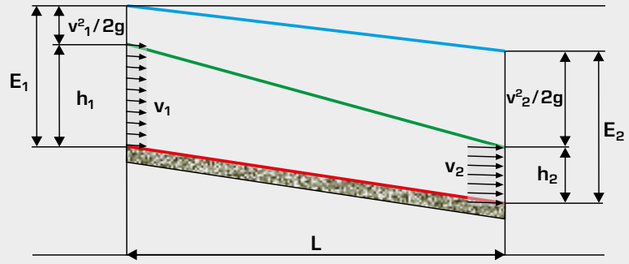
- descarga gradualmente variada: la profundidad de descarga **h** varía, la descarga **Q** o el tipo de flujo en sí mismo es **subcrítico** (al principio). La descarga gradualmente variada se produce, p. ej., en un canal con poca pendiente y gran rugosidad.
- la descarga rápidamente variada se produce, p.ej., en el desbordamiento de vertederos. En muchos casos la descarga es **supercrítica**.

La descarga subcrítica tiene una gran profundidad de descarga **h** con una velocidad de flujo **v** pequeña. En una descarga supercrítica se da lo contrario: profundidad de descarga **h** pequeña y gran velocidad de flujo **v**.

La **transición de flujo** de descarga subcrítica a supercrítica se produce con un cambio continuo de la profundidad de descarga **h**, la velocidad de flujo **v** y la energía específica **E**, p. ej., con un aumento de la pendiente.

Por el contrario, la transición de flujo de descarga supercrítica a subcrítica se produce siempre con un cambio repentino de la profundidad de descarga **h** y una pérdida de la energía específica **ΔE**, p. ej., en el **resalto hidráulico**.

Relación entre descarga Q, energía específica E y profundidad de descarga h



Energías específicas de un volumen de control

altura de velocidad ($v^2/2g$), altura de la presión (**h**), energía específica (**E**)

Las consideraciones de la energía específica en el volumen de control resultan en una ecuación de tercer grado para la profundidad de descarga **h**. La profundidad de descarga **h** depende de la energía específica **E** y la descarga **Q**. En el llamado **diagrama de energía específica** se representa la profundidad de descarga **h** gráficamente en función de la energía específica **E** con una descarga constante **Q**. La energía específica mínima E_{min} solo tiene una profundidad de descarga posible, la denominada profundidad crítica h_c. En la profundidad crítica h_c domina la descarga crítica. Para el resto de las energías específicas hay dos profundidades alternas, que son relevantes desde el punto de vista físico (véase el diagrama con resalto hidráulico). Debe calcularse cuál de las dos profundidades de descarga es correcta en cada caso (¿la descarga es subcrítica o supercrítica?).

La descarga **Q** máxima con una energía específica **E** dada también puede determinarse.

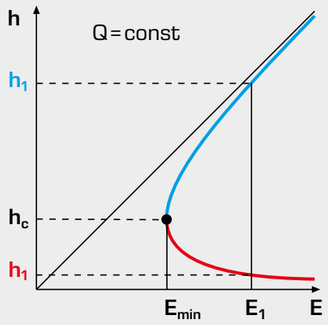


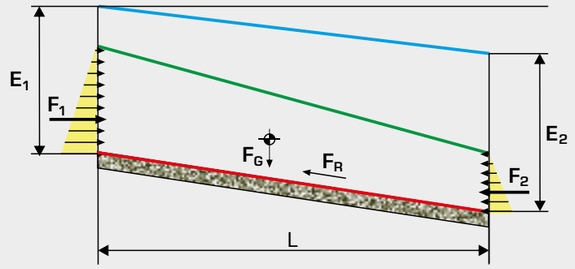
Diagrama de energía específica

- **h** profundidad de descarga, h_c profundidad crítica,
- h_1 profundidad alterna supercrítica para energía específica E_1,
- h_1 profundidad alterna subcrítica para energía específica E_1,
- E_{min} energía específica mínima,
- **E** energía específica;

- descarga subcrítica,
- descarga supercrítica

Relación entre principio del momento lineal, fuerza específica F y profundidad de descarga h

La tercera ecuación importante además de la de **Bernoulli** y la **conservación de la masa** es el **principio del momento lineal**. El equilibrio de fuerzas se establece en el volumen de control. En muchos casos pueden despreciarse la influencia del peso y la fuerza de fricción. Por tanto, solo son relevantes las fuerzas que actúan en las áreas por las que pasa el flujo: la fuerza de compresión estática y la fuerza de impulso dinámica. La denominada fuerza específica **F** es la suma de ambas fuerzas y se determina mediante el principio del momento lineal.



Fuerzas que se producen en un volumen de control

- F_1, F_2 fuerza del agua sobre las superficies por las que pasa el flujo,
- E_1, E_2 energías específicas de un volumen de control,
- F_G peso,
- F_R fuerza de fricción

También la fuerza específica se puede representar en un diagrama. En el **diagrama de fuerza específica** se representa la profundidad de descarga **h** en función de la fuerza específica **F** con una descarga **Q** constante. Como en el diagrama de energía específica, hay una fuerza específica mínima F_{min} a profundidad crítica h_c. Para el resto de las fuerzas específicas hay dos profundidades secuentes.

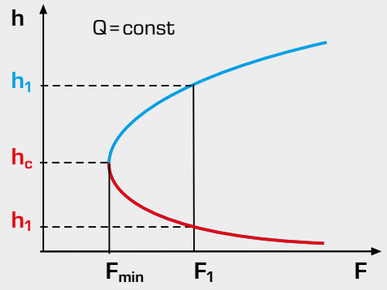
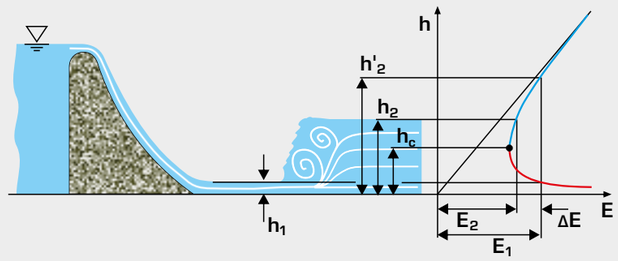


Diagrama de fuerza específica

- **h** profundidad de descarga, h_c profundidad crítica,
- h_1 profundidad secuente supercrítica para energía específica E_1,
- h_1 profundidad secuente subcrítica para energía específica E_1,
- F_{min} fuerza específica mínima,
- **F** fuerza específica;

- descarga subcrítica,
- descarga supercrítica



Pérdida de energía específica en el resalto hidráulico

- h_1 profundidad de descarga supercrítica,
- h'_2 profundidad alterna subcrítica respecto a h_1 sin pérdida de energía específica,
- h_2 profundidad secuente subcrítica real después del resalto hidráulico,
- **ΔE** pérdida de energía específica

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Determinación de la pérdida de energía específica en el resalto hidráulico

En el resalto hidráulico, una descarga supercrítica **Q** vuelve a ser subcrítica. La profundidad de descarga **h** varía repentinamente y es mayor después del resalto hidráulico. En el resalto hidráulico se disipa energía por las turbulencias producidas. El impulso se mantiene, es decir, que existen dos profundidades secuentes **h** para la misma fuerza específica **F**. La relación de las profundidades secuentes h_1 y h_2 se describe mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{8Fr_1^2 + 1} - 1\right) \quad \text{oder} \quad h_2 = \frac{-h_1}{2} + \sqrt{\frac{h_1^2}{4} + 4h_1\frac{v_1^2}{2g}}$$

Con ayuda del diagrama de energía específica dado y un diagrama de fuerza específica análogo se puede determinar gráficamente, de forma sencilla, la pérdida de energía específica **ΔE** producida:

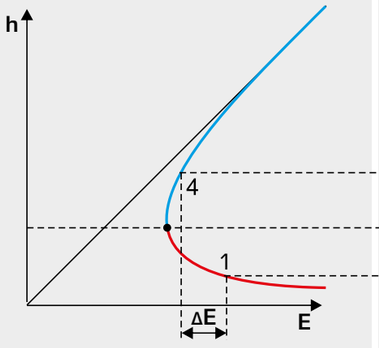
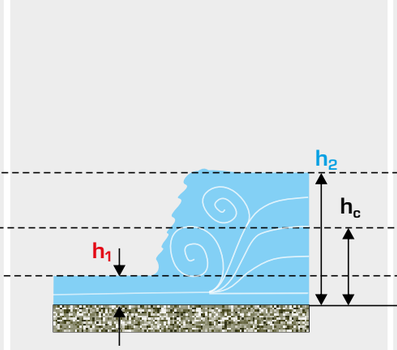


Diagrama de energía específica



Resalto hidráulico

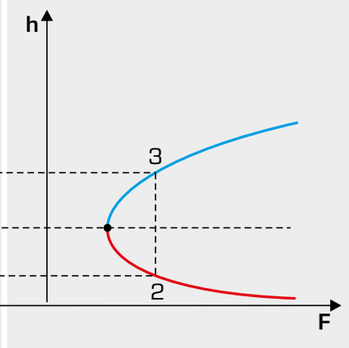


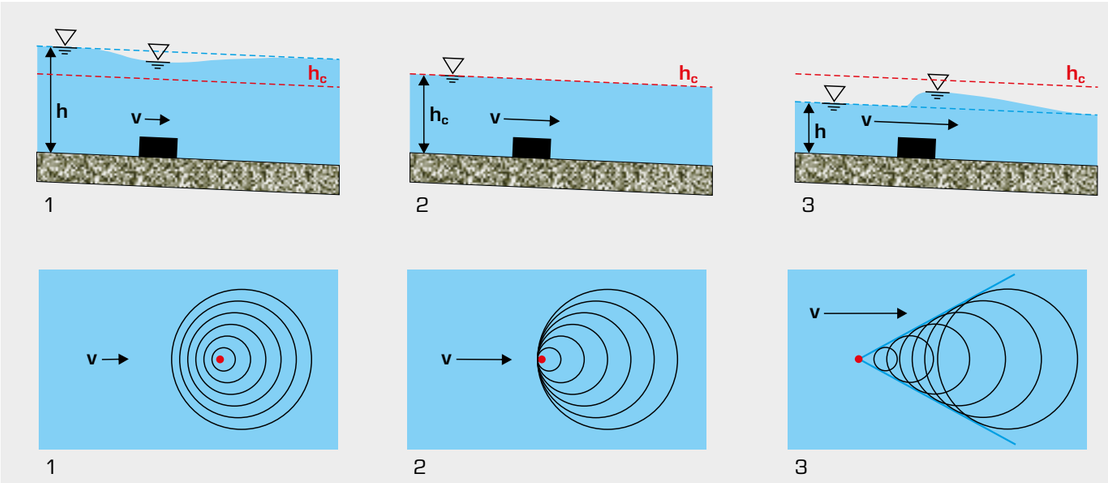
Diagrama de fuerza específica

En el diagrama de energía específica y en el diagrama de fuerza específica se introduce la profundidad de descarga h_1 (puntos 1 y 2). Para determinar la profundidad de descarga h_2 después del resalto hidráulico, se determina gráficamente la profundidad secuente respecto a h_1 (punto 3) en el diagrama de fuerza específica. Las fuerzas específicas F_1 en el punto 2 y F_2 en el punto 3 son iguales (conservación del impulso). Después se introduce la profundidad de descarga h_2 en el diagrama de energía específica (punto 4). Las energías específicas E_1 y E_2 se leen en el diagrama. La pérdida de energía específica **ΔE**, que se produce en el resalto hidráulico, corresponde a la diferencia de las energías específicas.

La pérdida de energía **ΔE** producida también puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right)$$

Número de Froude y descarga crítica



Arriba: comportamiento de la profundidad de descarga **h** de un flujo en canales abiertos en una perturbación permanente, abajo: propagación de una onda superficial después de una perturbación momentánea (punto rojo, líneas azules = frentes de perturbación)

1 descarga subcrítica, **2** descarga crítica, **3** descarga supercrítica

Descarga subcrítica

Las perturbaciones en el comportamiento de la descarga son perceptibles río arriba. La velocidad de flujo **v** es menor que la velocidad de propagación **c** de una onda superficial. La descarga subcrítica tiene normalmente una profundidad de descarga **h** mayor y una velocidad de flujo **v** menor.

Descarga crítica

Las perturbaciones en el comportamiento de la descarga no son perceptibles río arriba. La velocidad de flujo **v** es igual que la velocidad de propagación **c** de una onda superficial.

Descarga supercrítica

Las perturbaciones en el comportamiento de la descarga no son perceptibles río arriba. La velocidad de flujo **v** es mayor que la velocidad de propagación **c** de una onda superficial.

El **número de Froude** describe el comportamiento de la velocidad de flujo **v** respecto a la velocidad de propagación **c** de una onda superficial y sirve, por tanto, como medida para la descarga subcrítica y supercrítica. El mismo número de Froude significa un flujo en canales abiertos con similitud dinámica.

Fr < 1: subcrítico, Fr = 1: crítico, Fr > 1: supercrítico

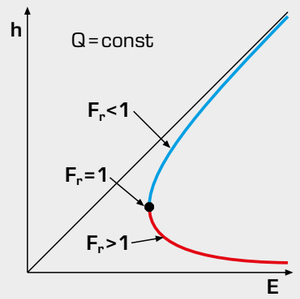


Diagrama de energía específica con número de Froude

E energía específica, F_r número de Froude

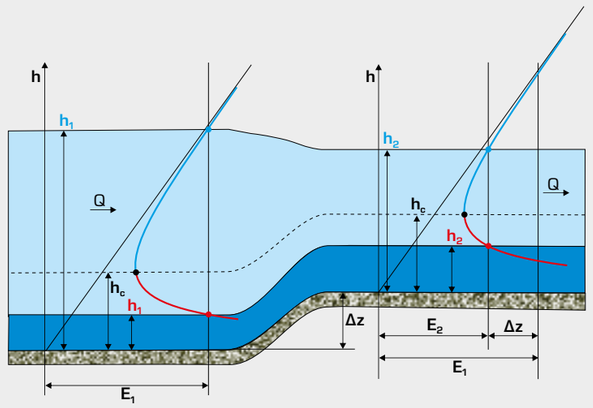
El flujo en canales abiertos tiene muchas similitudes con el flujo compresible. En ambos casos hay un número característico adimensional (Froude o Mach), que caracteriza al flujo. Muchas de las diferencias entre la descarga subcrítica y supercrítica tienen analogías en el flujo subsónico y supersónico.

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Número de Froude y descarga crítica

Umbral (HM 162.44)

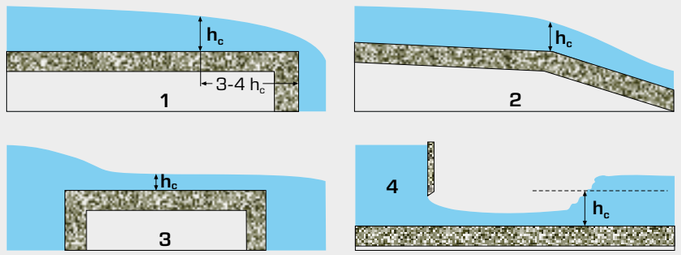


Efecto de un umbral, representado en el diagrama de energía específica

descarga subcrítica, descarga supercrítica, descarga crítica (línea de puntos).
Las nuevas profundidades de descarga h_2 después del umbral pueden simplemente leerse o calcularse desde un diagrama dado de energía específica.

Descarga crítica (número de Froude = 1)

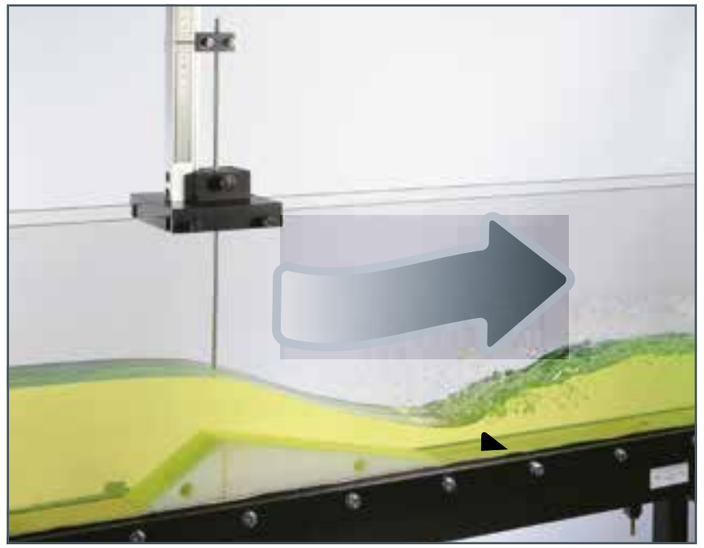
En la energía específica mínima E_{min}, la profundidad de descarga **h** corresponde a la profundidad crítica h_c. En este punto, el número de Froude es Fr=1; hay una descarga crítica y la velocidad de propagación **c** es igual que la velocidad de flujo **v**. También en este punto la fuerza específica **F** en el canal es mínima.



Ejemplos donde pueden producirse profundidades críticas (descarga crítica)

1 profundidad crítica cerca de caída libre,
2 modificación de la pendiente del fondo,
3 flujo sobre un vertedero de cresta ancha,
4 resalto hidráulico

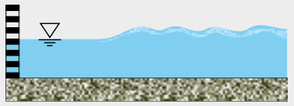
Tipo de flujo	Profundidad de descarga	Velocidad de flujo	Pendientes	Número de Froude
descarga subcrítica	$h > h_c$	$v < v_c$	$J < J_{CRIT}$	$Fr < 1$
descarga crítica	$h = h_c$	$v = v_c$	$J = J_{CRIT}$	$Fr = 1$
descarga supercrítica	$h < h_c$	$v > v_c$	$J > J_{CRIT}$	$Fr > 1$
para canal rectangular	$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$	$v_c = \sqrt{gh_c}$		$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$



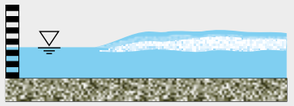
Resalto hidráulico aguas abajo de un vertedero

Resalto hidráulico en una pila

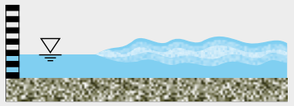
Diseño del resalto hidráulico con distintos números de Froude



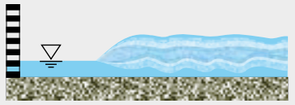
1 Fr = 1...1,7 — 1 resalto ondulado



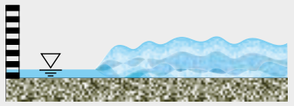
2 Fr = 1,7...2,7 — 2 resalto débil



3 Fr = 2,5...4,5 — 3 resalto oscilante



4 Fr = 4,5...9,0 — 4 resalto estable



5 Fr > 9,0 — 5 resalto fuerte

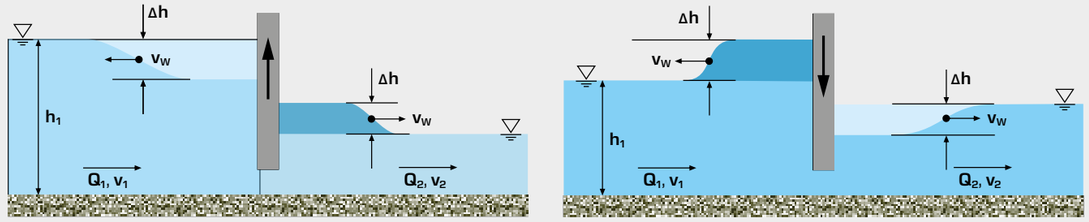
Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Subida y descenso del nivel en un canal abierto

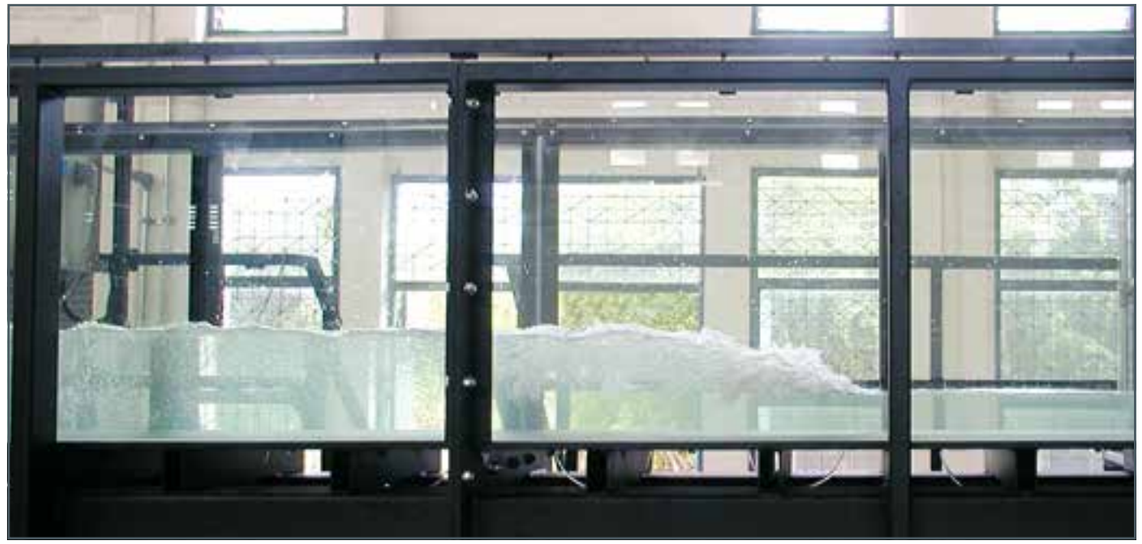
Los fenómenos de “subida del nivel” y “descenso del nivel” en un canal abierto describen olas, que se producen por la variación repentina del flujo. En las tuberías se produce un fenómeno similar con los golpes de ariete. La variación repentina de flujo puede producirse, p.ej., al abrir y cerrar una compuerta o al parar turbinas. La ola positiva se forma pronunciadamente (la velocidad de propagación de la onda aumenta con el aumento de la profundidad del agua), mientras que la ola negativa es más bien plana.

En una primera aproximación, la altura de la ola negativa y la positiva son iguales y pueden calcularse con la ecuación de continuidad. En el caso de abertura repentina (ilustración izquierda), hablamos de descenso del nivel por toma de agua y represamiento, en caso de cierre de ola positiva por remanso y descenso del nivel río abajo.



Olas positivas y negativas al activar una compuerta repentinamente

Izquierda abertura de la compuerta, **derecha** cierre de la compuerta;
Q descarga, **h** profundidad de descarga, **Δh** altura de la ola positiva o altura de la ola negativa,
v velocidad de flujo, v_w velocidad de propagación de la onda;
Índice 1 variables antes de la perturbación, **índice 2** variables después de la perturbación,
■ ola positiva, □ ola negativa



Ola positiva

Flujo en canales abiertos en el laboratorio

Conocimientos básicos

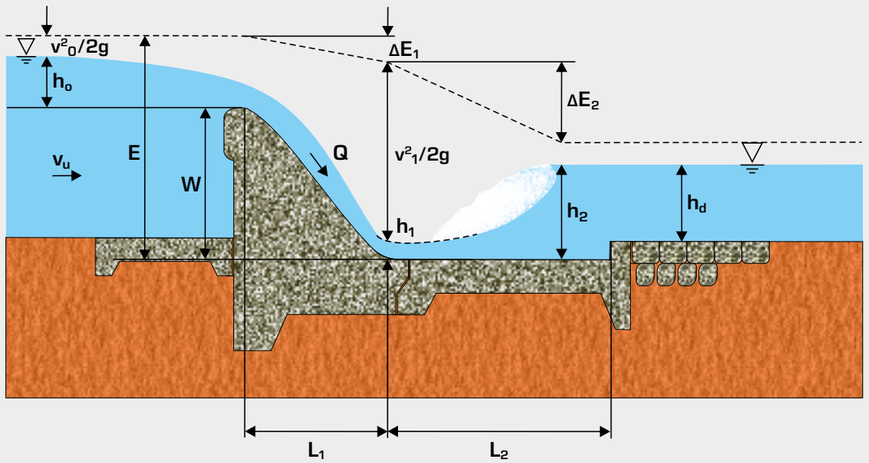
Flujo en canales abiertos

Disipación de energía

La descarga supercrítica suele tener una energía de flujo elevada, que se compone por la energía cinética, necesaria para que el flujo continúe fluyendo, y la energía excedente. La energía excedente puede, entre otras cosas, provocar erosión de la base. Por esta razón, es importante disipar la energía excedente. Esto puede realizarse en el ya citado resalto hidráulico (de forma natural o intencionada en un cuenco de disipación) o en caídas diseñadas especialmente (con forma escalonada o de salto de esquí). En un aliviadero con una instalación en forma de salto de esquí se forma un chorro libre, que salpica en el aire y ha disipado su energía después de chocar con la base (véase la fotografía inferior de la izquierda).

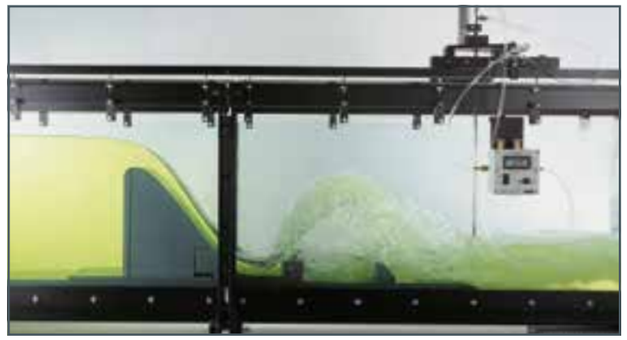
La energía excedente se puede localizar en los lugares siguientes:

- en contracciones de la sección transversal, p.ej., vertederos, compuertas
- en rápidas / pendientes pronunciadas
- al variar la profundidad de descarga por obstáculos



Descarga supercrítica en el vertedero de rebose con disipación de energía posterior en el cuenco de disipación

h_o altura, **v_u** velocidad de flujo aguas arriba, **W** altura del vertedero, **E** energía específica, **Q** descarga, **h_1** profundidad de descarga mínima, **h_2** profundidad de descarga después del resalto hidráulico, **h_d** profundidad de descarga río abajo, **L_1** longitud de cuerpo del vertedero, **L_2** longitud de cuenco de disipación, **ΔE** energía disipada (pérdida de energía específica); **línea de puntos** línea de energía

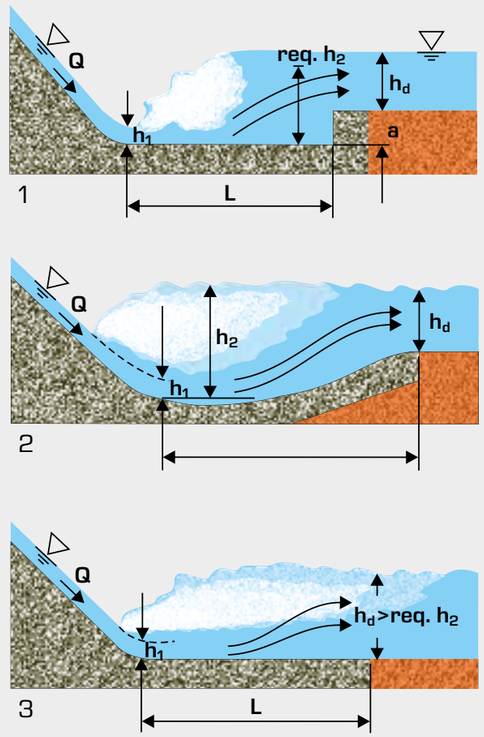


HM 162 con presa-vertedero de perfil Ogee HM 162.32 y umbrales de HM 162.35

Presa-vertedero de perfil Ogee HM 162.32

Los cuencos de disipación tienen las funciones siguientes:

- estabilización del resalto hidráulico en un lugar definido (dependiendo de la profundidad de descarga **h** o las condiciones del remanso aguas abajo, la posición del resalto hidráulico puede variar)
- además del resalto hidráulico, se produce disipación de energía adicional por elementos estructurales, p.ej., elementos deflectores, umbrales
- protección de la base del canal contra la erosión y la formación de socavación (depresión en forma de embudo o en forma de caldero en la base del canal)
- transformación de energía excedente del agua (cinética y potencial) en energía térmica y acústica; una buena transformación de energía se produce con números de Froude entre 4 y 8.



Formas constructivas de cuenco de disipación

1 en profundidad, **2** en forma de artesa, **3** sin depresión;
a nivel positivo, **Q** descarga, **L** longitud del cuenco de disipación,
h_1 profundidad de descarga al principio del cuenco de depresión,
h_2 profundidad secuente en el resalto hidráulico,
h_d profundidad de descarga aguas abajo,
req. h_2 profundidad de descarga requerida teórica

Es importante que el resalto hidráulico no migre del cuenco de disipación a aguas abajo, donde puede producir socavaciones. Para que no suceda se recomienda un ligero remanso. Una medida para el remanso del cuenco de disipación es el **grado de sumergencia**. El grado de sumergencia es la relación de la profundidad de descarga real **h** respecto a la profundidad de descarga requerida teórica **req. h**.

El cuenco de disipación puede ser más eficiente a través de distintas medidas. Es posible aumentar la sección transversal del flujo o utilizar los llamados bloques de rápida.

En los canales de ensayo GUNT pueden instalarse bloques de rápida y umbrales en el suelo del cuenco de disipación. Estos elementos para la disipación de energía ayudan a la transformación de energía y disipan la energía excedente con mayor rapidez.

Elementos para la disipación de energía HM 162.35

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Estructuras de control

Las estructuras de control son elementos habituales en canales y tienen como fin:

- incremento del nivel de agua, p.ej., para una profundidad navegable suficiente para barcos, utilización de la energía hidráulica, protección de la erosión a través de una velocidad de flujo reducida
- regulación de la descarga
- medición de la descarga

Los **vertederos** y **compuertas** son estructuras de control típicas. La diferencia entre estas es si fluyen por encima (**vertedero**) o fluyen por debajo (**compuerta**). Existen estructuras de control **fijas** y **móviles**. Las compuertas suelen ser móviles y pueden regular el nivel de agua y la descarga. Los posibles movimientos son: elevación, inmersión, giro, inclinación, rodadura o combinaciones de estos movimientos. Los **vertederos** pueden ser fijos o móviles. Los vertederos fijos no pueden regular el nivel de agua pero, sin embargo, ofrecen la ventaja de que no contienen piezas móviles propensas a averías y que requieren mantenimiento. Una forma especial de los vertederos fijos es el vertedero de sifón (véase p. 92).

En el área de las estructuras de control se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico.

Las estructuras de control reales constan de los componentes siguientes:

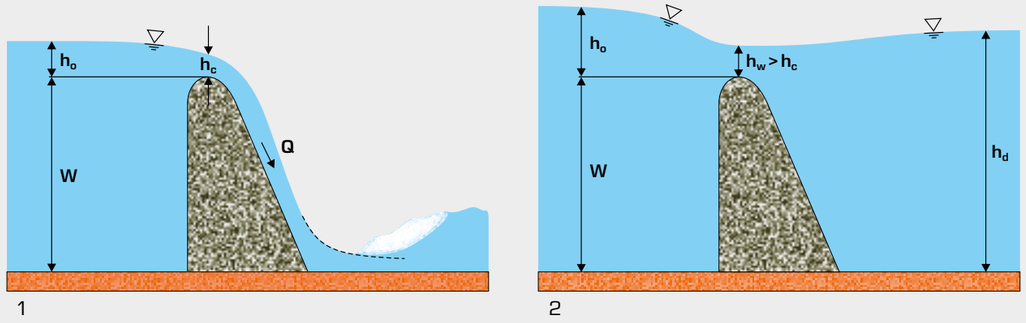
- cuerpo de retención (genera el incremento del nivel de agua); puede ser fijo, móvil o una combinación de ambos
- cuenco de disipación: disipación de energía de la descarga
- afirmado del cauce aguas arriba y aguas abajo, estructuras de conexión (muro lateral del vertedero)
- estructuras para la consistencia ecológica

Condiciones de la caída en el vertedero

En el vertedero puede haber dos **condiciones de la caída**. En el caso de **caída libre**, las condiciones de aguas arriba no se ven afectadas por las de aguas abajo. Se produce una descarga crítica en la cresta del vertedero. La cresta del vertedero está por encima del nivel de aguas abajo. El vertedero se denomina **vertedero de rebose**.

En el **chorro sumergido**, las condiciones de aguas arriba se ven afectadas por las de aguas abajo. El vertedero actúa como un **vertedero sumergido** y está en muchos casos totalmente bajo el agua.

En la **caída libre**, los vertederos eliminan la conexión de nivel de agua aguas arriba con el nivel de agua aguas abajo. Cuando las condiciones de aguas abajo se hayan acumulado en la cresta del vertedero hasta superar la profundidad crítica, se produce un **chorro sumergido**.



1 caída libre, **2** chorro sumergido;
W altura del vertedero, h_o altura, h_c profundidad crítica, **Q** descarga, h_d profundidad de descarga aguas abajo,
h_w profundidad de descarga en la cresta del vertedero

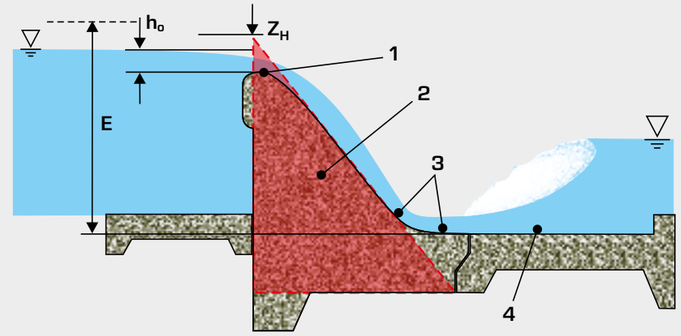
Se pueden diferenciar tres **tipos de vertederos**:

- **de cresta delgada**
- **de perfil Ogee** / redondeada (presa de rebose)
- **de cresta ancha**

Los vertederos de cresta delgada se utilizan preferentemente como vertederos de aforo. Las presas-vertedero de perfil Ogee se suelen utilizar como presas de retención y aliviaderos de crecidas. Y los vertederos de cresta ancha sirven a menudo como umbral y estructura de desbordamiento.

En los canales de ensayo GUNT se tratan estos tres tipos de vertederos.

Estructuras de control: flujo a través de vertederos fijos



Estructura de control simplificada:
presa-vertedero de perfil Ogee con cuenco de disipación

1 cresta del vertedero, **2** cuerpo del vertedero, **3** redondez, **4** cuenco de disipación;
Z_H nivel máximo de retención, h_o altura, **E** energía específica;
triángulo básico del vertedero como ayuda para el diseño

Los vertederos fijos se suelen utilizar para embalsar ríos. El vertedero consta en sí de un cuerpo de retención. El momento aplicado de la presión de agua es compensado por el peso del muro de contención. Por esta razón, los vertederos se suelen construir de modo que los contornos externos correspondan aproximadamente a un triángulo. El dorso del vertedero puede diseñarse para favorecer al flujo y así lograr la descarga **Q** más grande posible. Un perfil de descarga hidráulicamente bueno es el llamado **perfil WES**, desarrollado por el Ejército de los EE.UU. en la **W**aterways **E**xperimental **S**tation en Vicksburg, MS, EE.UU.

El diseño del perfil WES no asume una descarga de cálculo. Normalmente se transitan descargas menores como descarga de cálculo sobre el vertedero. El vertedero se optimiza, por tanto, para una descarga ligeramente menor. Para descargas, menores o iguales a la “descarga proyectada”, el perfil de descarga permanece estable y se evitan las separaciones del chorro. Con la descarga de cálculo se producen pequeñas depresiones en el perfil del vertedero, pero no suponen ningún peligro para el vertedero.

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Estructuras de control: tipos de caída en el vertedero

Existen dos tipos de caída: la llamada **caída sobre cresta delgada** y la **caída hidrodinámica**. En ambos tipos de caída, la condición de la caída puede ser libre o de chorro sumergido.

En la **caída sobre cresta delgada** es importante que la napa se airee para que caiga libremente. Si no hay aireación pueden producirse perturbaciones y, por tanto, una reducción de la descarga.

En la **caída hidrodinámica** del vertedero fijo es importante evitar separaciones del chorro (descarga reducida) y depresiones demasiado grandes (peligro de cavitación).

Caída sobre cresta delgada en el vertedero de aforo

Estructuras de control: cálculo de la descarga en el vertedero

El cálculo de la descarga desempeña un importante papel en el flujo sobre estructuras de control. Para calcular la descarga se utiliza la **ecuación de Poleni**. Para un vertedero con caída libre se aplica:

$$Q = \frac{2}{3}\,\mu b h_o \sqrt{2gh_o}$$

μ es un factor, que considera la geometría del vertedero (véase la tabla), **b** es la anchura de cresta del vertedero, h_o la altura.

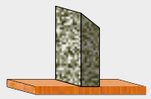
En el chorro sumergido, la ecuación se complementa con un factor de reducción, que se toma de diagramas apropiados.

De la ecuación de Bernoulli podemos observar que la energía específica **E** se puede calcular a partir de la energía cinética (velocidad de aproximación v_u) y la profundidad de descarga h_u aguas arriba. En muchos casos, la v_u es relativamente pequeña y se desprecia.

En los canales de ensayo GUNT se estudian modelos con flujo normal, es decir, perpendicular a la dirección del flujo. Los vertedero considerados pertenecen todos al grupo de los vertederos fijos.

En la práctica existen también vertederos laterales, que solo se utilizan como aliviaderos. Los vertederos laterales se instalan en paralelo a la dirección del flujo. Los vertederos laterales también son vertederos fijos.

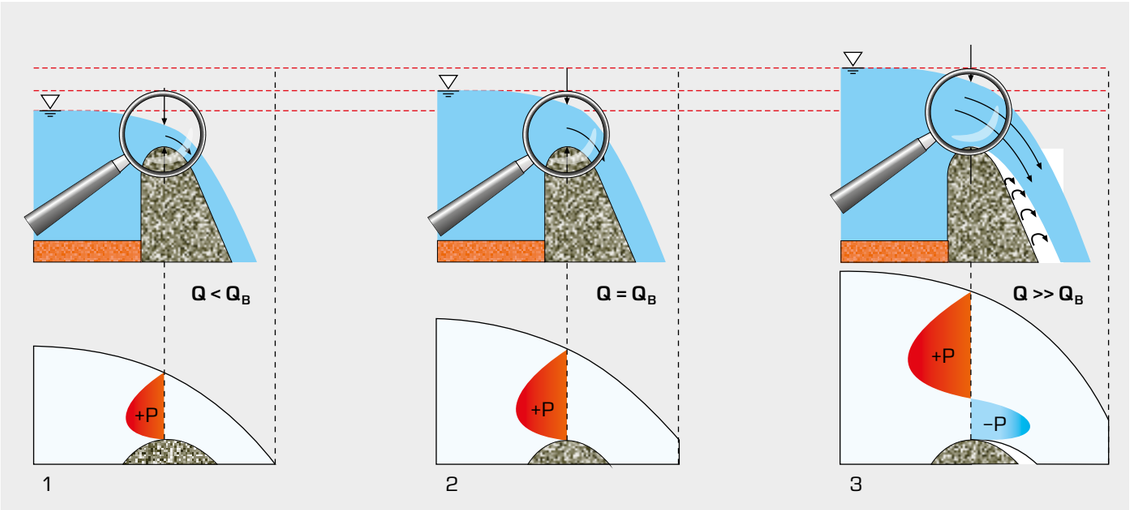
Coeficientes de descarga μ para vertederos con crestas de formas diferentes

	Diseño de la cresta del vertedero	μ
	ancho, de cresta delgada, horizontal	0,49...0,51
	ancho, bordes bien redondeados, horizontal	0,50...0,55
	ancho, cresta del vertedero totalmente redondeada, lograda por compuerta de retención desplazada	0,65...0,73
	de cresta delgada, napa aireada	≈ 0,64
	de perfil Ogee, lado de aguas arriba perpendicular y lado de aguas abajo inclinado	0,73...0,75
	en forma de tejado, cresta del vertedero redondeado	0,75...0,79

Estructuras de control: presas-vertedero de perfil Ogee

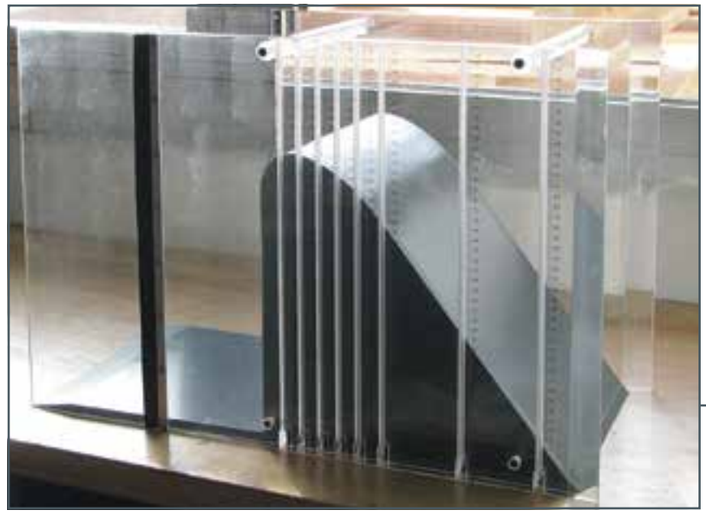
Las presas-vertederos fijas de perfil Ogee se utilizan preferiblemente como presas de retención y aliviaderos de crecidas. Suelen tener un perfil de vertedero que favorece el flujo, p. ej., con el perfil WES.

En la presa-vertedero de perfil Ogee HM 162.34 de GUNT se mide la distribución de presión a lo largo del dorso del vertedero y se indica directamente en ocho tubos manométricos.



Caída hidrodinámica en la presa-vertedero de perfil Ogee, distribución de presión en la cresta del vertedero con descarga diferente

1 napa sobre el vertedero, **2** el perfil del vertedero corresponde aproximadamente al contorno de la napa libre,
3 la napa podría despegarse del cuerpo de presa; **Q** descarga, Q_B descarga de cálculo



Distribución de presión en la presa-vertedero de perfil Ogee HM 162.34

Conocimientos básicos

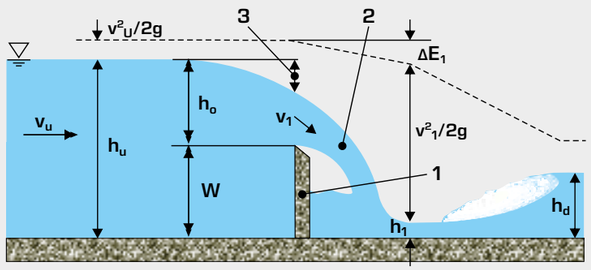
Flujo en canales abiertos

Estructuras de control: vertederos de cresta delgada

También en el vertedero de cresta delgada hay una caída libre y un chorro sumergido. Para la descarga óptima en el vertedero de cresta delgada es importante airear la napa. En la parte superior e inferior de la napa aireada hay presión ambiente.

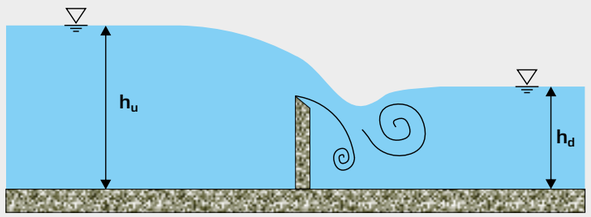
Las variables típicas son la altura del vertedero **W**, la altura h_o sobre la cresta del vertedero aguas arriba y la profundidad de descarga h_d aguas abajo. Junto con el ancho del vertedero **b**, se introducen estas variables en la ecuación de Poleni (p. 88). Algunas variables están contenidas indirectamente en coeficientes o factores de reducción.

HM 162.30
Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

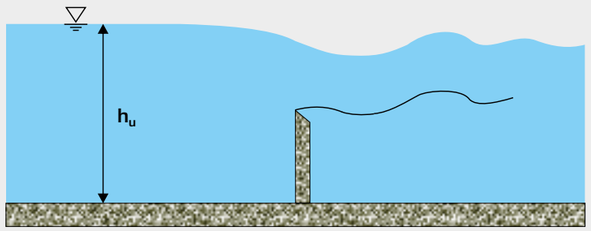


Caída libre aireada en vertedero de cresta delgada

1 vertedero, **2** napa, **3** depresión;
v_u velocidad aguas arriba,
v_1 velocidad en la napa,
h_d profundidad de descarga aguas abajo,
h_o altura,
h_u profundidad de descarga aguas arriba,
W altura del vertedero



1



2

Chorro sumergido

1 en el vertedero de cresta delgada parcialmente sumergida,
2 en el vertedero de cresta delgada totalmente sumergido (descarga ondulada)

Estructuras de control: vertederos de cresta ancha

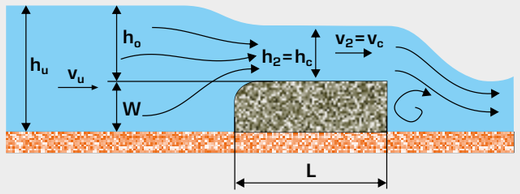
Los vertederos de cresta ancha son estructuras de desbordamiento, que se instalan en aguas corrientes en las que la descarga varía levemente y solo se desea un nivel máximo de retención más bien pequeño. Pueden servir de subestructura para una estructura de control móvil.

Los vertederos de cresta ancha se caracterizan porque una pequeña sección de descarga prácticamente uniforme con profundidad crítica se produce en la cresta del vertedero (véase ilustración). En esta sección se genera una distribución de presión hidrostática y las líneas de corriente se extienden casi horizontalmente. Estas condiciones se aplican siempre que la relación de la altura respecto a la longitud del vertedero h_o/L esté entre 0,08 y 0,5. Los vertederos de cresta ancha con estas dimensiones también pueden utilizarse como **vertederos de aforo.**

Cuando $h_o/L < 0{,}08$, las pérdidas por fricción no pueden ignorarse y el cuerpo del vertedero es demasiado largo para servir de vertedero de aforo. Cuando $h_o/L > 0{,}5$, es decir, con cuerpos del vertedero cortos, las líneas de corriente no se extienden horizontalmente y la distribución de presión no es hidrostática, de modo que no podemos utilizar los métodos de cálculo aquí presentados.

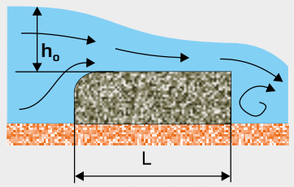
En la actualidad, por motivos ecológicos, se instalan raras veces vertederos de cresta ancha como umbral en un río. En su lugar se monta una rampa para que los peces y otros animales acuáticos puedan nadar río arriba.

Los canales de ensayo GUNT permiten el estudio de distintos vertederos de cresta ancha y las descargas correspondientes **Q**.

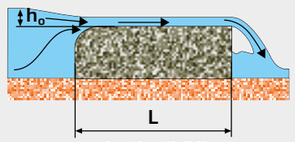


Vertedero de cresta ancha

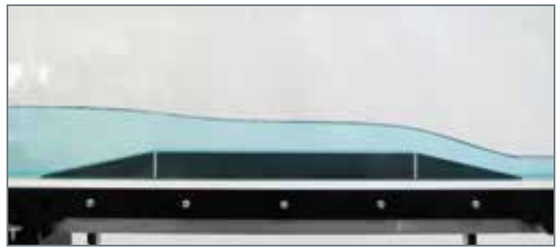
v_u velocidad de flujo aguas arriba,
h_u profundidad de descarga aguas arriba,
W altura del vertedero,
h_c profundidad crítica,
L longitud del vertedero;
Las flechas indican las líneas de corriente



$h_o/L = 0{,}50$



$h_o/L = 0{,}08$



Umbral HM 162.44

Vertedero Crump HM 162.33

Vertedero de cresta ancha HM 162.31

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Estructuras de control: vertedero de sifón

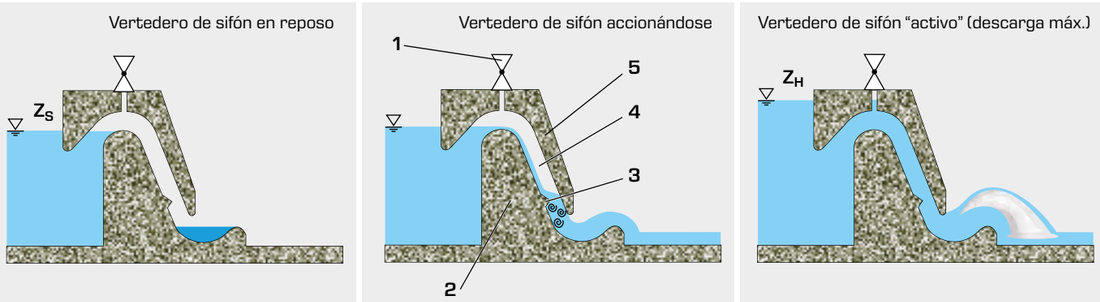
El vertedero de sifón forma parte de los vertederos fijos. En las ilustraciones se representa el principio hidráulico del sifón, p. ej., cómo se utiliza como aliviadero de crecidas.

Cuando el nivel de agua del embalse aumenta justo por encima de la cresta del vertedero del cuerpo de retención, el sifón se acciona y se produce brevemente una caída libre. Si el nivel de agua aumenta ligeramente, es decir, con un ligero aumento de la descarga, el deflector desvía el chorro de agua hacia la cubierta del sifón. Esto provoca una evacuación en el tubo del sifón, de modo que se produce una descarga de presión en el tubo con flujo total. Esta descarga en presión tiene una alta capacidad de descarga, que apenas aumenta si el nivel de agua sigue aumentado.

Si el nivel de agua del embalse vuelve a bajar, quedando por debajo del borde del labio de entrada, se aspira aire en el sifón y se airea el sifón. Esto detiene bruscamente el flujo de agua.

A través de una instalación adicional para la aireación, la descarga puede detenerse en cualquier momento. Los vertederos de sifón GUNT tienen una aireación para poder comparar la función o la capacidad de descarga del vertedero de sifón con y sin aireación.

Los vertederos de sifón solo se pueden ajustar de forma limitada y no pueden sobrecargarse. Antes solían instalarse como aliviaderos en presas debido a su gran capacidad de descarga específica.

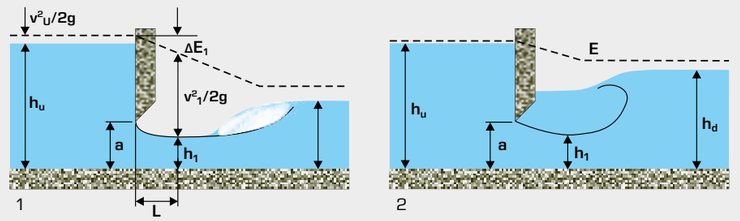


Principio del vertedero de sifón

1 aireación controlable, **2** cuerpo del vertedero, **3** deflector, **4** tubo del sifón, **5** cubierta del sifón;
Z_S nivel máximo de retención, Z_H nivel máximo de retención mayor

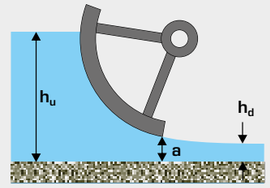
Vertedero de sifón HM 162.36

Estructuras de control: flujo bajo compuertas



Descarga bajo una compuerta plana deslizante

1 descarga libre, **2** descarga sumergida;
h_u profundidad de descarga aguas arriba, **a** abertura de compuerta,
h_d profundidad de descarga aguas abajo, h_1 profundidad de descarga contraída,
L posición de la profundidad de descarga contraída,
E energía específica, **ΔE** pérdida de energía específica



Descarga bajo compuerta de segmento

h_u profundidad de descarga aguas arriba,
a abertura de compuerta,
h_d profundidad de descarga aguas abajo

Al igual que con los vertederos de desbordamiento, en las compuertas también hay **descargas libres** y **sumergidas**. La descarga produce la contracción del chorro, que se denomina "vena contracta" (profundidad de descarga mínima h_1). La **descarga libre** prevalece siempre que la descarga fluya bajo la compuerta sin perturbaciones y no se produzcan remansos desde aguas abajo de la compuerta. En la descarga libre hay una descarga supercrítica directamente después de la compuerta.

Al igual que con el flujo sobre vertederos, la descarga libre **Q** se calcula a partir de la ecuación de Bernoulli, el principio del momento lineal y la ecuación de continuidad, obteniendo

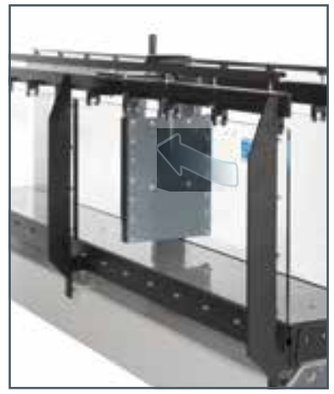
$$Q = \mu b a \sqrt{2gh_u}$$

con **μ** = coeficiente de descarga, **b** = anchura de la compuerta, **a** = abertura de la compuerta.

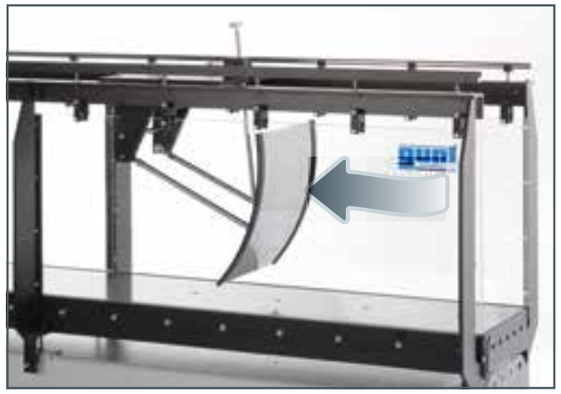
Las compuertas son estructuras de control móviles, es decir, la abertura de la compuerta **a** y, por tanto, la descarga **Q** se modifica y se adapta a las necesidades reales. En la práctica hay, por tanto, campos característicos que muestran la descarga **Q** (las profundidades de descarga aguas arriba y aguas abajo h_u y h_d y la abertura de la compuerta **a** vienen dadas).

Una compuerta muy utilizada en la práctica es la compuerta de segmento circular para el control de la descarga. La compuerta de segmento se instala a menudo sobre la cresta del vertedero de una estructura de control. El flujo no solo pasa por debajo de la compuerta de segmento, sino que también puede pasar por encima, si la compuerta de segmento está montada dentro de un canal (vertedero radial).

Los canales de ensayo GUNT permiten el montaje y el estudio de una compuerta plana deslizante plana y una compuerta de segmento.



Compuerta plana deslizante HM 162.29



Compuerta de segmento HM 162.40

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Obra de paso

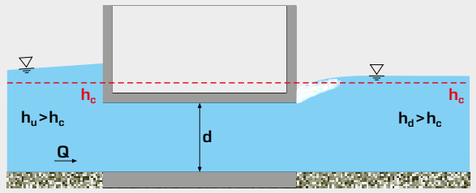
Las obras de paso pertenecen a las estructuras de cruce en aguas corrientes y permiten el paso de agua. Se puede tratar de una tubería, tendida por debajo de una calle y que permite el cruce del canal.

La obra de paso puede tener un flujo parcial o total, dependiendo de la descarga producida. La obra de paso con flujo parcial con superficie libre es tratada como un canal. Mientras que la obra de paso con flujo total y la obra de paso en la que la entrada está totalmente sumergida forman parte de las estructuras de control. Estas limitan la descarga. Puede darse también la combinación de ambas, de modo que la obra de paso tiene en parte flujo parcial y en parte flujo total.

Por diferentes motivos, las obras de paso no son ideales desde el punto de vista hidráulico: provocan pérdidas de flujo, son propensas a "atascos" (basura, sedimentos), pueden generar socavaciones a la entrada y la salida y sus dimensiones, en el caso de inundaciones, suelen ser demasiado pequeñas. Además, para los animales acuáticos son difíciles de atravesar. Desde el punto de vista hidráulico, los puentes son la mejor alternativa, sin embargo, son mucho más caros.

Tipo de descarga 1

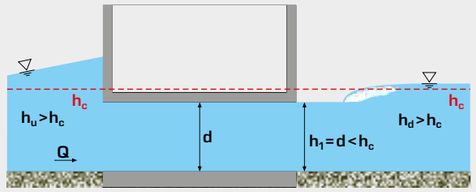
obra de paso con flujo total, aguas arriba y aguas abajo de la obra de paso **Fr<1**; h_u profundidad de descarga aguas arriba, h_C profundidad crítica, **Q** descarga, **d** diámetro de la obra de paso, h_d profundidad de descarga aguas abajo



1

Tipo de descarga 2

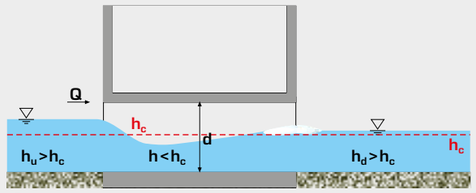
obra de paso con flujo total, aguas arriba de la obra de paso **Fr<1**, inmediatamente aguas abajo de la obra de paso **Fr>1**



2

Tipo de descarga 3

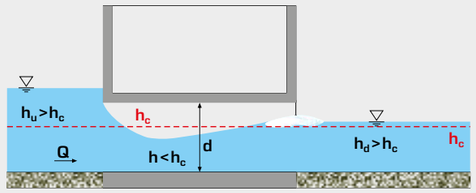
obra de paso con flujo parcial, aquí con transición de flujo a la entrada y después de la obra de paso; también posible: descarga continua con **Fr<1** o **Fr>1**



3

Tipo de descarga 4

obra de paso sumergida con control de la descarga; transición de flujo también posible en la obra de paso, de modo que la obra de paso tenga a veces un flujo total

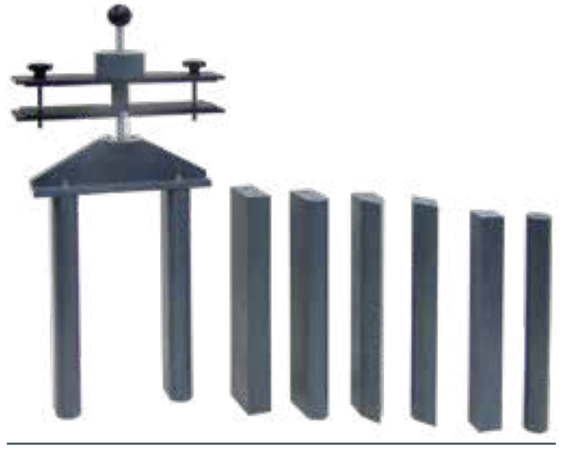


4

Obra de paso
HM 162.45

Pérdidas locales en canales

Las pérdidas locales se producen en modificaciones en la sección transversal (constricción, umbrales, canales para aforar), modificaciones de dirección y obstáculos. Los obstáculos en canales son, p. ej., pilares para puentes o vertederos. Los pilares estrechan la sección transversal del flujo. Debido a esto se pueden producir remansos.



Juego de pilares HM 162.46

Desde el punto de vista hidráulico hay cuatro casos generales para pilares, que clasifican el comportamiento de desagüe sin obstáculos, es decir, como descarga normal. Los cuatro casos generales son:

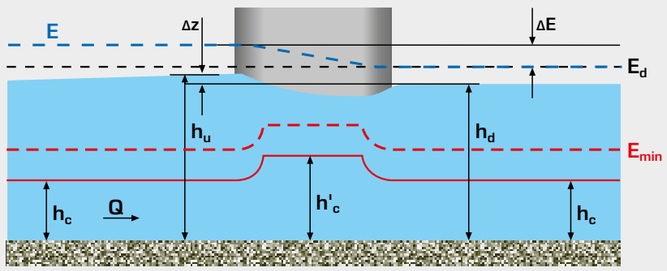
- descarga subcrítica con constricción de la sección transversal escasa o considerable
- descarga supercrítica con constricción de la sección transversal escasa o considerable

Se produce un remanso no insignificante y posiblemente una transición de flujo delante del pilar cuando la energía específica **E** de la descarga **Q** no perturbada es menor que la energía específica mínima E_{min} necesaria, que garantiza la descarga **Q** total. A medida que la anchura del caudal b_{rest} del canal disminuye a través de los obstáculos, la E_{min} aumenta (véanse las ilustraciones).

Para los canales rectangulares con una sección transversal ancha se aplica

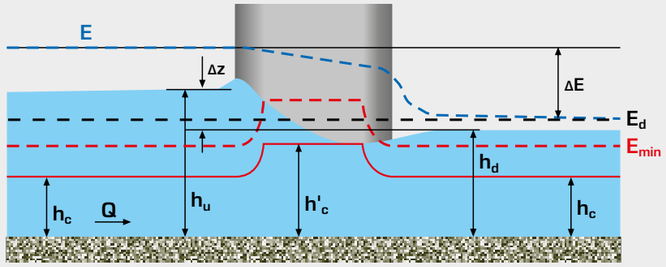
$$E_{min} = 1{,}5^3 \sqrt{\frac{Q^2}{g b^2_{rest}}}$$

Los pilares con perfil rectangular, con perfil redondeado y perfil terminado en punta se estudian en los canales de ensayo GUNT.



Descarga en el pilar redondeado
sin transición de flujo

E energía específica con pilar,
Q descarga,
E_d energía específica sin perturbaciones,
E_{min} energía específica mínima requerida,
h_d profundidad de descarga aguas abajo (descarga normal),
h_u profundidad de descarga aguas arriba con pilar,
h_C profundidad crítica sin perturbaciones,
h'_C profundidad crítica con pilar,
Δz acumulación debida al pilar,
ΔE pérdida de energía específica



Descarga en el pilar redondeado
con transición de flujo

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Métodos para la medición de la descarga

Los dos procedimientos más comunes para determinar la descarga de un canal abierto son los **canales para aforar** y los **vertederos de aforo**. En ambos procedimientos existe una dependencia fija entre la profundidad de descarga **h** y la descarga **Q**.

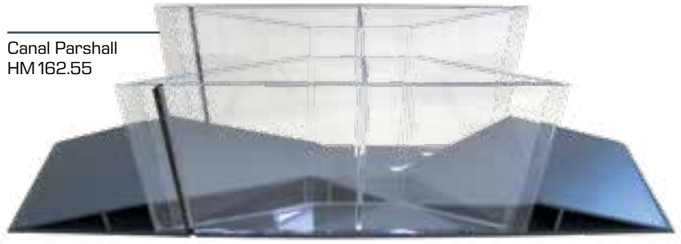
Canales para aforar

Los **canales de Venturi** como canales para aforar son canales con una forma especial con una contracción lateral definida y, a veces, también con un fondo perfilado. La contracción contiene la descarga **Q**. Esta contención de la descarga asegura una descarga subcrítica en el canal. En la contracción se produce la aceleración (incluyendo la transición de flujo) de descarga subcrítica a supercrítica. En la sección transversal más estrecha tiene lugar la descarga crítica. En la expansión del canal de Venturi se produce el resalto hidráulico. La descarga **Q** se calcula a partir de la profundidad de descarga $\mathbf{h_u}$ aguas arriba.

Los canales de Venturi GUNT tienen un fondo plano.

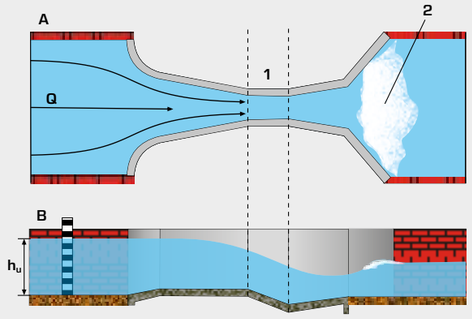
Para que la medición en el canal de Venturi no se distorsione, la descarga debe ser libre. La profundidad de descarga $\mathbf{h_u}$ aguas arriba no puede verse afectada por las condiciones de aguas abajo.

Canal de Venturi
HM 162.51



Canal Parshall
HM 162.55

Los **canales Parshall** son canales de Venturi con un fondo perfilado. Las relaciones de contracción y expansión están definidas. Los canales Parshall están disponibles comercialmente como componentes completos, incluida una curva de descarga (descarga **Q** en función de la profundidad de descarga $\mathbf{h_u}$ aguas arriba). En Norteamérica son muy comunes.



A vista en planta del canal Parshall o Venturi, **B** vista lateral del canal Parshall;
1 sección transversal más estrecha, **2** resalto hidráulico;
$\mathbf{h_u}$ profundidad de descarga aguas arriba, **Q** descarga

Canal trapezoidal HM 162.63

Los **canales trapezoidales** pertenecen también a los canales para aforar. La sección transversal del flujo es triangular o trapezoidal con paredes lisas. En comparación con los canales Parshall, suelen tener una pérdida de carga de presión menor con la misma descarga y son más apropiados para descargas pequeñas.

Los canales para aforar se instalan principalmente en plantas depuradoras porque son idóneos para aguas contaminadas. Además pueden mantenerse fácilmente.

Vertederos de aforo

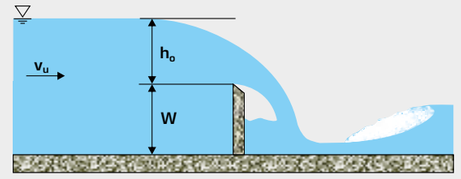
Los vertederos de aforo suelen ser de cresta delgada. Tienen un diseño sencillo, necesitan poco espacio y son relativamente fáciles de construir.

Los vertederos de aforo se instalan para determinar la descarga **Q**. La cantidad se mide a través de la detección de la altura $\mathbf{h_o}$ antes del vertedero. Entre el punto de medición y el vertedero debe haber una distancia mínima de $\mathbf{3h_o}$. Para convertir la altura $\mathbf{h_o}$ en la descarga **Q** hay ecuaciones de aproximación que tienen en cuenta la geometría del vertedero de aforo y el coeficiente de descarga según Poleni.

Los vertederos de aforo siempre tienen caída libre.

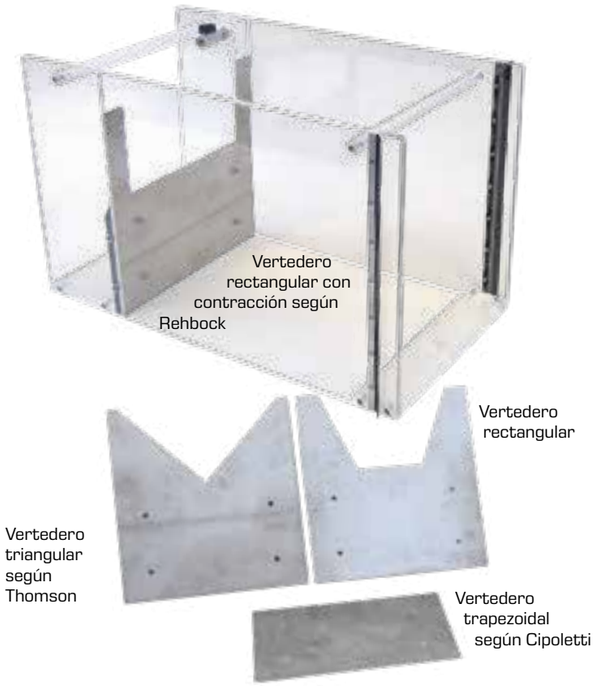
Los vertederos de cresta delgada tienen distintas geometrías, p. ej.:

- **vertedero rectangular según Rehbock**
  uso con descargas relativamente uniformes de más de $50 m^3/h$, pero con una precisión reducida en la parte inferior del área de medición. En el vertedero rectangular debe garantizarse la aireación.
- **vertedero triangular según Thomson**
  uso con descargas variables ($0{,}75...240 m^3/h$); buena precisión de medición para caudales más pequeños
- **vertedero trapezoidal según Cipoletti**
  uso con descargas relativamente uniformes de más de $125 m^3/h$.

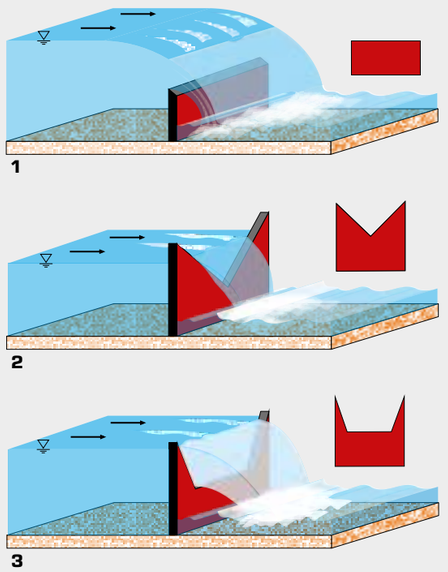


Caída libre aireada en vertedero de cresta delgada

$\mathbf{v_u}$ velocidad aguas arriba,
$\mathbf{h_o}$ altura,
W altura del vertedero



Juego de vertederos de cresta delgada, HM 162.30



Vista lateral del desbordamiento de vertederos de aforo típicos

1 vertedero rectangular sin contracción,
2 vertedero triangular según Thomson,
3 vertedero trapezoidal según Cipoletti

Conocimientos básicos

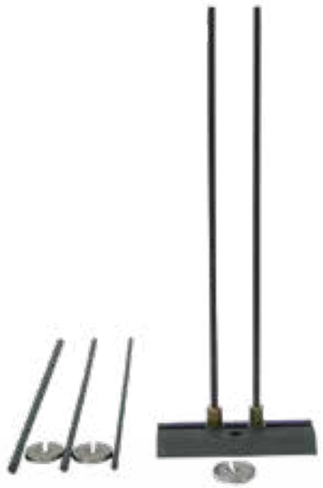
Flujo en canales abiertos

Flujo no estacionario: vibraciones inducidas por el flujo

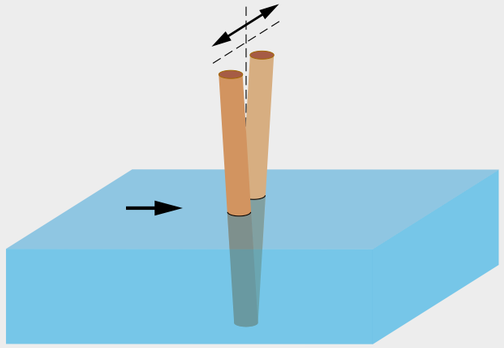
Los muelles o las plataformas de perforación se suelen encontrar sobre pilotes en el agua. El agua fluyente ejerce fuerzas sobre la parte de los pilotes que se encuentra en el agua y puede desencadenar vibraciones. Diferenciamos entre **vibraciones inducidas por vórtice** y **vibraciones inducidas por flujo**. Es importante ocuparse de estas fuerzas y las cargas que producen, ya que pueden provocar fallos de componentes.

Las vibraciones se producen por la interacción entre el fluido en movimiento y el pilote. Por ejemplo, en el flujo alrededor de un pilote puede formarse una calle de vórtices de Kárman. La separación de estos vórtices provoca una modificación en la dirección del flujo. En el peor de los casos, la frecuencia de separación del vórtice corresponde a la frecuencia propia del pilote.

El modelo GUNT "pilotes vibratorios" HM 162.61 permite observar un solo pilote vibratorio. Además hay dos pilotes paralelos, colocados transversalmente respecto a la dirección del flujo y que comienzan a vibrar por el flujo. La distancia de los pilotes puede modificarse. Cuando la distancia es demasiado pequeña se producen oscilaciones acopladas entre los dos pilotes.



Pilotes vibratorios HM 162.61



Pilote vibratorio

Transporte de sedimentos

En prácticamente todos los canales abiertos, además del agua fluyente, hay **transporte de sedimentos**, que influye en el comportamiento del flujo. El transporte de sedimentos consta de **transporte de sedimentos en suspensión** y **transporte de fondo (o depósitos arrastrados por la corriente)**. Las materias en suspensión son materias sólidas suspendidas en el agua y sin contacto con el fondo. El transporte de fondo, por el contrario, son materias sólidas que se arrastran a lo largo del fondo. Para el comportamiento de desagüe en canales abiertos, el transporte de fondo es el componente fundamental. Los sedimentos que se depositan ("sedimentación") o transportan (erosión o formación de socavación) pueden, p.ej., modificar la sección transversal del flujo o los perfiles de la superficie del agua. El transporte de sedimentos modifica la estructura del fondo (formación de ripples o dunas, modificación de la rugosidad).

Con una descarga normal, además de la ecuación que ya conocemos, es necesario tener en cuenta el equilibrio de transporte en el volumen de control – ¿se vuelve a alimentar la misma cantidad de sedimentos que deja el volumen de control?

En los canales de ensayo GUNT se demuestra el transporte de sedimentos con arena. Junto al alimentador de sedimentos a la entrada del canal de ensayo se instala una trampa de sedimentos al final del canal de ensayo. Dependiendo de la velocidad de flujo, se pueden producir ripples u observar una duna migratoria. Junto con otros modelos, es posible observar la sedimentación en un vertedero o la formación de socavación en el cuenco de disipación.

En principio, el tema del transporte de sedimentos se estudia en profundidad en distintos bancos de ensayo individuales, p.ej., con HM 140 o HM 168.

Alimentador de sedimentos HM 162.73

Trampa de sedimentos HM 162.72 a la salida de HM 162

Depósitos de sedimentos en espigones

Sedimentaciones en el Rin

Conocimientos básicos

Flujo en canales abiertos

Flujo no estacionario: olas

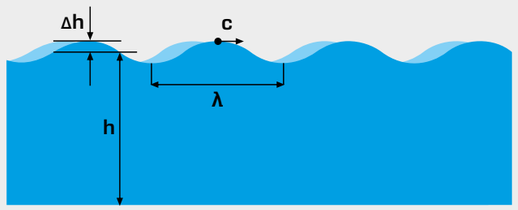
La superficie libre del agua es “deformada” (olas) por el aire. Existe una gran variedad de olas en la naturaleza (longitudes de ondas largas o cortas, que rompen o lisas, etc.). Las olas naturales son irregulares, p. ej., una ola plana sigue a una alta (amplitud). Independientemente de las olas generadas por el viento, hay ondas superficiales debidas a una perturbación, olas positivas y olas negativas y tsunamis, generados por una elevación del agua, p. ej., producido por un terremoto.

Las olas transportan energía pero no masa. Cuando una ola entra en agua poco profunda, p. ej., cerca de la playa, esta es frenada. El seno de la ola se frena con mayor intensidad que la cresta de la ola. Por ello, la cresta de la ola sobrepasa al seno de la ola y las olas rompen.

El estudio de la formación y efecto de las olas desempeña un importante papel en la navegación, la protección costera y el diseño de instalaciones en alta mar (parques eólicos, plataformas de perforación). En la protección costera se trata de reducir la fuerza destructora de las olas y el arrastre de sedimentos.

El generador de olas GUNT produce olas armónicas periódicas en los canales de ensayo GUNT. Se puede observar, p. ej., la reflexión de olas en el extremo del canal. Junto con las distintas simulaciones de playa es posible observar y comparar el comportamiento de las mismas olas en distintos fondos.

La acumulación en los pilares que están, p. ej., colocados en dársenas o que pertenecen a una instalación en alta mar, se puede observar con el accesorio de pilares HM 162.46.



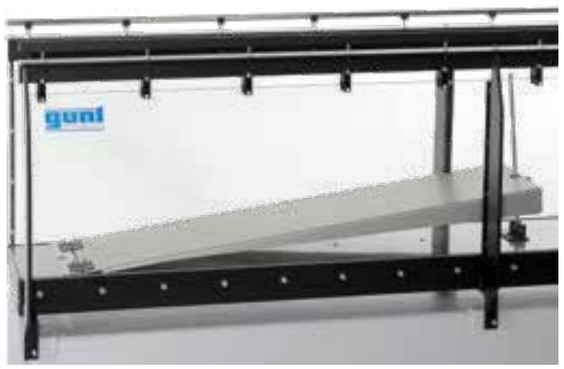
Onda periódica

Δh amplitud, **h** profundidad media,
c velocidad de propagación de la onda, **λ** longitud de onda

Periodo de una ola: $T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{c}$

	Aguas poco profundas	Aguas profundas
Longitud de onda	$\lambda / h > 20$	$\lambda / h < 2$
Velocidad de onda	$c = \sqrt{gh}$	$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$
Senda de partículas	lineal	circular

Generador de olas HM 162.41



Juego de playas HM 162.80 (play lisa, playa permeable y playa rugosa)

Nos tomamos muy en serio la calidad

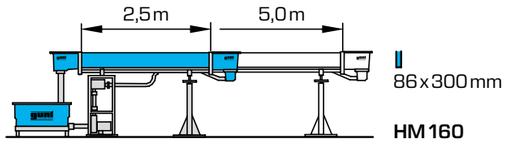
Nuestro sistema de gestión de la calidad está certificado desde 1998.

Visión general de los canales de ensayo GUNT

Los canales de ensayo GUNT con su gran variedad de accesorios ofrecen un amplio espectro de ensayos y demostraciones sobre los temas: canales abiertos, aguas corrientes, ingeniería hidráulica y protección costera. Constituyen la base ampliable para estudios y trabajos de investigación específicos del cliente. Los canales de ensayo GUNT han sido utilizados con éxito desde hace años a nivel internacional.

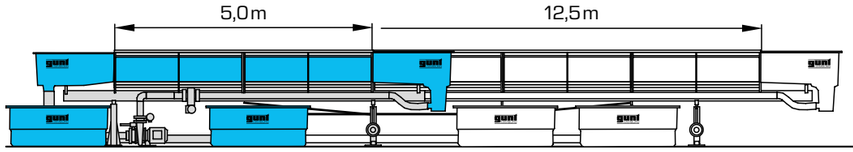
Para cada canal de ensayo existen múltiples modelos para el control de la descarga, como vertederos, umbrales, cuencos de disipación, y también generadores de olas, elementos de playa o pilares de puentes. Además se ofrecen soluciones técnicas para la entrada y salida de sedimentos.

Al mismo tiempo, existen instrumentos de medición especialmente adaptados como indicadores del nivel de agua, tubos de Pitot estático, tubos manométricos y velocímetros.



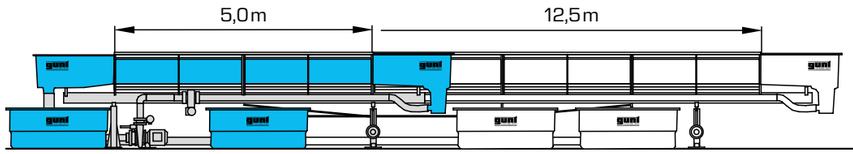
86 x 300 mm

HM 160



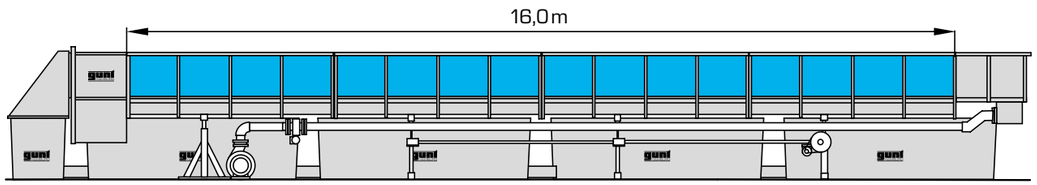
309 x 450 mm

HM 162



409 x 500 mm

HM 163



600 x 800 mm

HM 161

Según la tarea y las circunstancias locales, GUNT ofrece cuatro canales de ensayo con distintas secciones transversales:

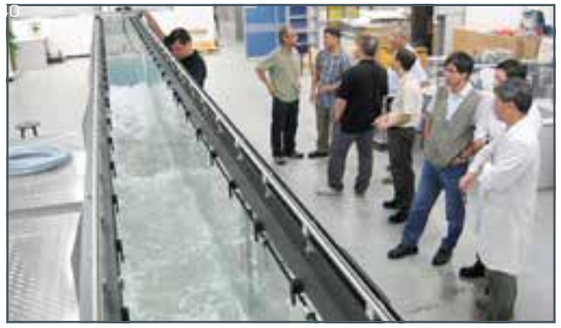
- HM 160 (86 x 300 mm)
- HM 162 (309 x 450 mm)
- HM 163 (409 x 500 mm)
- HM 161 (600 x 800 mm)

Los canales de ensayo tienen diversas longitudes de la sección de ensayo a elegir:

- HM 160
  con secciones de ensayo de 2,5 m o 5 m
- HM 162 et HM 163
  con secciones de ensayo de 5 m, 7,5 m, 10 m o 12,5 m
- HM 161
  con sección de ensayo de 16 m

Por ello, la longitud de la sección de ensayo puede adaptarse a las necesidades y posibilidades del laboratorio.

El HM 160 es ideal para la introducción al tema “Flujo en canales abiertos” y la demostración de muchos fundamentos. Este canal es compacto y necesita poco espacio.

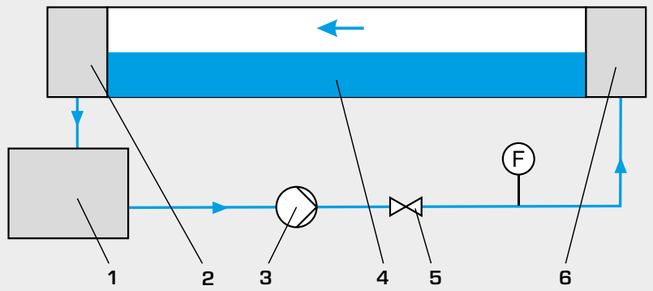


Los canales de ensayo HM 162 y HM 163 pueden suministrarse con cuatro longitudes diferentes. El canal de ensayo “corto” con una sección de ensayo de 5 m se puede montar perfectamente en laboratorios pequeños. Si se aumenta la longitud de la sección de ensayo, la sección de observación arriba y abajo de obstáculos se aumenta.

El canal de ensayo GUNT de mayor tamaño HM 161 ofrece muchas posibilidades para proyectos de investigación propios gracias a sus grandes dimensiones (una sección transversal de 600 x 800 mm y una sección de ensayo de 16 m).

Detalles técnicos de los canales de ensayo GUNT
El circuito de agua cerrado

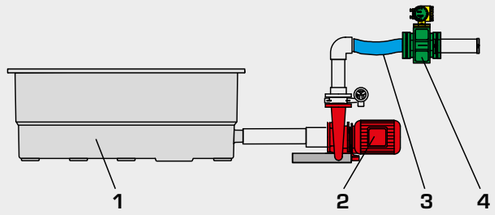
El circuito de agua



1 depósito de agua,
2 elemento de salida,
3 bomba,
4 sección de ensayo,
5 válvula de cierre,
6 elemento de entrada;
F caudalímetro

Todos los canales de ensayo funcionan independientemente del suministro de agua del laboratorio y tienen un circuito de agua cerrado con depósito de agua, bomba y caudalímetro. Como protección contra el llenado excesivo de la sección de ensayo, los conmutadores de nivel apagan la bomba cuando se supera el nivel máximo en el elemento de entrada o de salida.

La bomba



1 depósito de agua, **2** bomba, **3** manguera, **4** caudalímetro

La bomba centrífuga está separada de la sección de ensayo en los canales de ensayo HM 162, HM 163 y HM 161 y montada sobre su propia base. Está conectada a través de una manguera a la tubería del elemento de entrada. De este modo se garantiza que no se produzca ninguna transmisión de vibraciones entre la sección de ensayo y la bomba. En el canal de ensayo pequeño HM 160 se pueden despreciar las vibraciones producidas, y la bomba está integrada en un soporte del canal de ensayo.

Bomba (HM 162) con válvula de cierre con accionamiento manual en el lado de presión para ajustar el caudal (por encima de la bomba). La tubería de presión de la bomba incluye también la manguera y el caudalímetro electromagnético. La válvula de cierre sólo se necesita para ensayos con olas.

Métodos para ajustar el caudal en la entrada de la sección de ensayo

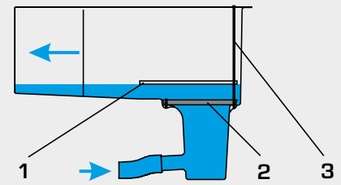
Todos los canales de ensayo permiten ajustar el caudal. El número de revoluciones de la bomba de HM 161, HM 162 y HM 163 se puede ajustar sin escalonamiento mediante un convertidor de frecuencia hasta que se alcanaza el caudal deseado.

El caudal de HM 160 se puede ajustar con una válvula. El caudal se mide en el HM 160 con un rotámetro y en el HM 161, HM 162 y el HM 163 con un caudalímetro electromagnético.

El elemento de entrada

En todos los canales de ensayo, el elemento de entrada está diseñado para un flujo óptimo, de modo que el flujo sea poco turbulento a la entrada de la sección de ensayo.

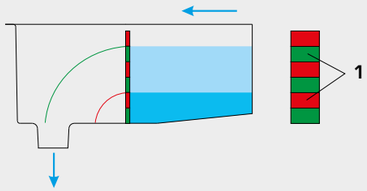
El agua sale desde abajo a través de un rectificador de flujo. Una placa de amortiguación estabiliza el agua. La placa de amortiguación flota en el agua y está fijada a un riel.



1 placa de amortiguación,
2 rectificador de flujo,
3 riel

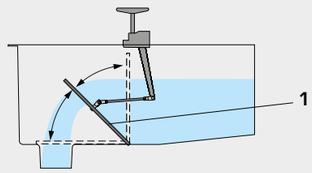
El elemento de salida

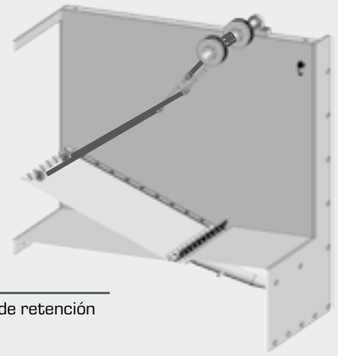
El elemento de salida de todos los canales de ensayo contiene un vertedero de cresta delgada. El vertedero de cresta delgada de HM 160 consta de seis elementos que se pueden retirados para poder elegir entre seis alturas del embalse. Una vez retirados todos los elementos, se trata de una descarga libre sin vertedero. El vertedero de cresta delgada de HM 161, HM 162 y HM 163 está montado para girar sobre un punto fijo y se puede rebajar completamente. De este modo se puede ajustar cada nivel máximo de retención (véanse las imágenes).



Principio del vertedero de cresta delgada con elementos

1 elemento extraíble





Vertedero de cresta delgada **1** en distintas posiciones para ajustar el nivel máximo de retención a la salida de la sección de ensayo.

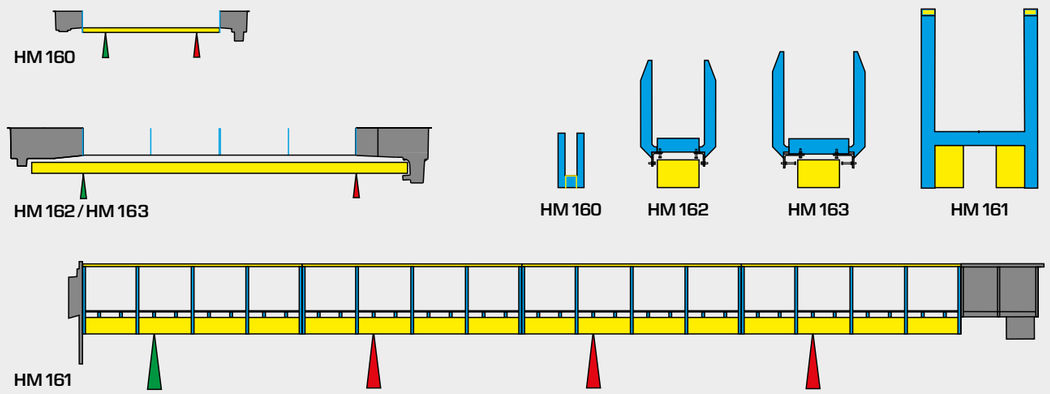
Detalles técnicos de los canales de ensayo GUNT
Características técnicas

Rigidez contra deformaciones

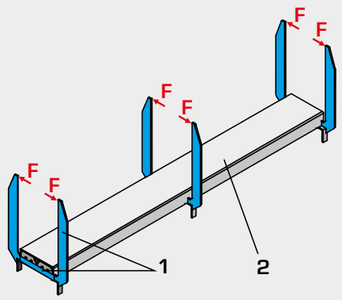
La sección de ensayo de HM 162 y HM 163 está disponible con varias longitudes. Los componentes utilizados son básicamente iguales (principio modular). Para poder crear distintas longitudes con el principio modular y garantizar al mismo tiempo un ajuste de la inclinación, el canal de ensayo es sustentado por un elemento portador con dos soportes. En la versión con la sección de ensayo larga, las deformaciones inevitables son absorbidas por el elemento portador. Gracias al ajuste individual de los elementos, la sección de ensayo puede ajustarse de forma precisa.

Los elementos de la sección de ensayo autoportante en HM 161 se montan sobre cuatro soportes, de modo que solo se produzca una deformación mínima.

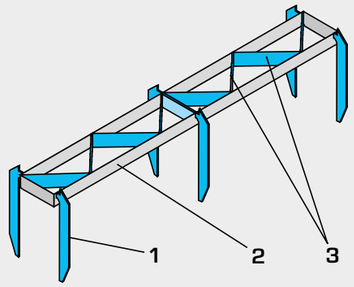
En el HM 160, las cargas producidas son pequeñas en comparación con el HM 162, de modo que la duplicación de la longitud de la sección de ensayo no resulta un problema para la rigidez del canal de ensayo autoportante con dos soportes.



portador (rigidez contra la flexión), bastidor (rigidez contra la presión de agua), soporte fijo,
soporte de elevación (ajuste de la inclinación del canal), sección de ensayo, elemento de entrada y salida



La rigidez de los elementos de la sección de ensayo contra la resión de agua es garantizada por los bastidores soldados. Los bastidores soportan las paredes laterales de vidrio.



Elemento del suelo de un elemento de la sección de ensayo del HM 162 / HM 163, reforzado con nervios en diagonal para aumentar la rigidez contra la flexión y la torsión.

1 bastidores soldados, **2** elemento de suelo de un elemento de la sección de ensayo, **3** nervio en diagonal; **F** fuerza por presión de agua

Ajuste de inclinación

Todos los canales de ensayo son inclinables, de modo que la pendiente es ajustable. La pendiente actual se lee directamente en una escala (HM 160, HM 162, HM 163) o en un indicador digital (HM 161).

El ajuste de la inclinación en el HM 160 se realiza manualmente y en el HM 161 eléctricamente.

En el HM 162 y HM 163, la inclinación puede ajustarse manual o eléctricamente. A partir de una sección de ensayo de 7,5 m se recomienda el ajuste de la inclinación eléctrico HM 162.57 / HM163.57.

Ajuste de la inclinación en el HM 162 y el HM 163:
izquierda ajuste de la inclinación manual,
derecha ajuste de la inclinación eléctrico HM 162.57 / HM 163.57

Ajuste de la inclinación eléctrico en el HM 161

Ajuste de la inclinación manual en el HM 160

Materiales utilizados

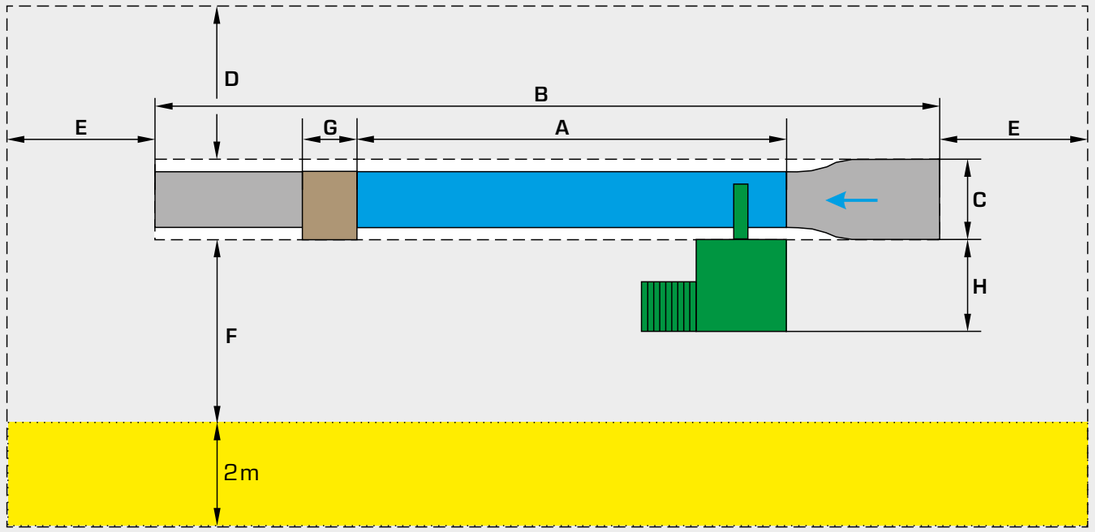
En todos los canales de ensayo, el suelo de la sección de ensayo es de acero inoxidable. Para las paredes laterales de la sección de ensayo se utiliza vidrio templado. Es resistente a los arañazos, no envejece ni se deforma. Los depósitos de agua y los elementos de entrada y de salida están fabricados con PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) o acero fino y las tuberías con PVC. Los modelos instalados en los canales de ensayo están fabricados de aluminio, acero inoxidable, PVC o plexiglás.

Canales de ensayo GUNT
Planificación de laboratorio

En la siguiente tabla encontrará el espacio requerido por todos los canales de ensayo GUNT, incluidos los depósitos de agua.

GUNT se puede encargar de la planificación exacta de su laboratorio para la instalación de los canales de ensayo.

Para la colocación de modelos de mayor tamaño en la sección de ensayo del HM 161 se recomienda utilizar un dispositivo de elevación.



sección de ensayo, trampa de sedimentos (HM 16x.72), alimentador de sedimentos (con plataforma [HM 16x.73])
necesidad de espacio adicional para montaje

	A	B (sin G)	C	C (con G)	D	E	F	G	H	Altura B (sin H)	Altura B (con H)	Altura del techo necesaria
HM 160	2,5 m 5,0 m	4,3 m 6,9 m	0,7 m		1,0 m	1,5 m (>1 m)	2,0 m			1,35 m	1,80 m	2,3 m
HM 162 / HM 163	5,0 m 7,5 m 10,0 m 12,5 m	9,2 m 11,7 m 13,6 m 16,0 m	1,0 m 1,0 m 2,2 m 2,2 m	2,2 m 2,2 m 2,2 m 2,2 m	1,0 m	1,5 m (>1 m)	2,5 m	1,0 m	1,7 m	2,20 m	2,90 m	con alimentador de sedimentos: mín. 4,5 m
HM 161	16,0 m	22,0 m	4,0 m	4,0 m	2,0 m	1,5 m (>1 m)	1,0 m	1,0 m	incl. en C	2,70 m	3,70 m	con alimentador de sedimentos: mín. 5 m

Condiciones de instalación

Aquí puede encontrar algunas recomendaciones para la planificación de un laboratorio, en el que debe instalarse un canal de ensayo:

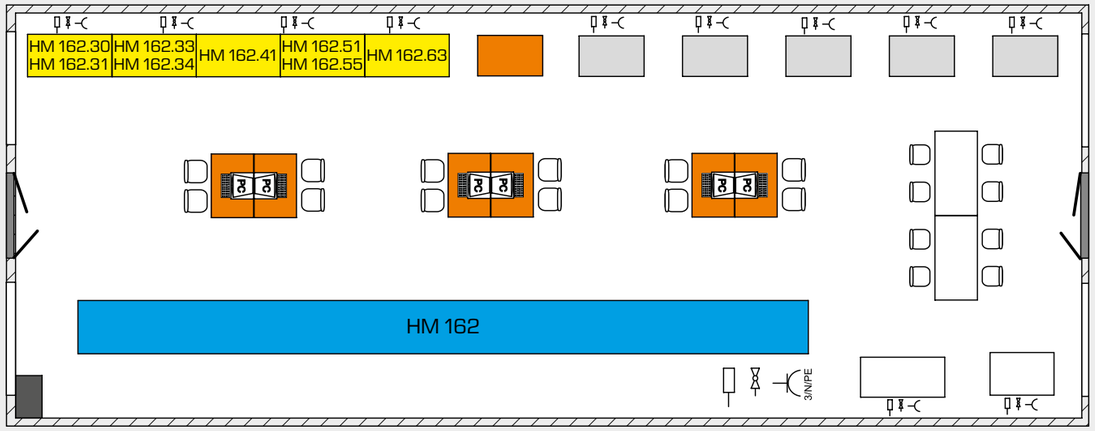
- el laboratorio debería estar en una planta baja
- el suelo debe poseer una capacidad de carga suficiente
- el suelo y el área del zócalo de las paredes debe ser a prueba de agua
- los caminos para el transporte hasta y dentro del laboratorio deben ser amplios
- el suministro de agua y los desagües deben tener dimensiones para grandes cantidades de agua
- los dos canales de ensayo grandes HM 162, HM 163 y HM 161 requieren corriente trifásica.

Un ejemplo de una planificación de laboratorio

En el plano inferior puede observar la planificación de un laboratorio con el canal de ensayo HM 162 (sección de ensayo de 10 m de longitud), otros equipos GUNT para mecánica de fluidos y estaciones de trabajo para los estudiantes.

En este caso, los modelos para el HM 162 se han colocado en mesas.

Un pequeño armario en la esquina contiene herramientas y puede servir para guardar manuales de instrucciones.



Dimensiones del laboratorio, L x An x Al: 20,00 x 7,60 x 4,00 m

desagüe
suministro de agua
suministro de corriente 230 V, 50 Hz, 1 fase
3/N/PE suministro de corriente 400 V, 50 Hz, 3 fases

HM 162 con sección de ensayo de 10 m, 13,60 x 1,00 m
mesa para colocación de modelos para el HM 162, 160 x 80 cm
mesa, 120 x 80 cm
módulo básico HM 150, 120 x 76 cm, con distintos módulos
armario

Montaje de canales de ensayo GUNT, utilizando como ejemplo el HM 162

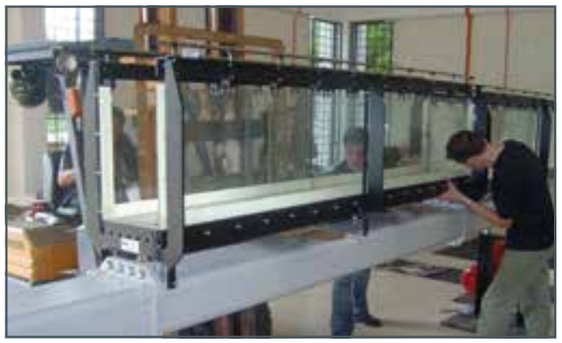
Elemento de entrada, elemento de salida y soportes de canal

Elementos de la sección de ensayo

Depósito de agua y tubería

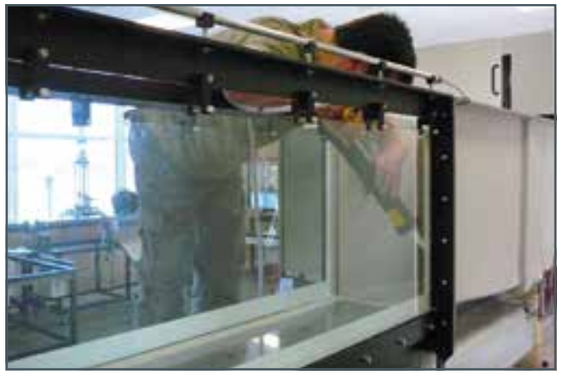
El elemento portador (izquierda inferior) se compone de elementos individuales (izquierda) y se orienta y se monta sobre los soportes del canal con ayuda de una carretilla de horquilla elevadora (derecha). Los soportes del canal están atornillados al suelo (centro).

Soporte de elevación para ajuste de la inclinación



El elemento de la sección de ensayo es colocado sobre el elemento portador con una carretilla de horquilla elevadora, orientado y montado.

El elemento de entrada se eleva al elemento portador, se orienta y se conecta a la sección de ensayo.



Después se sella el canal de ensayo.

Últimos trabajos en la instalación eléctrica (izquierda). Después se orienta el depósito de agua y se conecta con el sistema de tuberías (derecha).

Una vez finalizado el montaje, se realiza la puesta en funcionamiento. La foto muestra el funcionamiento de un vertedero de cresta ancha.

Los canales de ensayo GUNT son montados in situ y puestos en funcionamiento por empleados expertos. De este modo, usted se puede concentrar plenamente en sus ensayos desde el principio.

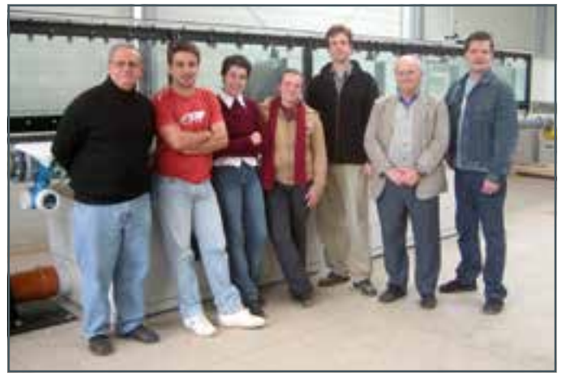
Este canal de ensayo totalmente montado está instalado en la Universiti Teknologi PETRONAS (UTP) en Ipoh, Malasia.

Canales de ensayo GUNT utilizados en todo el mundo

Aquí puede encontrar una selección de clientes que han recibido un canal de ensayo GUNT. En cada uno de los países citados hay por lo menos un canal de ensayo, a menudo hay otros canales de ensayo GUNT en otras escuelas superiores y universidades del país.

Clientes satisfechos...

...en Malasia con el HM 162



...en España con el HM 162

...en España con el HM 160

...en Bangladés con el HM 161

...en Indonesia con el HM 162

África

École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH; HM 162), Argelia

Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC; HM 163), Angola

TU Berlin Campus El Gouna (HM 162), Egipto

University of Asmara (HM 160), Eritrea

Haramaya University (HM 162), Etiopía

École Nationale d'Ingénieurs (HM 160), Mali

Rivers State University of Science and Technology (HM 160), Nigeria

América

Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA; HM 160), Brasil

Concordia University (HM 162), Canadá

Universidad Central de Chile (HM 162), Chile

UCR Universidad de Costa Rica (HM 162), Costa Rica

Escuela Superior Politecnica del Litoral (ESPOL; HM 162), Ecuador

Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10 de Torreón (008.161BL), Mexico

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (HM 162), Perú

Burlington County College (HM 160), EE.UU

Universidad Católica Andres Bello (UCAB) (HM 160), Venezuela

Asia

Herat University (HM 162), Afganistán

Military Institute of Science & Technology (MIST; HM 161), Bangladés

Institute Technology Brunei (ITB; HM 162), Brunei

City University of Hong Kong (HM 162), China

Indian Institute of Technology of Roorkee (ITT) (HM 162), India

Universitas Bandar Lampung (HM 162), Indonesia

Qom University (HM 162), Irán

University of Technology (HM 160), Irak

University Teknologi PETRONAS (HM 162), Malasia

Far Eastern University (HM 160), Filipinas

Taif University (HM 162), Arabia Saudí

Institute of Technology University of Moratuwa (ITUM; HM 160), Sri Lanka

Burapha University, Faculty of Engineering (HM 161), Tailandia

American University of Sharjah (HM160), Emiratos Árabes Unidos

Flinders University (HM 160), Australia

Europa

University of Cyprus (HM 162), Chipre

Aalto University (HM 161), Finlandia

Centre de Formation Hydraulique d'EDF (HM 163), Francia

Bundesanstalt für Wasserbau (HM 163), Alemania

Rezekne Higher Education Institution (HM 160), Letonia

Warsaw Agricultural University (HM 162), Polonia

Politécnico de Viseu (HM 162), Portugal

Moscow State Construction University (MGSU; HM 162), Rusia

Slovak University of Technology (STU; HM 163), Eslovaquia

Universidad de la Laguna (ULL; HM 162), España

Okan University (HM 160), Turquía

University of Southampton (HM 161), Gran Bretaña

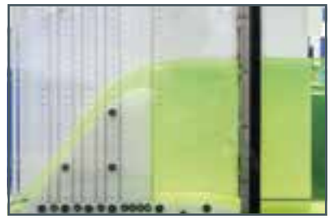
...y muchos más

HM 160 Canal de ensayo 86 x 300 mm

El HM160 es el canal de ensayo más pequeño del programa GUNT, que se utiliza para demostrar de forma excelente todos los fenómenos del flujo en canales abiertos. Gracias a sus dimensiones compactas y al circuito de agua cerrado, el HM160 se puede colocar y utilizar fácilmente en las clases.

Junto con la amplia selección de accesorios adicionales, pueden demostrarse y estudiarse muchos temas del flujo en canales abiertos. Entre ellos se encuentran: estructuras de control, medición de descarga, pérdidas a través de modificaciones de la sección transversal, olas y transporte de sedimentos. Otros accesorios permiten la medición de la profundidad de la descarga y el caudal volumétrico.

El canal de ensayo HM160 está disponible con dos secciones de ensayo de longitudes diferentes: 2,5m o 5m con un elemento de prolongación adicional HM160.10 – véase el dibujo.

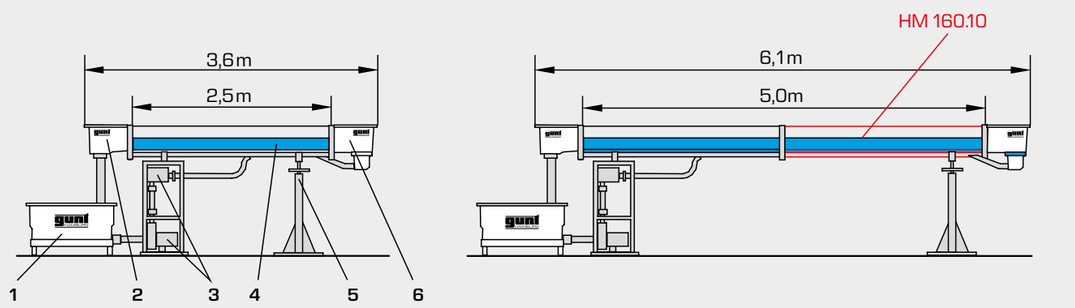


Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión HM160.34

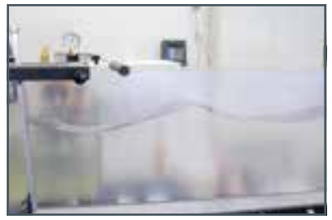
Presa-vertedero de perfil Ogee M160.32 y elementos para la disipación de energía HM160.35

Vertedero de sifón HM160.36

Canal de Venturi HM160.51

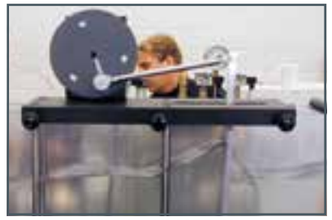


1 depósito de agua, **2** elemento de salida, **3** bomba con caja de distribución, **4** sección de ensayo, **5** soporte de elevación incl. ajuste de la inclinación del canal, **6** elemento de entrada



Olas en el canal de ensayo

Alimentador de sedimentos HM160.73



Generador de olas HM160.41

Playa lisa HM160.42

Modelos disponibles como accesorios

Estructuras de control	**HM160.29** Compuerta plana deslizante
	HM160.40 Compuerta de segmento
	HM160.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos
	HM160.31 Vertedero de cresta ancha
	HM160.33 Vertedero Crump
	HM160.34 Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión
	HM160.36 Vertedero de sifón
	HM160.32 Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas (ampliable con **HM160.35** Elementos para la disipación de energía)
Medición de la descarga	**HM160.51** Canal de Venturi
Modificación de la sección transversal	**HM160.77** Base del canal con grava
	HM160.44 Umbral
	HM160.45 Obra de paso
	HM160.46 Juego de pilares, siete perfiles
Otros	**HM160.41** Generador de olas
	HM160.42 Playa lisa
	HM160.72 Trampa de sedimentos
	HM160.73 Alimentador de sedimentos
	HM160.61 Pilotes vibratorios

Instrumentos de medición disponibles como accesorios

HM160.52 Indicador del nivel de agua / **HM160.91** Indicador del nivel de agua digital

HM160.53 Diez tubos manométricos

HM160.50 Tubo de Pitot estático

HM160.64 Velocímetro

Formación en Argelia

Formación en Malasia

HM 160
Canal de ensayo 86x300mm

La ilustración muestra el HM 160 con el presa-vertedero de perfil ogee HM 160.32 y el indicador del nivel de agua HM 160.52.

Descripción

- **fundamentos del flujo en canales abiertos**
- **sección de ensayo con paredes laterales transparentes, longitudes de 2,5m y 5m disponibles**
- **flujo uniforme a través de elemento de entrada bien diseñado**
- **modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios**

La ingeniería hidráulica se encarga, entre otras cosas, de rutas de navegación artificiales, la regulación de ríos y embalses. Con ayuda de los canales de ensayo en el laboratorio se enseñan los fundamentos necesarios.

El canal de ensayo HM 160 tiene un circuito de agua cerrado. La sección transversal de la sección de ensayo es de 86x300mm. La sección de ensayo tiene una longitud de 2,5m o 5m con un elemento de prolongación adicional HM 160.10. Las paredes laterales de la sección de ensayo están hechas de vidrio templado, permitiendo una observación óptima de los ensayos. Todos los componentes que entran en contacto con el agua están hechos de materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable, plástico reforzado por fibras de vidrio). El elemento de entrada está diseñado de modo que el flujo entre en la sección de ensayo con escasas turbulencias.

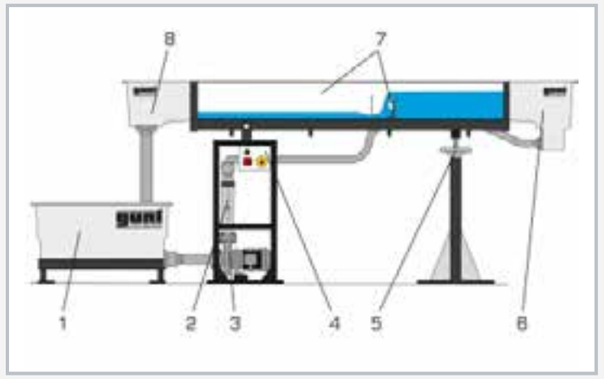
Para simular una pendiente de fondo y ajustar un flujo uniforme con una profundidad de descarga constante, la inclinación del canal de ensayo se puede ajustar sin escalonamiento.

Hay una amplia selección de modelos disponibles como accesorios, p.ej., vertederos, pilares, canales para aforar o un generador de olas, y permiten realizar un completo programa de ensayos. La mayoría de los modelos se enroscan de forma rápida y segura a la base de la sección de ensayo.

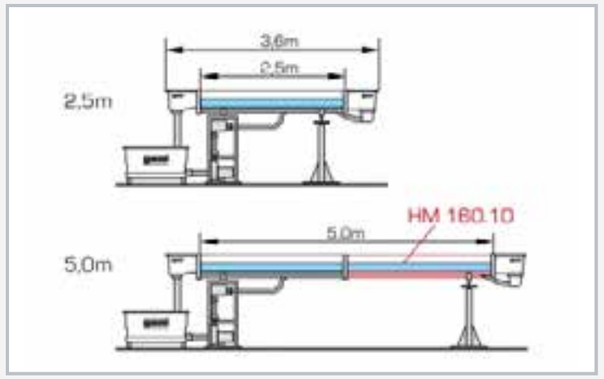
Contenido didáctico/ensayos

- con modelos disponibles como accesorios
  - descarga uniforme y variada
  - fórmulas de flujo
  - transición de flujo (resalto hidráulico)
  - disipación de energía (resalto hidráulico, cuenco amortiguador)
  - flujo sobre estructura de control: vertederos (de cresta delgada, de cresta ancha, de perfil Ogee), descarga bajo compuertas
  - canal para aforar
  - pérdidas locales por obstáculos
  - flujo no estacionario: olas
  - pilotes vibratorios
  - transporte de sedimentos

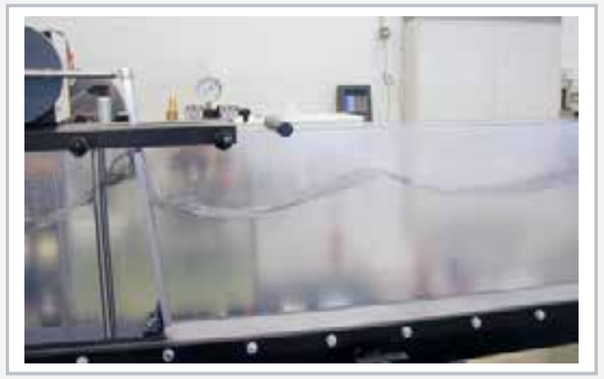
HM 160
Canal de ensayo 86x300mm



1 depósito de agua, 2 caudalímetro, 3 bomba, 4 caja de distribución, 5 ajuste de la inclinación, 6 elemento de entrada, 7 sección de ensayo con vertedero de cresta delgada HM 160.30, 8 elemento de salida



HM 160 con las dos secciones de ensayo de longitudes diferentes (2,5m o 5m). En la versión de 5m se necesita un elemento de prolongación HM 160.10.



El generador de olas HM 160.41 produce olas en el canal de ensayo.

Especificación

[1] fundamentos del flujo en canales abiertos
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada y de salida y circuito de agua cerrado
[3] longitud de la sección de ensayo: 2,5m o 5m (con elemento de prolongación HM 160.10)
[4] sección de ensayo inclinable sin escalonamiento
[5] sección de ensayo con 10 orificios roscados distribuidos uniformemente en la base para instalar modelos o para la medición del nivel de agua por presión
[6] paredes laterales de la sección de ensayo de vidrio templado para una observación óptima de los ensayos
[7] todas las superficies en contacto con el agua de materiales resistentes a la corrosión
[8] elemento de entrada optimizado para el flujo para una entrada con escasas turbulencias en la sección de ensayo
[9] circuito de agua cerrado con depósito de agua, bomba, rotámetro y ajuste manual de caudal
[10] modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud: 2,5m o 5m (con 1x HM 160.10)
- sección transversal de flujo AnxAl: 86x300mm
- ajuste de la inclinación: -0,5...+3%

Depósito: 280L

Bomba
- consumo de potencia: 1,02kW
- caudal máx.: 22,5m³/h
- altura de elevación máx.: 13,7m

Rangos de medición
- caudal: 0...10m³/h

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 4300x660x1350mm (sección de ensayo 2,5m)
Peso: aprox. 244kg

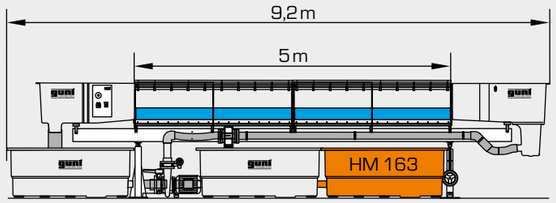
Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 material didáctico

HM 162 / HM 163
Canal de ensayo 309 x 450 mm / 409 x 500 mm

HM 162 y HM 163 – utilizado en todo el mundo por clientes satisfechos

La longitud de la sección de ensayo es de 5 m y, con elementos centrales adicionales HM 16x.10, de 12,5 m como máximo. El circuito de agua cerrado contiene dos depósitos de agua y una bomba potente. Dependiendo de la longitud deseada se necesitan también depósitos de agua adicionales HM 16x.20 (véanse los dibujos).



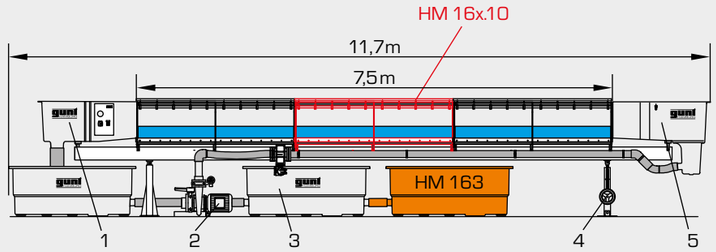
Canal de ensayo, longitud de la sección de ensayo 5 m

HM 162 / HM 163

HM 162 con una sección de ensayo 5 m

Junto con la amplia selección de accesorios adicionales, pueden demostrarse y estudiarse muchos temas del flujo en canales abiertos. Entre ellos se encuentran: estructuras de control, medición de descarga, pérdidas a través de modificaciones de la sección transversal, olas y transporte de sedimentos.

1 elemento de salida con armario de distribución,
2 bomba,
3 depósito de agua,
4 soporte de elevación incl. ajuste de la inclinación del canal,
5 elemento de entrada

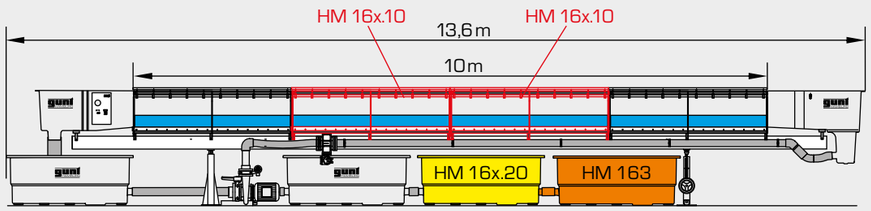


Canal de ensayo, longitud de la sección de ensayo 7,5 m

HM 162 + 1x HM 162.10

HM 163 + 1x HM 163.10

HM 163 con una sección de ensayo 7,5 m

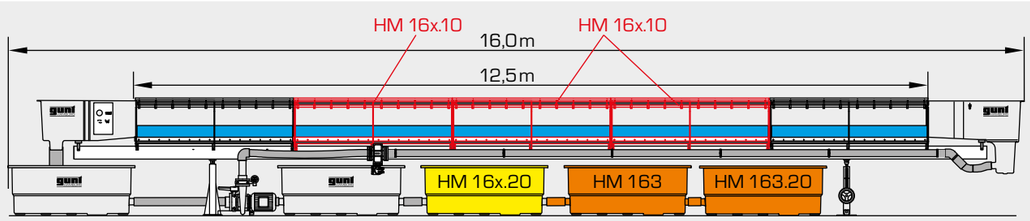


Canal de ensayo, longitud de la sección de ensayo 10 m

HM 162 + 2x HM 162.10 + 1x HM 162.20

HM 163 + 2x HM 163.10 + 1x HM 163.20

HM 162 con una sección de ensayo 10 m



Canal de ensayo, longitud de la sección de ensayo 12,5 m

HM 162 + 3x HM 162.10 + 1x HM 162.20

HM 163 + 3x HM 163.10 + 2x HM 163.20

HM 163 con una sección de ensayo 12,5 m

HM 162
Canal de ensayo 309x450mm

La ilustración muestra el HM 162 (sección de ensayo 7,5m) con el generador de olas HM 162.41 y el indicador del nivel de agua HM 162.52.

Descripción

- **ensayos de fundamentos y proyectos de investigación**
- **sección de ensayo con paredes laterales transparentes, longitudes entre 5m y 12,5m disponibles**
- **flujo uniforme a través de elemento de entrada bien diseñado**
- **modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios**

La ingeniería hidráulica desempeña un importante papel en la técnica. ¿Cómo se logra la profundidad necesaria de los ríos para que naveguen los barcos? ¿Cómo cambian los flujos en canales abiertos con inundaciones? ¿Hasta dónde tienen efecto río arriba las medidas como las estructuras de control? ¿Cómo puede calcularse la descarga en los embalses? Con ayuda de canales de ensayo en el laboratorio se enseñan los conocimientos fundamentales necesarios para entender las respuestas a estas preguntas y desarrollar soluciones posibles.

El canal de ensayo HM 162 con circuito de agua cerrado tiene una sección transversal de 309x450mm. La longitud de la sección de ensayo es de 5m y, con elementos de prolongación adicionales HM 162.10, de 12,5m como máximo.

Las paredes laterales de la sección de ensayo están hechas de vidrio templado, permitiendo una observación óptima de los ensayos. Todos los componentes que entran en contacto con el agua están hechos de materiales resistentes a la corrosión (acero fino, plástico reforzado por fibras de vidrio). El elemento de entrada está diseñado de modo que el flujo entre en la sección de ensayo con escasas turbulencias.

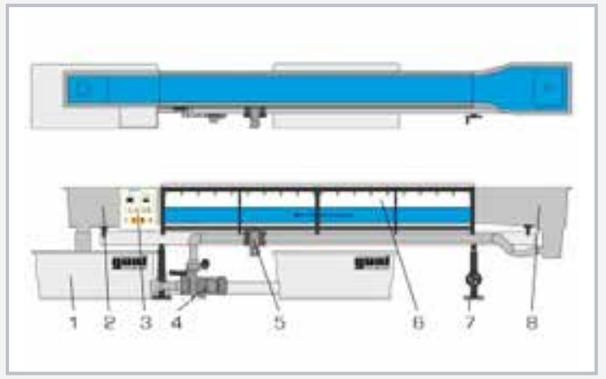
Para simular una pendiente de fondo y ajustar un flujo uniforme con una profundidad de descarga constante, la inclinación del canal de ensayo se puede ajustar sin escalonamiento.

Hay una amplia selección de modelos disponibles como accesorios, p.ej., vertederos, pilares, canales para aforar o un generador de olas, y permiten realizar un completo programa de ensayos. La mayoría de los modelos se enroscan de forma rápida y segura a la base de la sección de ensayo.

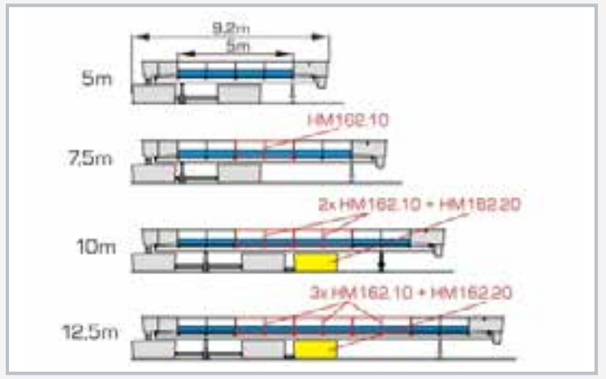
Contenido didáctico/ensayos

- con modelos disponibles como accesorios
  - descarga uniforme y variada
  - fórmulas de flujo
  - transición de flujo (resalto hidráulico)
  - disipación de energía (resalto hidráulico, cuenco amortiguador)
  - flujo sobre estructura de control: vertederos (de cresta delgada, de cresta ancha, de perfil Ogee)
  - flujo sobre estructura de control: descarga bajo compuertas
  - canal para aforar
  - pérdidas locales por obstáculos
  - flujo no estacionario: olas
  - pilotes vibratorios
  - transporte de sedimentos

HM 162
Canal de ensayo 309x450mm



1 depósito de agua, 2 elemento de salida, 3 caja de distribución, 4 bomba, 5 sensor de caudal, 6 sección de ensayo, 7 ajuste de la inclinación, 8 elemento de entrada



HM 162 con secciones de ensayo de longitudes diferentes (5...12,5m). Dependiendo de la longitud deseada se necesitan también elementos de prolongación adicionales del canal de ensayo HM 162.10 y depósitos de agua HM 162.20.

Desbordamiento en presa-vertedero de perfil Ogee con salto de esquí HM 162.32.

Especificación

[1] fundamentos del flujo en canales abiertos
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada y de salida y circuito de agua cerrado
[3] longitud de la sección de ensayo de 5m y, con elementos de prolongación adicionales HM 162.10, se puede prolongar a máximo 12,5m
[4] sección de ensayo inclinable sin escalonamiento
[5] sección de ensayo con 20 orificios roscados distribuidos uniformemente en la base para instalar modelos o para la medición del nivel de agua por presión
[6] paredes laterales de la sección de ensayo de vidrio templado para una observación óptima de los ensayos
[7] sección de ensayo con rieles de guía para portainstrumentos HM 162.59 disponible opcionalmente
[8] todas las superficies en contacto con el agua de materiales resistentes a la corrosión
[9] elemento de entrada optimizado para el flujo para una entrada con escasas turbulencias en la sección de ensayo
[10] circuito de agua cerrado con 2 depósitos de agua, bomba, sensor de caudal electromagnético y regulación de caudal
[11] modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud posible: 5m-7,5m-10m-12,5m
- sección transversal de flujo AnxAl: 309x450mm
- ajuste de la inclinación: -0,5...+2,5%

2 depósitos
- de PRFV
- cada uno 1100L

Bomba
- consumo de potencia: 4kW
- caudal máx.: 132m^3/h
- altura de elevación máx.: 16,1m
- número de revoluciones: 1450min^{-1}

Rangos de medición
- caudal: 5,4...130m^3/h

400V, 50Hz, 3 fases
400V, 60Hz, 3 fases
230V, 60Hz, 3 fases
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 9170x1000x2200mm (sección de ensayo 5m)
Peso sin carga: aprox. 1500kg

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 juego de herramientas
1 material didáctico

HM 163
Canal de ensayo 409x500mm

La ilustración muestra el HM 163 (sección de ensayo 7,5m) con el generador de olas HM 163.41 y el indicador del nivel de agua HM 163.52.

Descripción

- **ensayos de fundamentos y proyectos de investigación**
- **sección de ensayo con paredes laterales transparentes, longitudes entre 5m y 12,5m disponibles**
- **flujo uniforme a través de elemento de entrada bien diseñado**
- **modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios**

La ingeniería hidráulica desempeña un importante papel en la técnica. ¿Cómo se logra la profundidad necesaria de los ríos para que naveguen los barcos? ¿Cómo cambian los flujos en canales abiertos con inundaciones? ¿Hasta dónde tienen efecto río arriba las medidas como las estructuras de control? ¿Cómo puede calcularse la descarga en los embalses? Con ayuda de canales de ensayo en el laboratorio se enseñan los conocimientos fundamentales necesarios para entender las respuestas a estas preguntas y desarrollar soluciones posibles.

El canal de ensayo HM 163 con circuito de agua cerrado tiene una sección transversal de 409x500mm.

La longitud de la sección de ensayo es de 5m y, con elementos de prolongación adicionales HM 163.10, de 12,5m como máximo. Las paredes laterales de la sección de ensayo están hechas de vidrio templado, permitiendo una observación óptima de los ensayos. Todos los componentes que entran en contacto con el agua están hechos de materiales resistentes a la corrosión (acero fino, plástico reforzado por fibras de vidrio). El elemento de entrada está diseñado de modo que el flujo entre en la sección de ensayo con escasas turbulencias.

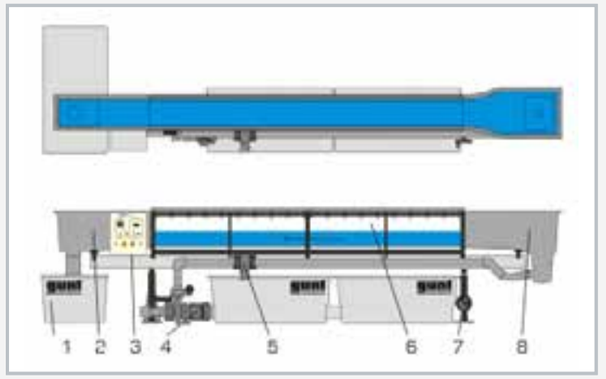
Para simular una pendiente de fondo y ajustar un flujo uniforme con una profundidad de descarga constante, la inclinación del canal de ensayo se puede ajustar sin escalonamiento.

Hay una amplia selección de modelos disponibles como accesorios, p.ej., vertederos, pilares, canales para aforar o un generador de olas, y permiten realizar un completo programa de ensayos. La mayoría de los modelos se enroscan de forma rápida y segura a la base de la sección de ensayo.

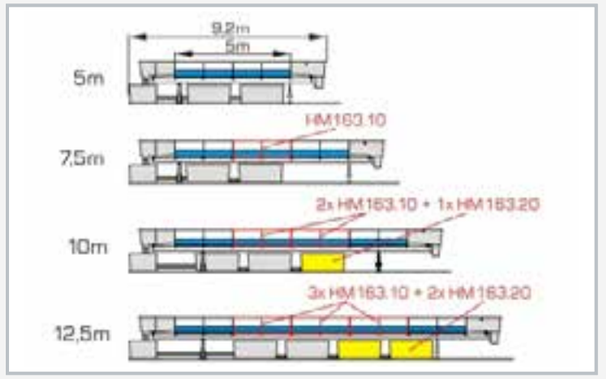
Contenido didáctico/ensayos

- con modelos disponibles como accesorios
  - descarga uniforme y variada
  - fórmulas de flujo
  - transición de flujo (resalto hidráulico)
  - disipación de energía (resalto hidráulico, cuenco amortiguador)
  - flujo sobre estructura de control: vertederos (de cresta delgada, de cresta ancha, de perfil Ogee)
  - flujo sobre estructura de control: descarga bajo compuertas
  - canal para aforar
  - pérdidas locales por obstáculos
  - flujo no estacionario: olas
  - pilotes vibratorios
  - transporte de sedimentos

HM 163
Canal de ensayo 409x500mm



1 depósito de agua, 2 elemento de salida, 3 caja de distribución, 4 bomba, 5 sensor de caudal, 6 sección de ensayo, 7 ajuste de la inclinación, 8 elemento de entrada



HM 163 con secciones de ensayo de longitudes diferentes (5...12,5m). Dependiendo de la longitud deseada se necesitan también elementos de prolongación adicionales del canal de ensayo HM 163.10 y depósitos de agua HM 163.20.

Desbordamiento en presa-vertedero de perfil Ogee con salto de esquí HM 163.32.

Especificación

[1] fundamentos del flujo en canales abiertos
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada y de salida y circuito de agua cerrado
[3] longitud de la sección de ensayo de 5m y, con elementos de prolongación adicionales HM 163.10, se puede prolongar a máximo 12,5m
[4] sección de ensayo inclinable sin escalonamiento
[5] sección de ensayo con 20 orificios roscados distribuidos uniformemente en la base para instalar modelos o para la medición del nivel de agua por presión
[6] paredes laterales de la sección de ensayo de vidrio templado para una observación óptima de los ensayos
[7] sección de ensayo con rieles de guía para portainstrumentos HM 163.59 disponible opcionalmente
[8] todas las superficies en contacto con el agua de materiales resistentes a la corrosión
[9] elemento de entrada optimizado para el flujo para una entrada con escasas turbulencias en la sección de ensayo
[10] circuito de agua cerrado con 3 depósitos de agua, bomba, sensor de caudal electromagnético y regulación de caudal
[11] modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud posible: 5m-7,5m-10m-12,5m
- sección transversal de flujo AnxAl: 409x500mm
- ajuste de la inclinación: -0,5...+2,5%

3 depósitos
- de PRFV
- cada uno 1100L

Bomba
- consumo de potencia: 7,5kW
- caudal máx.: 130m^3/h
- altura de elevación máx.: 30m
- número de revoluciones: 2800min^{-1}

Rangos de medición
- caudal: 5,4...130m^3/h

400V, 50Hz, 3 fases
400V, 60Hz, 3 fases
230V, 60Hz, 3 fases
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 8570x2000x2200mm (sección de ensayo 5m)
Peso sin carga: aprox. 1700kg

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 juego de herramientas
1 material didáctico

HM 163
Canal de ensayo 409x500mm

Accesorios opcionales

Estructuras de control		
070.16329	HM 163.29	Compuerta plana deslizante
070.16340	HM 163.40	Compuerta de segmento
070.16330	HM 163.30	Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos
070.16331	HM 163.31	Vertedero de cresta ancha
070.16333	HM 163.33	Vertedero crump
070.16336	HM 163.36	Vertedero de sifón
070.16338	HM 163.38	Rejilla
070.16334	HM 163.34	Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión
070.16332	HM 163.32	Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas
070.16335	HM 163.35	Elementos para la disipación de energía
Modificación de la sección transversal		
070.16344	HM 163.44	Umbral
070.16345	HM 163.45	Obra de paso
070.16346	HM 163.46	Juego de pilares, siete perfiles
070.16377	HM 163.77	Base del canal con grava
Canal para aforar		
070.16351	HM 163.51	Canal de Venturi
070.16355	HM 163.55	Canal Parshall
070.16363	HM 163.63	Canal trapezoidal
Otros ensayos		
070.16361	HM 163.61	Pilotes vibratorios
070.16371	HM 163.71	Circuito cerrado de sedimentos
070.16372	HM 163.72	Trampa de sedimentos
070.16373	HM 163.73	Alimentador de sedimentos
070.16341	HM 163.41	Generador de olas
070.16380	HM 163.80	Juego de playas
Instrumentos de medición		
070.16352	HM 163.52	Indicador del nivel de agua
070.16391	HM 163.91	Indicador del nivel de agua digital
070.16364	HM 163.64	Velocímetro
070.16350	HM 163.50	Tubo de pitot estático
070.16353	HM 163.53	Diez tubos manométricos
070.16213	HM 162.13	Medición de presión electrónica, 10x 0...50mbar
070.16359	HM 163.59	Portainstrumentos
Otros accesorios		
070.16212	HM 162.12	Sistema para la adquisición de datos y la automatización
070.16357	HM 163.57	Ajuste de la inclinación eléctrico
070.16310	HM 163.10	Elemento de prolongación del canal de ensayo
070.16320	HM 163.20	Depósito de agua
070.16314	HM 163.14	Galería
070.16315	HM 163.15	Elemento de prolongación de la galería

Instalación y puesta en marcha

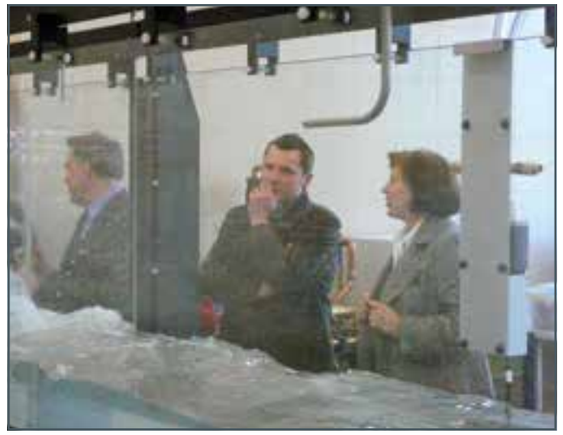
Todo sin dificultad alguna gracias al personal profesional de GUNT

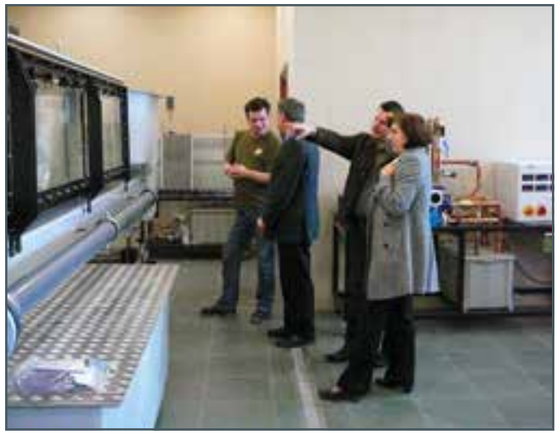
Deje que personal experto se encargue de la puesta en marcha de su nuevo equipo. Nuestros colaboradores altamente cualificados le asesorarán con mucho gusto.

La puesta en marcha de los equipos abarca las siguientes prestaciones:

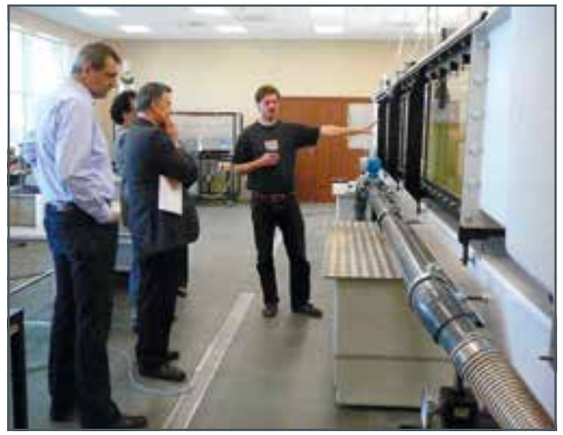
- **montaje de los equipos en el laboratorio**
- **conexión a los sistemas de alimentación del laboratorio**
- **puesta en marcha de los equipos**
- **ensayos de puesta en marcha de los equipos**

Canal de ensayo HM 162/HM 163
Impresiones

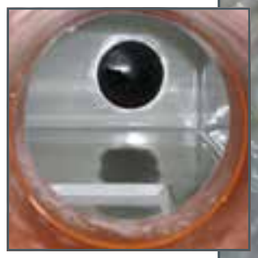




Demostración en instalaciones del cliente



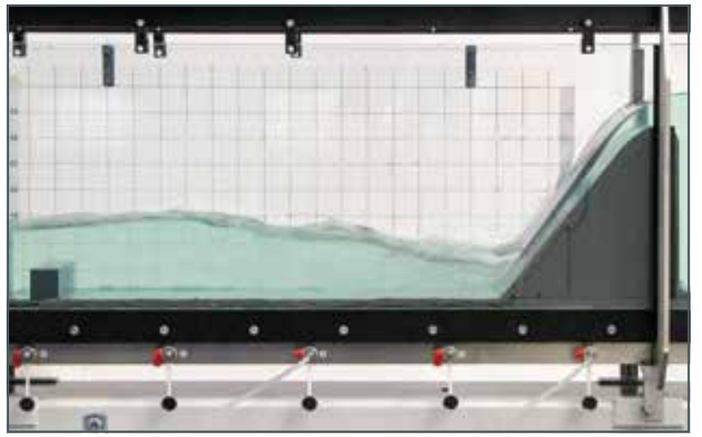
Manejo de la compuerta plana deslizante



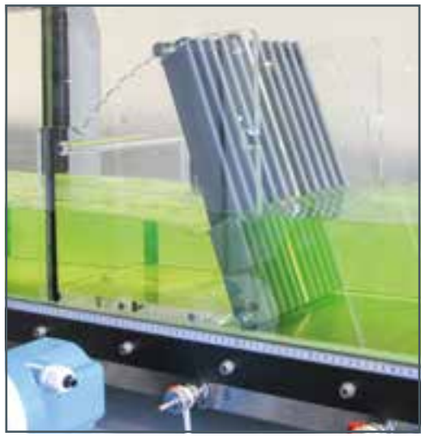
Vista del depósito de agua

Vertedero de sifón en “acción”

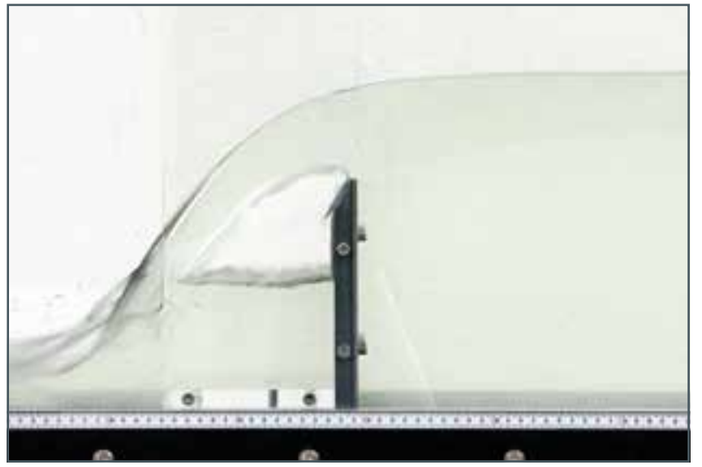
Obra de paso



Presa-vertedero de perfil Ogee con umbral



Rejilla



Vertedero de cresta delgada aireada (vista lateral)

Compuerta de segmento

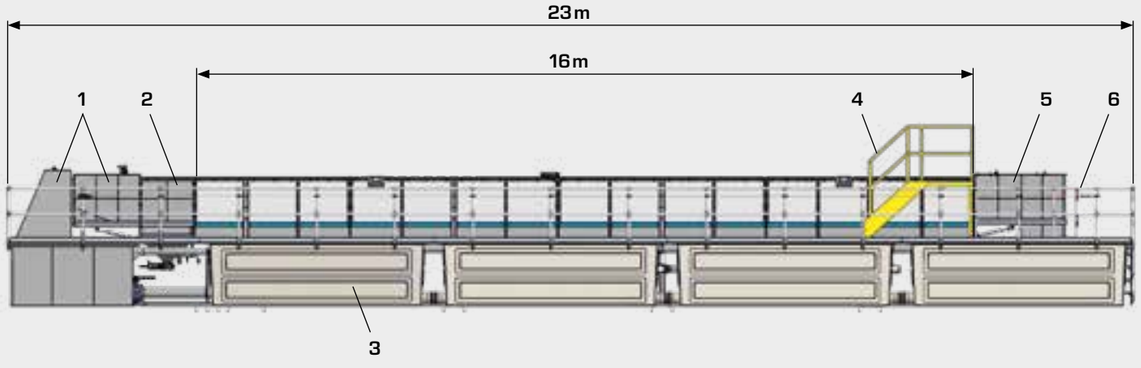
HM 161 Canal de ensayo 600 x 800 mm

El HM 161 es el canal de ensayo de mayor tamaño del programa de GUNT con una sección de ensayo de 16 m y una sección transversal de 600 x 800 mm. Gracias a sus grandes dimensiones, el canal HM 161 es apropiado para proyectos de investigación propios. Los resultados de los ensayos se aproximan a la realidad. Las fuerzas del agua producidas en este canal de ensayo son impresionantes.

Junto con la amplia selección de accesorios, pueden demostrarse y estudiarse muchos temas del flujo en canales abiertos. Entre ellos se encuentran: estructuras de control, medición de descarga, pérdidas a través de modificaciones de la sección transversal, olas y transporte de sedimentos. Otros accesorios permiten la medición de la profundidad de la descarga y la velocidad de flujo.

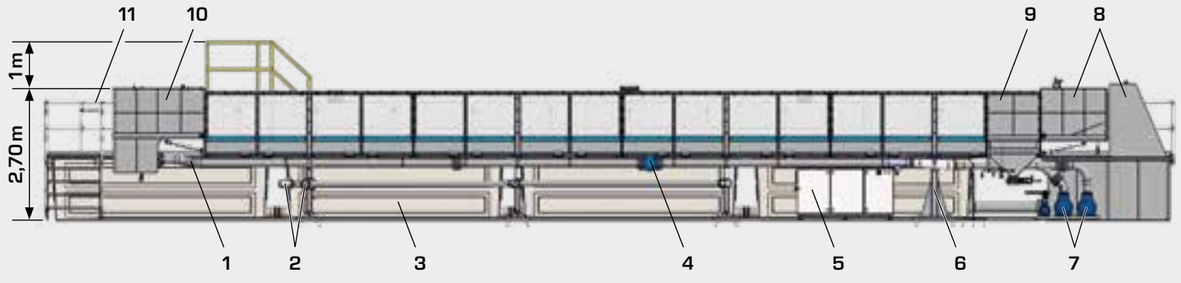
Vista frontal con galería

Vista posterior con soporte de elevación



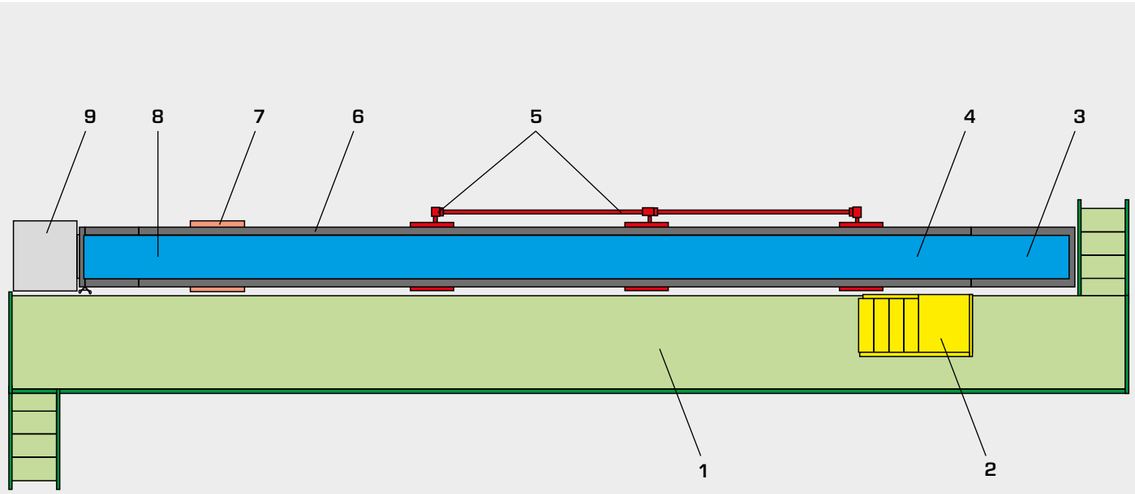
Vista frontal

1 elemento de salida, **2** trampa de sedimentos HM 161.72, **3** depósito de agua,
4 plataforma para alimentador de sedimentos (HM 161.73), **5** elemento de entrada, **6** galería



Vista posterior

1 tubería, **2** soporte de elevación motorizado (ajuste de la inclinación del canal), **3** depósito de agua, **4** caudalímetro,
5 armario de distribución, **6** soporte fijo, **7** bomba, **8** elemento de salida, **9** trampa de sedimentos (HM 161.72), **10** elemento de entrada, **11** galería



Vista en planta

1 galería, **2** plataforma para alimentador de sedimentos (HM 161.73), **3** elemento de entrada, **4** sección de ensayo,
5 soporte de elevación, **6** rieles para portainstrumentos, **7** soporte fijo, **8** trampa de sedimentos HM 161.72, **9** elemento de salida

Elemento de la sección de ensayo en el montaje in situ.
Los elementos se suministran montados. Los bastidores y portainstrumentos están soldados y barnizados. El vidrio templado viene instalado.

Galería

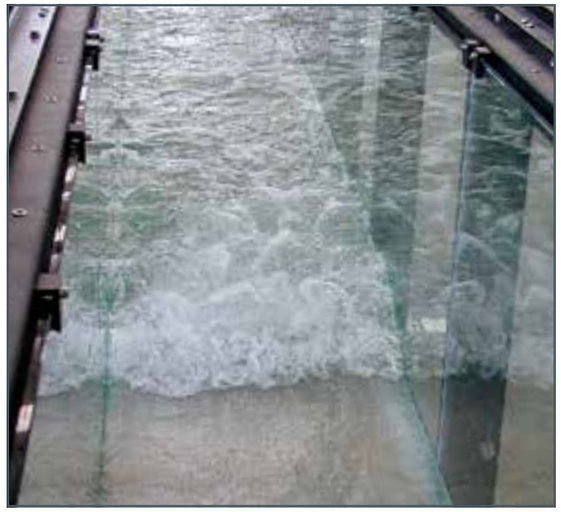
Canal de ensayo HM 161
Impresiones

Canal de ensayo HM 161 con transporte de sedimentos.
El alimentador de sedimentos HM 161.73 está colocado sobre el elemento de entrada. Al final de la sección de ensayo hay la trampa de sedimentos HM 161.72 para separar los sedimentos.

Vista en dirección al elemento de entrada

Vista lateral en la descarga sobre la presa-vertedero de perfil Ogee HM 161.34

Resalto hidráulico



Ola positiva

Vista en planta en la descarga sobre la presa-vertedero de perfil Ogee HM 161.34

Descarga en el vertedero de sifón HM 161.36 en funcionamiento

HM 161
Canal de ensayo 600x800mm

La ilustración muestra el HM 161 junto con el alimentador de sedimentos HM 161.73.

Descripción

- **sección de ensayo con paredes laterales transparentes, longitud de 16m**
- **flujo uniforme a través de elemento de entrada bien diseñado**
- **control con PLC vía dos paneles táctiles**
- **modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios**

El canal de ensayo HM 161 es el de mayor tamaño dentro de la gama de productos de GUNT. Las velocidades de flujo, que se pueden lograr en el canal de ensayo, y la gran longitud de la sección de ensayo son condiciones óptimas para diseñar proyectos propios. Estos proyectos pueden ser aproximaciones muy cercanas a la realidad.

La sección de ensayo tiene 16m de longitud y una sección transversal de 600x800mm. Las paredes laterales de la sección de ensayo están hechas de vidrio templado, permitiendo una observación óptima de los ensayos. Todos los componentes que entran en contacto con el agua están hechos de materiales resistentes a la corrosión (acero fino, plástico reforzado por fibras de vidrio). El elemento de entrada está diseñado de modo que el flujo entre en la sección de ensayo con escasas turbulencias. El circuito de agua cerrado consta de una serie de depósitos de agua y dos bombas potentes. Los depósitos están integrados en la instalación de modo que puedan funcionar también como galerías transitables. El usuario puede llegar así fácilmente a cualquier posición de la sección de ensayo.

Para simular una pendiente de fondo y ajustar un flujo uniforme con una profundidad de descarga constante, el canal de ensayo tiene un ajuste de la inclinación motorizado.

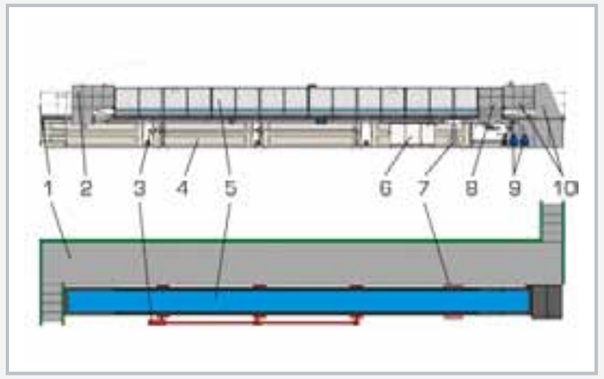
El canal de ensayo tiene amplias funciones de medición, regulación y manejo, que son controladas por un PLC. Dos paneles táctiles que se pueden colocar en cualquier sitio visualizan los valores de medición y estados de funcionamiento y permiten el manejo de la instalación. Los valores de medición se pueden transferir directamente a monitor de 32" para la teleindicación y a un PC vía USB y evaluar allí con ayuda del software.

Hay una amplia selección de modelos disponibles como accesorios, p.ej., vertederos, pilares, canales para aforar o un generador de olas, y permiten realizar un completo programa de ensayos. La mayoría de los modelos se enroscan de forma rápida y segura a la base de la sección de ensayo.

Contenido didáctico/ensayos

- con modelos disponibles como accesorios
  - descarga uniforme y variada
  - fórmulas de flujo
  - transición de flujo (resalto hidráulico)
  - disipación de energía (resalto hidráulico, cuenco amortiguador)
  - flujo sobre estructura de control: vertederos (de cresta delgada, de cresta ancha, de perfil Ogee)
  - flujo sobre estructura de control: descarga bajo compuertas
  - canal para aforar
  - pérdidas locales por obstáculos
  - perfiles de la superficie del agua
  - flujo no estacionario: olas
  - pilotes vibratorios
  - transporte de sedimentos

HM 161
Canal de ensayo 600x800mm



1 galería, 2 elemento de entrada, 3 soporte de elevación con ajuste de la inclinación motorizado, 4 depósito de agua, 5 sección de ensayo, 6 armario de distribución, 7 soporte fijo, 8 trampa de sedimentos HM 161.72, 9 bomba, 10 elemento de salida

Resalto hidráulico

Monitor con indicación de los valores de medición y estados de funcionamiento, panel táctile que se puede colocar en cualquier sitio (izquierda) y capturas de pantalla del PLC (derecha)

Especificación

[1] fundamentos del flujo en canales abiertos
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada y de salida y circuito de agua cerrado
[3] sección de ensayo inclinable sin escalonamiento
[4] sección de ensayo con orificios roscados distribuidos uniformemente en la base para instalar modelos o para la medición del nivel de agua
[5] paredes laterales de la sección de ensayo de vidrio templado para una observación óptima de los ensayos
[6] sección de ensayo con rieles de guía para portainstrumentos HM 161.59 disponible opcionalmente
[7] todas las superficies en contacto con el agua de materiales resistentes a la corrosión
[8] elemento de entrada optimizado para el flujo para una entrada con escasas turbulencias en la sección de ensayo
[9] circuito de agua cerrado con depósitos de agua, bombas, sensor de caudal electromagnético y regulación de caudal
[10] galería transitable
[11] PLC con 2 paneles táctiles que se pueden colocar en cualquier sitio y un monitor de 32" para el control de la instalación
[12] modelos de todas las áreas de la ingeniería hidráulica disponibles como accesorios
[13] software a través de USB en Windows 7, 8.1, 10

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud: 16m
- sección transversal de flujo AnxAl: 600x800mm
- 3 mecanismos elevadores de husillo

Depósitos
- 1x 3600L
- 4x 4300L

2 bombas
- consumo de potencia: 18,5kW
- caudal máx.: 228m³/h
- altura de elevación máx.: 35m

Rangos de medición
- caudal: 0...440m³/h
- inclinación: -0,75...2,1%

400V, 50Hz, 3 fases
400V, 60Hz, 3 fases
230V, 60Hz, 3 fases
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 22000x4000x2700mm
Peso: aprox. 4000kg

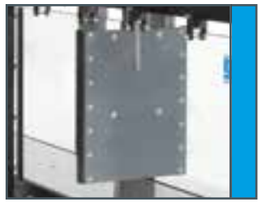
Necesario para el funcionamiento

PC con Windows recomendado

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
2 paneles táctiles, 1 monitor de 32"
1 CD con software GUNT + cable USB
1 juego de accesorios
1 material didáctico

El flujo en canales abiertos en el laboratorio


HM 162.29 Compuerta plana deslizante

HM 162.40 Compuerta de segmento

HM 162.36 Vertedero de sifón

HM 162.32 Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas

HM 162.35 Elementos para la disipación de energía

HM 162.38 Rejilla

HM 162.31 Vertedero de cresta ancha

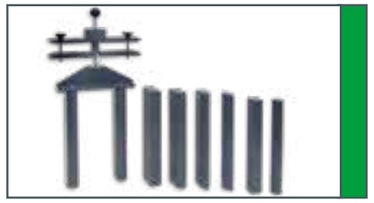
HM 162.33 Vertedero Crump

HM 162.34 Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión

HM 162.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

HM 162.63 Canal trapezoidal

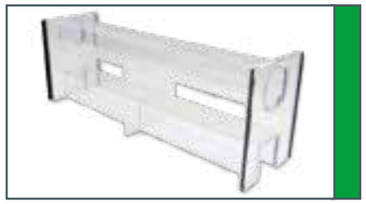
HM 162.44 Umbral

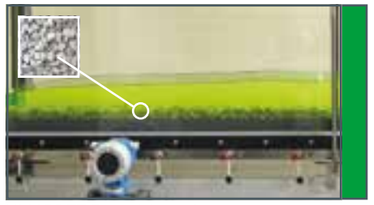

HM 162.46 Juego de pilares, siete perfiles

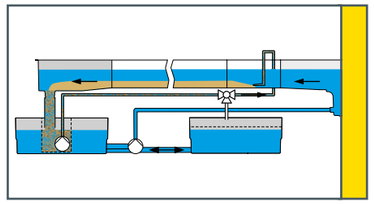
HM 162 con una sección de ensayo de 7,5 m

HM 162.55 Canal Parshall

HM 162.51 Canal de Venturi


HM 162.45 Obra de paso


HM 162.77 Base del canal con grava


HM 162.71 Circuito cerrado de sedimentos

HM 162.61 Pilotes vibratorios

HM 162.80 Juego de playas

HM 162.41 Generador de olas

HM 162.72 Trampa de sedimentos

HM 162.73 Alimentador de sedimentos

Gracias a una amplia selección de modelos característicos, se puede diseñar un programa de ensayos amplio e individual con un canal de ensayo GUNT. El programa de ensayos, que se presenta en esta página para HM 162 es aplicable, en principio, a todos los canales de ensayo GUNT.

Los modelos de los otros canales de ensayo GUNT son similares.

- estructuras de control
- modificaciones en la sección transversal (pérdidas, ecuaciones de flujo)
- medición de la descarga
- otros ensayos: entre otros, olas, transporte de sedimentos

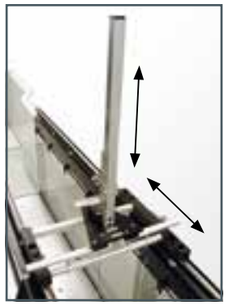
Los instrumentos adecuados para la medición de la profundidad de descarga y velocidad de flujo están disponibles como accesorios adicionales.

Canales de ensayo GUNT
Instrumentos

Portainstrumentos para el HM 162, HM 163 y HM 161

En la parte superior de las paredes laterales de los canales de ensayo HM 162, HM 163 y HM 161 hay rieles de guía en los que se puede instalar y desplazar un portainstrumentos. En el portainstrumentos se montan los distintos instrumentos, p.ej., un indicador del nivel de agua o un tubo de Pitot estático. Gracias al portainstrumentos los instrumentos pueden instalarse en prácticamente cualquier punto del flujo. El portainstrumentos puede fijarse con mecanismos de fijación durante las mediciones. La posición del portainstrumentos a lo largo de la sección de ensayo es leída en una escala (véase la foto). En el portainstrumentos mismo hay otra escala adicional para determinar la posición transversalmente respecto a la dirección del flujo.

Escala a lo largo de la sección de ensayo



Portainstrumentos con indicador del nivel de agua

En el canal de ensayo HM 160 pequeño no es necesario ningún portainstrumentos. Los instrumentos se colocan directamente sobre el borde superior de la sección de ensayo y se fijan.

Montaje del portainstrumentos

Tubo de Pitot estático HM 162.50 con portainstrumentos

Indicador del nivel de agua HM 162.52 con portainstrumentos

Tubos manométricos HM 162.53

Velocidad de flujo

Para medir la velocidad de flujo en todos los canales de ensayo, GUNT ofrece dos métodos: el tubo de Pitot estático clásico o un velocímetro digital. El tubo de Pitot estático HM 16x.50 mide la presión estática y la presión total en un punto aleatorio del flujo. Un instrumento de medición de presión digital indica la diferencia de ambas presiones. La diferencia de presión corresponde a la presión dinámica, a partir de la cual se puede calcular la velocidad de flujo.

El elemento central del velocímetro HM 16x.64 es una rueda de paletas, girada por el flujo. El número de revoluciones de la rueda de paletas es proporcional a la velocidad de flujo. La velocidad de flujo se lee directamente en el indicador digital.

Profundidad de descarga

Para medir la profundidad de descarga se utiliza el indicador del nivel de agua HM 16x.52 o el HM 16x.91 con indicador digital. La punta de sonda es conducida desde arriba a la superficie del agua.

Medición de la presión

Todos los canales de ensayo están equipados con puntos de medición de presión en el fondo del canal. Los puntos de medición de la presión están distribuidos uniformemente a lo largo de la sección de ensayo. Para medir estas presiones, los puntos de medición de presión se conectan con mangueras con el panel de manómetros HM 16x.53 opcional. De este modo, en el panel de manómetros se puede leer directamente un perfil de la profundidad de descarga a lo largo de toda la longitud de la sección de ensayo.

Velocímetro HM 16x.64

Indicador del nivel de agua digital HM 162.91 con portainstrumentos

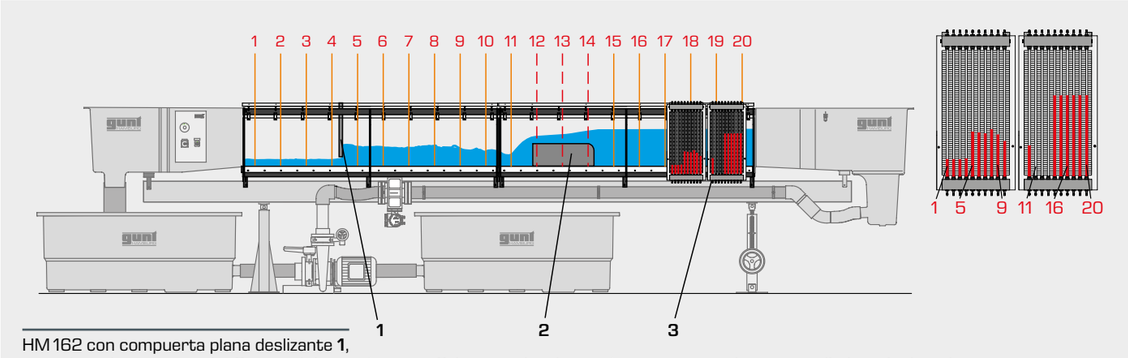
Métodos de medición propios en el laboratorio

También puede utilizar, desde luego, sus propios métodos de medición en el laboratorio para determinar la velocidad de flujo como la velocimetría por imágenes de partículas (PIV, por sus siglas en inglés) o la anemometría láser doppler (LDA, por sus siglas en inglés), y utilizar ultrasonido para determinar la profundidad de descarga.

Ejemplo de una medición de la presión a lo largo de la sección de ensayo

En la sección de ensayo de 5m de longitud del HM 162 se ha instalada un vertedero de cresta ancha (HM 162.31) y una compuerta plana deslizante (HM 162.29). Los elementos de la sección de ensayo del HM 162 contienen cada uno 10 puntos de medición de presión, distribuidos uniformemente a lo largo del elemento de 2,5m. La presión en estos puntos de medición es denominada altura de presión y corresponde a la profundidad de descarga. Las alturas de presión se indican en el panel de manómetros HM 162.53. En una sección de ensayo inclinada, es decir, flujo en canales abiertos con pendiente, es más preciso medir la profundidad de descarga a través de la altura de presión que a través del indicador del nivel de agua.

El panel de manómetros HM 162.53 contiene diez tubos. En función de la longitud de la sección de ensayo se pueden representar puntos seleccionados en un panel o se pueden utilizar varios paneles para visualizar todas las presiones.



HM 162 con compuerta plana deslizante **1**, vertedero de cresta ancha **2** y panel de manómetros **3**. Los paneles de manómetros se pueden ver ampliados a la derecha.

Los elementos de la sección de ensayo en el canal de ensayo HM 160 contienen diez puntos de medición de presión en una longitud de 2,5m. El panel de manómetros HM 160.53 contiene diez tubos.

En el canal de ensayo HM 161 se han distribuido uniformemente 48 puntos de medición de presión a lo largo de la sección de ensayo con una longitud de 16m. El panel de manómetros HM 161.53 contiene 20 tubos.

Manejo automatizado y adquisición de datos para HM 162 / HM 163 y HM 161

Con ayuda de HM 162.13 / HM 161.13 la profundidad de descarga a lo largo de la sección de ensayo se puede registrar con sensores de presión y visualizar en forma de altura de la presión en el software GUNT.

Con HM 162.12 es posible manejar el canal de ensayo HM 162 o HM 163 a través de un PC. El caudal, el ajuste de la inclinación y la frecuencia del generador de olas HM 162.41 / HM 163.41 se fijan mediante el software GUNT. Los valores de medición se registran y almacenan. El software reconoce automáticamente si además de HM 162.12 se va a utilizar la medición de presión electrónica HM 162.13. En este caso es posible manejar los dos softwares mediante HM 162.12 y seleccionar las ventanas correspondientes.

HM 161 contiene un control con PLC vía dos paneles táctiles y un software Gunt para la adquisición de valores de medición.

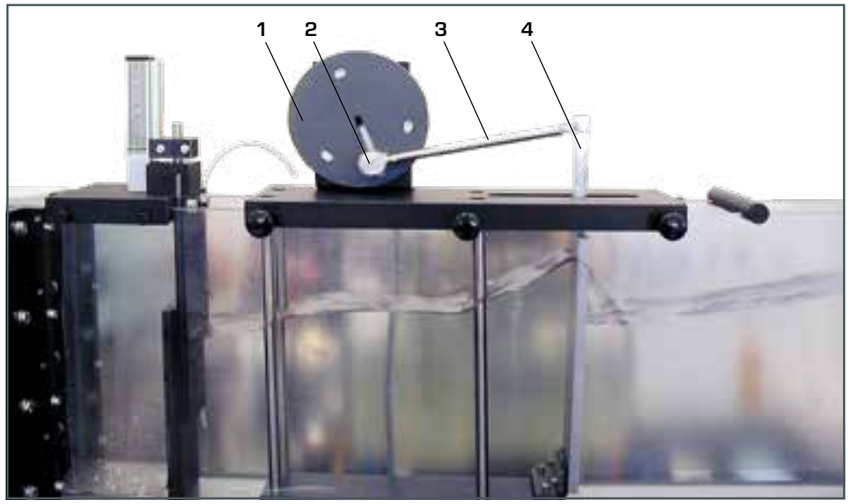
Canales de ensayo GUNT
Generador de olas

El generador de olas HM 16x.41, que está disponible como accesorio para todos los canales de ensayo, genera olas periódicas, armónicas con longitudes y alturas de onda diferentes.

Un motor eléctrico acciona un plato de manivela, que está conectado a una placa mediante una biela. La placa realiza un movimiento de carrera armónico. El número de revoluciones del plato de manivela (es decir, la frecuencia con la que la placa se mueve hacia delante y hacia atrás) es ajustable. De este modo se influye en la longitud de la onda de las olas generadas. La carrera se puede ajustar sin escalonamiento, de modo que la altura de la ola (amplitud) se pueda modificar.

El número de revoluciones del plato de manivela se ajusta en el armario de distribución (HM 162, HM 163, HM 161) o en un mecanismo regulador que pertenezca al generador de olas (HM 160).

Generador de olas HM 162.41



Generador de olas HM 160.41
1 plato de manivela,
2 carrera ajustable,
3 biela, **4** placa

Manuales de primera clase

La política de GUNT en lo referente a su programa consiste en lo siguiente: un hardware de alta calidad y un material didáctico claro e ilustrativo garantizan el éxito de aprendizaje y enseñanza de un equipo de ensayo.

La parte esencial de este material didáctico son los ensayos de referencia que nosotros mismos realizamos. La descripción del ensayo contiene todo desde el montaje experimental concreto hasta la interpretación de los resultados obtenidos. Un grupo de ingenieros expertos desarrolla y actualiza el material didáctico.

Si a pesar de todo aún tiene alguna duda, no dude en contactarnos telefónicamente. En caso de necesidad también estaremos a su disposición en sus propias instalaciones.

Canales de ensayo GUNT
Transporte de sedimentos

Los flujos en ríos, canales y zonas costeras suelen ir acompañados de transporte de sedimentos. Aquí el transporte de depósitos arrastrados por la corriente es fundamental. Con el transporte de depósitos arrastrados por la corriente se mueven las materias sólidas en el fondo del río.

El accesorio aquí descrito para los canales de ensayo GUNT sólo examina el transporte de depósitos arrastrados por la corriente. Como sedimento se utiliza arena con un tamaño del grano 1...2 mm. La alimentación de sedimentos tiene lugar a la entrada de la sección de ensayo. Al final de la sección de ensayo hay una trampa de sedimentos para separar los sedimentos.

Desplazamiento de dunas

Transporte de sedimentos en aguas corrientes

Alimentación de sedimentos

La alimentación de sedimentos se realiza manualmente a través de una pala o un cubo, que se suministra con la trampa de sedimentos HM 16x.72.

Como alternativa puede utilizarse el alimentador de sedimentos HM 16x.73. Este alimentador consta principalmente de un canal transportador vibrante, a través del cual se transportan sedimentos a la sección de ensayo. El alimentador HM 16x.73 se monta sobre la entrada de la sección de ensayo.

Alimentador de sedimentos HM 160.73

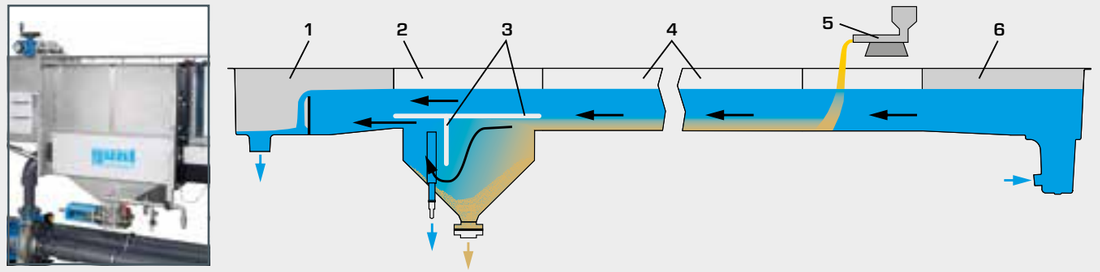
Trampa de sedimentos

La tarea de la trampa de sedimentos es separar los sedimentos del flujo para que no entren en la bomba y el caudalímetro. El flujo cerca del fondo contiene los sedimentos.

La trampa de sedimentos HM 160.72 consta de una criba de malla fina colocada en el depósito de agua detrás del elemento de salida para recoger los sedimentos.

Para los canales de ensayo HM 162, HM 163 y HM 161 de mayor tamaño, se monta la trampa de sedimentos HM 162.72 / HM 163.72 / HM 161.72 entre la sección de ensayo y el elemento de salida. En esta trampa de sedimentos, el flujo cerca del fondo es conducido a la trampa. En la trampa los sedimentos se hunden hasta el suelo y se acumulan. El agua libre de sedimentos fluye al elemento de salida. Los sedimentos se eliminan manualmente de la trampa y se vuelven a introducir a la alimentación.

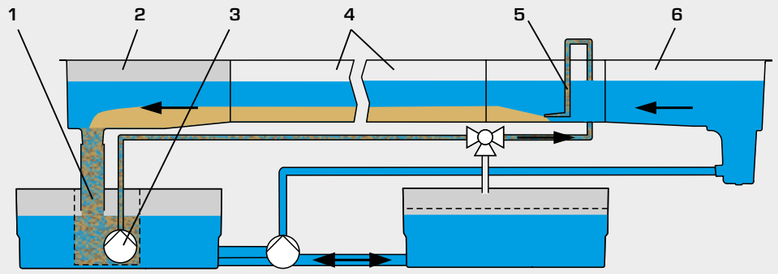
Trampa de sedimentos HM 160.72 en el depósito de agua de HM 160 para recoger los sedimentos



Trampa de sedimentos HM 162.72 / HM 163.72 / HM 161.72

1 elemento de salida, **2** trampa de sedimentos, **3** separador, **4** sección de ensayo con sedimentos, **5** alimentación de sedimentos (o bien manual con un cubo o con alimentador de sedimentos HM 16x.73), **6** elemento de entrada; sedimentos, agua

Para el HM 162 / HM 163 / HM 161 hay una alternativa a la trampa de sedimentos HM 16x.72: el circuito cerrado de sedimentos HM 16x.71.



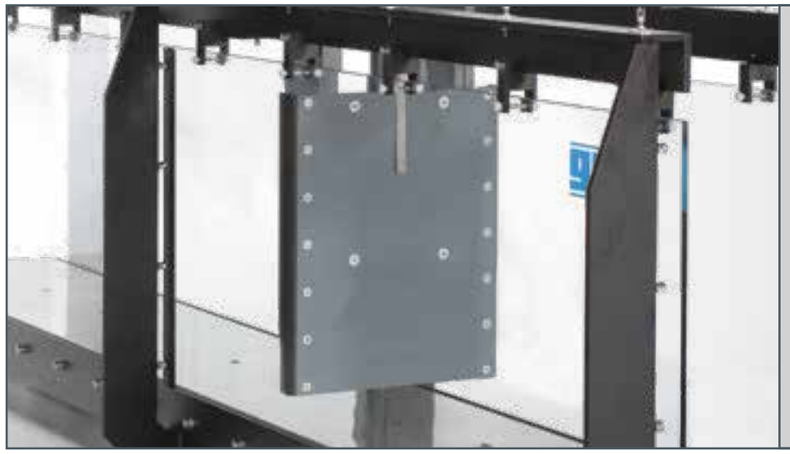
Circuito cerrado de sedimentos HM 162.71 / HM 163.71

1 cesta de criba, **2** elemento de salida, **3** bomba, **4** sección de ensayo con sedimentos, **5** entrada de sedimentos, **6** elemento de entrada; sedimentos, agua

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

En las páginas siguientes, le presentamos el programa completo de accesorios de los canales de ensayo GUNT, utilizando como ejemplo el HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Estructuras de control



Compuerta plana deslizante

HM 160.29
Compuerta plana deslizante

HM 161.29
Compuerta plana deslizante

HM 162.29
Compuerta plana deslizante

HM 163.29
Compuerta plana deslizante

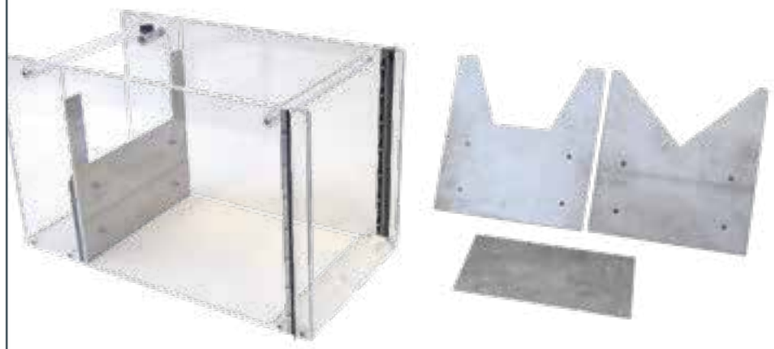
Compuerta de segmento

HM 160.40
Compuerta de segmento

HM 161.40
Compuerta de segmento

HM 162.40
Compuerta de segmento

HM 163.40
Compuerta de segmento



Vertederos de cresta delgada

(según Rehbock, Cipoletti, Thomson; vertedero rectangular sin contracción)

HM 160.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

HM 161.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

HM 162.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

HM 163.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Vertedero de cresta ancha

HM 160.31
Vertedero de cresta ancha

HM 161.31
Vertedero de cresta ancha

HM 162.31
Vertedero de cresta ancha

HM 163.31
Vertedero de cresta ancha

Umbral

HM 160.44
Umbral

HM 161.44
Umbral

HM 162.44
Umbral

HM 163.44
Umbral

Vertedero Crump

HM 160.33
Vertedero Crump

HM 161.33
Vertedero Crump

HM 162.33
Vertedero Crump

HM 163.33
Vertedero Crump

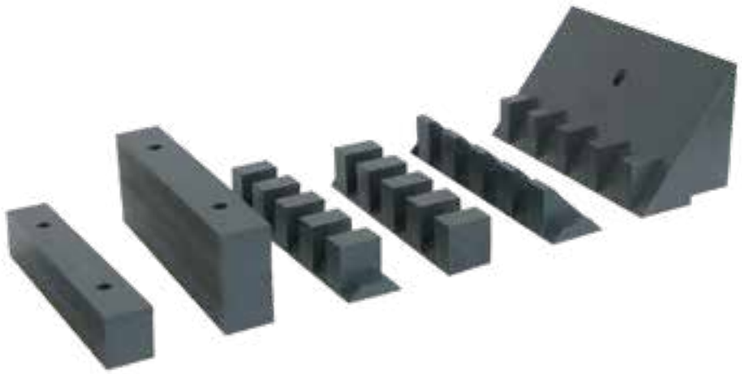
Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

Estructuras de control

Presa-vertedero de perfil Ogee

- **HM 160.32** Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas
- **HM 161.32** Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas
- **HM 162.32** Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas
- **HM 163.32** Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas



Ampliación opcional para la presa-vertedero de perfil Ogee:

Elementos para la disipación de energía (bloques de rápida y umbrales, entre otros)

- **HM 160.35** Elementos para la disipación de energía
- **HM 161.35** Elementos para la disipación de energía
- **HM 162.35** Elementos para la disipación de energía
- **HM 163.35** Elementos para la disipación de energía

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Presa-vertedero de perfil Ogee con puntos de medición de presión a lo largo del dorso del vertedero

- **HM 160.34** Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión
- **HM 161.34** Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión
- **HM 162.34** Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión
- **HM 163.34** Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión

Vertedero de sifón

- **HM 160.36** Vertedero de sifón
- **HM 161.36** Vertedero de sifón
- **HM 162.36** Vertedero de sifón
- **HM 163.36** Vertedero de sifón

Rejilla

- **HM 161.38** Rejilla
- **HM 162.38** Rejilla
- **HM 163.38** Rejilla

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

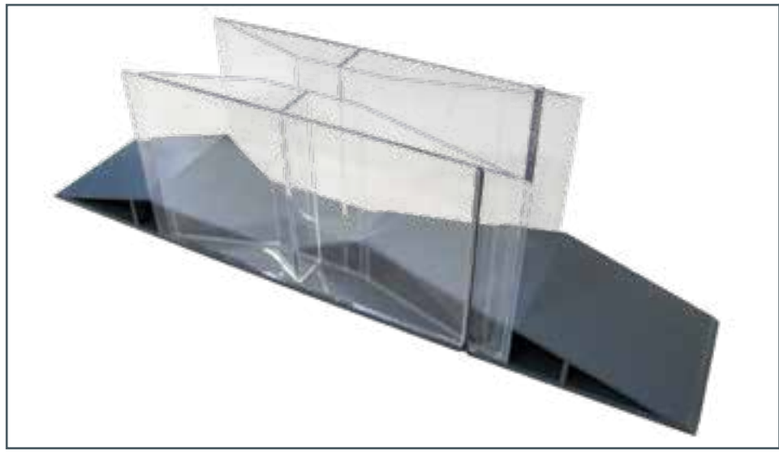
Medición de la descarga

Vertederos de cresta delgada
(según Rehbock, Cipoletti, Thomson; vertedero rectangular sin contracción)

- **HM 160.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos**
- **HM 161.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos**
- **HM 162.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos**
- **HM 163.30 Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos**

Canal de Venturi

- **HM 160.51 Canal de Venturi**
- **HM 161.51 Canal de Venturi**
- **HM 162.51 Canal de Venturi**
- **HM 163.51 Canal de Venturi**



Canal Parshall

- **HM 161.55 Canal Parshall**
- **HM 162.55 Canal Parshall**
- **HM 163.55 Canal Parshall**

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Medición de la descarga

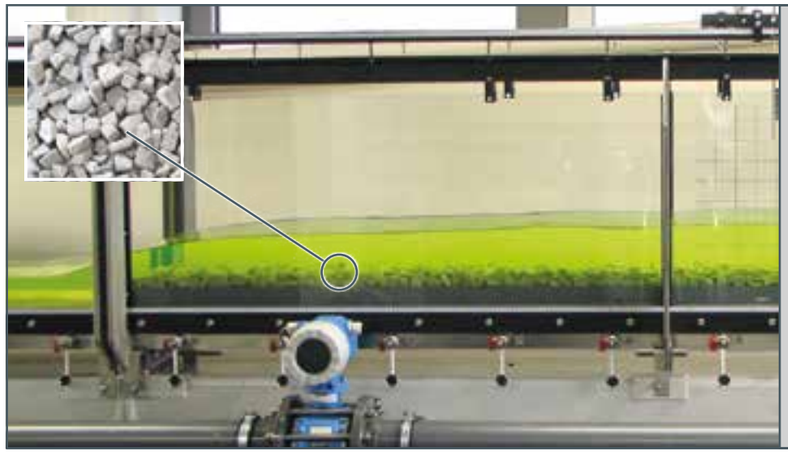
Canal trapezoidal

- **HM 161.63 Canal trapezoidal**
- **HM 162.63 Canal trapezoidal**
- **HM 163.63 Canal trapezoidal**

Modificación de la sección transversal

Umbral

- **HM 160.44 Umbral**
- **HM 161.44 Umbral**
- **HM 162.44 Umbral**
- **HM 163.44 Umbral**



Base del canal con grava

- **HM 160.77 Base del canal con grava**
- **HM 161.77 Base del canal con grava**
- **HM 162.77 Base del canal con grava**
- **HM 163.77 Base del canal con grava**

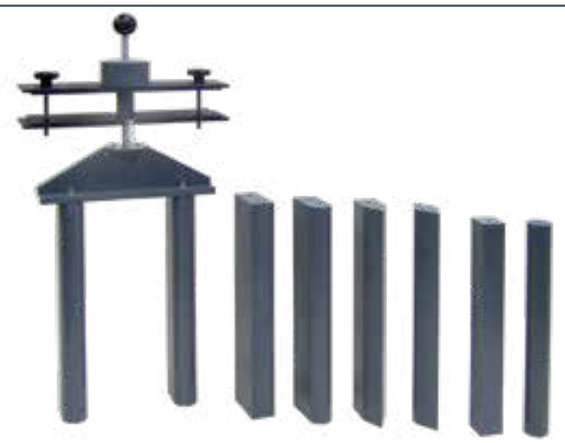
Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

Modificación de la sección transversal

Vertedero Crump

- **HM 160.33** Vertedero Crump
- **HM 161.33** Vertedero Crump
- **HM 162.33** Vertedero Crump
- **HM 163.33** Vertedero Crump



Pilar 7 perfiles: rectangular, cuadrado, circular, redondeado (un extremo o ambos extremos), terminado en punta (un extremo o ambos extremos)

- **HM 160.46** Juego de pilares, siete perfiles
- **HM 161.46** Juego de pilares, siete perfiles
- **HM 162.46** Juego de pilares, siete perfiles
- **HM 163.46** Juego de pilares, siete perfiles

Obra de paso

- **HM 160.45** Obra de paso
- **HM 161.45** Obra de paso
- **HM 162.45** Obra de paso
- **HM 163.45** Obra de paso

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Además: olas con playas

Generador de olas

- **HM 160.41** Generador de olas
- **HM 161.41** Generador de olas
- **HM 162.41** Generador de olas
- **HM 163.41** Generador de olas

Playa lisa

- **HM 160.42** Playa lisa

Juego de playas
3 playas: lisa, rogosa, permeable

- **HM 161.80** Juego de playas
- **HM 162.80** Juego de playas
- **HM 163.80** Juego de playas

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

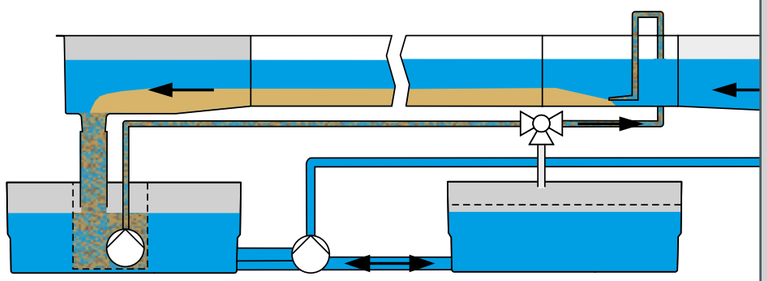
Además: transporte de sedimentos

Trampa de sedimentos

- HM 160.72 Trampa de sedimentos
- HM 161.72 Trampa de sedimentos
- HM 162.72 Trampa de sedimentos
- HM 163.72 Trampa de sedimentos

Alimentador de sedimentos

- HM 160.73 Alimentador de sedimentos
- HM 161.73 Alimentador de sedimentos
- HM 162.73 Alimentador de sedimentos
- HM 163.73 Alimentador de sedimentos



Circuito cerrado de sedimentos

- HM 161.71 Circuito cerrado de sedimentos
- HM 162.71 Circuito cerrado de sedimentos
- HM 163.71 Circuito cerrado de sedimentos

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Además: vibraciones inducidas por flujo

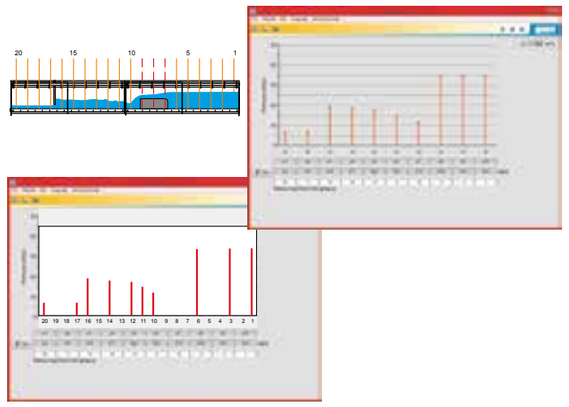
Pilotes vibratorios

- HM 160.61 Pilotes vibratorios
- HM 161.61 Pilotes vibratorios
- HM 162.61 Pilotes vibratorios
- HM 163.61 Pilotes vibratorios

Instrumentos de medición

Medición de presión

- HM 160.53 Diez tubos manométricos
- HM 161.53 20 tubos manométricos
- HM 162.53 Diez tubos manométricos
- HM 163.53 Diez tubos manométricos



Medición de presión

- HM 161.13 Medición de presión electrónica, 10x 0...100 mbar
- HM 162.13 Medición de presión electrónica, 10x 0...50 mbar

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

Instrumentos de medición

Indicador del nivel de agua
(analógico o con indicador digital)

HM 160.52 Indicador del nivel de agua
HM 160.91 Indicador del nivel de agua digital

HM 161.52 Indicador del nivel de agua
HM 161.91 Indicador del nivel de agua digital

HM 162.52 Indicador del nivel de agua
HM 162.91 Indicador del nivel de agua digital

HM 163.52 Indicador del nivel de agua
HM 163.91 Indicador del nivel de agua digital

Determinación de la velocidad
(mediante tubo de Pitot estático)

HM 160.50
Tubo de Pitot estático

HM 161.50
Tubo de Pitot estático

HM 162.50
Tubo de Pitot estático

HM 163.50
Tubo de Pitot estático

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Determinación de la velocidad
(mediante velocímetro)

HM 160.64
Velocímetro

HM 161.64
Velocímetro

HM 162.64
Velocímetro

HM 163.64
Velocímetro

Portainstrumentos
(accesorio necesario para el indicador del nivel de agua y la determinación de la velocidad)

HM 161.59
Portainstrumentos

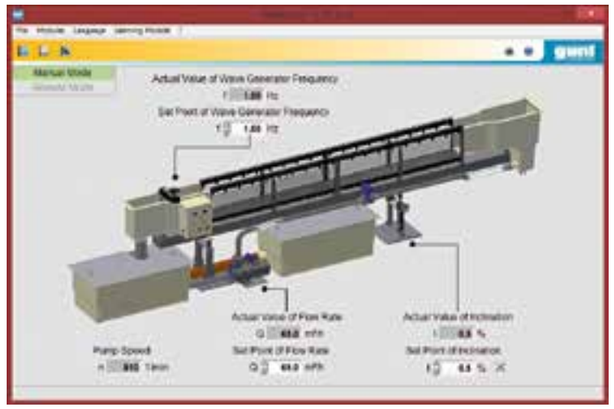
HM 162.59
Portainstrumentos

HM 163.59
Portainstrumentos

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Accesorios para los canales de ensayo HM 160, HM 161, HM 162 y HM 163

Otros accesorios



Adquisición de datos y automatización

incluida en HM 161	
HM 162.12 Sistema para la adquisición de datos y la automatización	

Elemento de prolongación del canal de ensayo, 2,5 m
(para secciones de ensayo más largas)

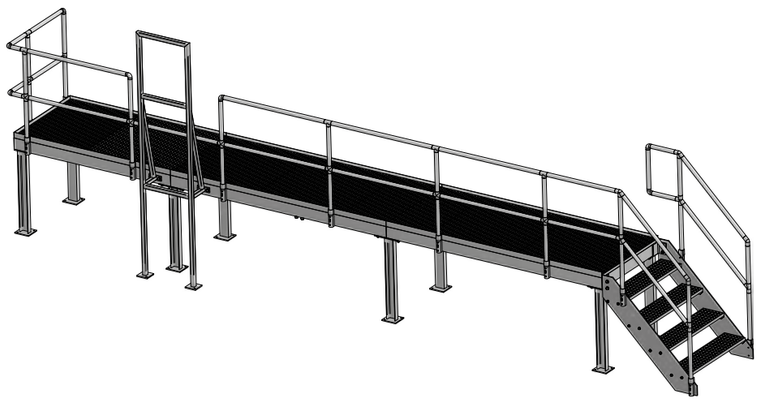
HM 160.10 Elemento de prolongación del canal de ensayo	
HM 162.10 Elemento de prolongación del canal de ensayo	
HM 163.10 Elemento de prolongación del canal de ensayo	

Ajuste de la inclinación eléctrico
(recomendado para secciones de ensayo a partir de 7,5 m)

HM 162.57 Ajuste de la inclinación eléctrico	
HM 163.57 Ajuste de la inclinación eléctrico	

Depósito de agua, 1100 L

HM 162.20 Depósito de agua	
HM 163.20 Depósito de agua	



Galería

HM 162.14 Galería	
HM 163.14 Galería	

Elemento de prolongación de la galería, 2,5 m

HM 162.15 Elemento de prolongación de la galería	
HM 163.15 Elemento de prolongación de la galería	

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Las fotos muestran accesorios del HM 162. Los accesorios de los otros canales de ensayo son similares.

Conocimientos básicos

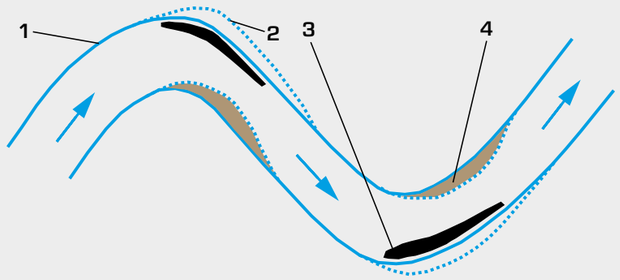
Fundamentos del transporte de sedimentos

Los flujos en ríos, canales y en la zona de la costa suelen ir acompañados por transporte de sedimentos. El transporte de sedimentos consta de **transporte de sedimentos en suspensión** y **transporte de depósitos arrastrados por la corriente**.

El transporte de depósitos arrastrados por la corriente se da en el área cercana al fondo y es un factor muy importante de moldeado del lecho de río. En aguas corrientes naturales, los procesos de erosión y sedimentación se alternan constantemente y caracterizan el balance de escombros del tramo del lecho de río.

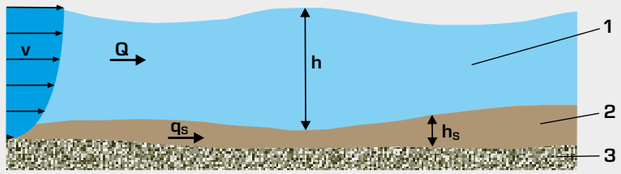
Para el comportamiento de desagüe en canales, el transporte de depósitos arrastrados por la corriente es el componente fundamental. Los sedimentos que se depositan (sedimentación) o transportan (erosión o formación de socavación) pueden, p. ej., modificar la sección transversal por la que pasa el flujo o los perfiles de la superficie del agua. El transporte de sedimentos también puede modificar la estructura del fondo (formación de ripples o dunas, modificación de la rugosidad).

Los sedimentos transportados como materias en suspensión solo son relevantes para el equilibrio de transporte, cuando se depositan y contribuyen a la sedimentación, p. ej., en aguas que fluyen muy despacio o están estancadas.



Río (vista en planta)

1 lecho de río original, **2** lecho de río modificado por el transporte de sedimentos en un momento posterior, **3** socavación / erosión, **4** sedimentación



Río (sección)

1 agua, **2** sedimento móvil, **3** fondo fijo;
v velocidad de flujo, **Q** descarga,
$\mathbf{q_s}$ capacidad de transporte de sedimentos,
h profundidad de descarga,
$\mathbf{h_s}$ espesor de la capa de sedimentos

Para evaluar el comportamiento de descarga de un canal con una descarga normal, se debe tener en cuenta, además de las ecuaciones que ya conocemos sobre conservación de la energía, la conservación del impulso y conservación de la masa, el equilibrio de transporte en el volumen de control – ¿se vuelve a alimentar la misma cantidad de sedimentos que deja el volumen de control? Las fórmulas de transporte son fórmulas empíricas, p. ej., según Meyer-Peter y Müller.

Los bancos de ensayos GUNT sobre este tema tratan principalmente el transporte de depósitos arrastrados por la corriente.

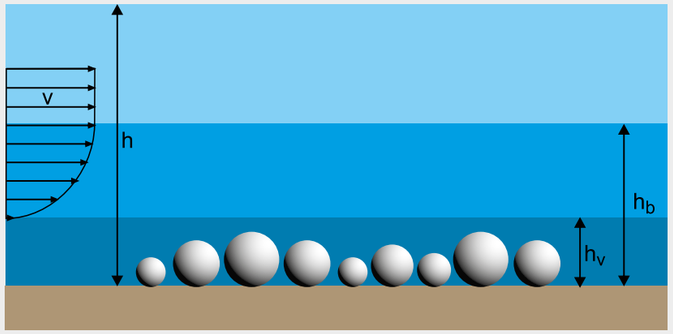
Inicio del movimiento de sedimentación

Los granos de sedimentos que se encuentran en el suelo se ponen en movimiento cuando se excede la tensión de corte crítica del fondo. Se diferencia entre tres posibilidades:

- exceso frecuente o permanente: **formación de ripples** o **dunas** en el fondo
- exceso solo en casos extremos como marejadas o inundaciones: cambio repentino del fondo
- ningún exceso: depósito del material en suspensión, el fondo puede enlodarse a medio plazo.

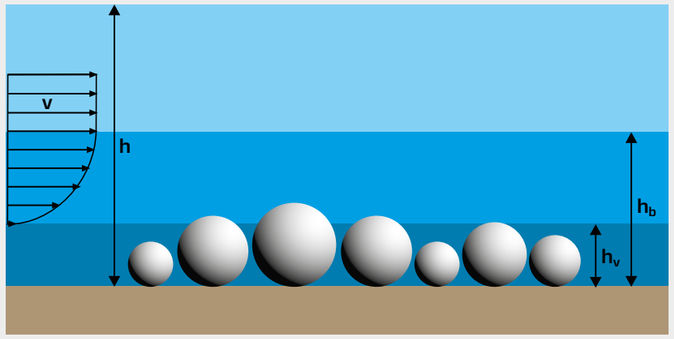
Normalmente, los sedimentos constan de granos de distinto tamaño. Los granos grandes están más expuestos al flujo y resisten mayores fuerzas de flujo que los granos pequeños. Los granos pequeños pueden ser protegidos por los granos grandes (efecto de escondido) y empiezan a moverse con fuerzas de flujo mayores como granos no protegidos.

Estructura de las capas móviles en aguas corrientes



Contorno hidráulico liso

h profundidad de descarga, $\mathbf{h_b}$ espesor de la capa límite, $\mathbf{h_v}$ espesor de la capa viscosa



Contorno hidráulico rugoso

h profundidad de descarga, $\mathbf{h_b}$ espesor de la capa límite, $\mathbf{h_v}$ espesor de la capa viscosa

La velocidad de flujo del agua cerca del fondo del canal se aproxima a cero. Esta región se denomina **capa límite**. La **subcapa viscosa** se encuentra justo por encima del fondo del canal y es muy delgada. La formación de la subcapa viscosa depende de las características de la superficie del fondo del canal. Hablamos de un contorno hidráulico liso cuando los elementos de rugosidad, como los granos de sedimentos, se encuentran completamente dentro de la subcapa. Cuando los granos de sedimentos sobresalen de la subcapa, hablamos de un contorno hidráulico rugoso.

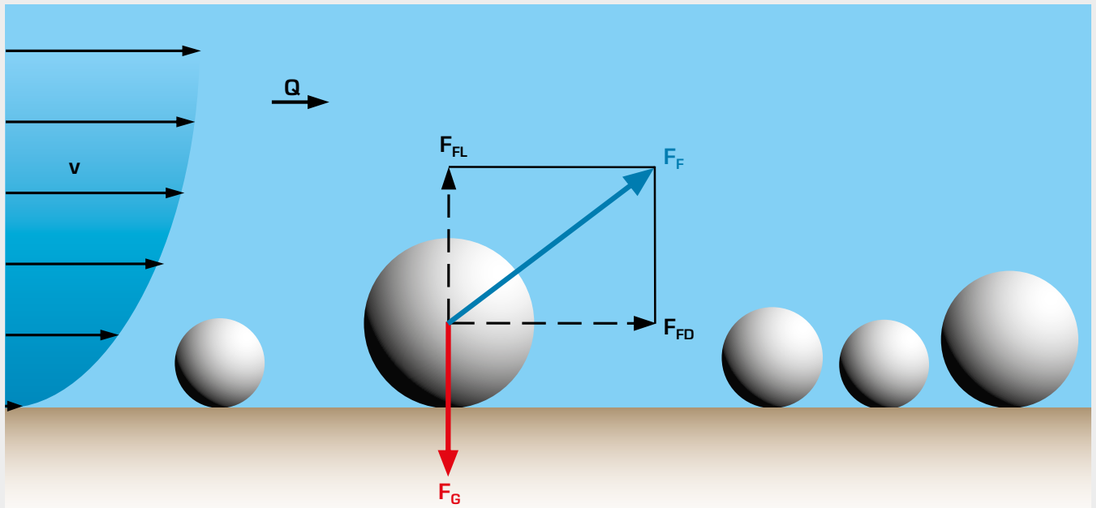
El contorno hidráulico liso entre la capa de sedimentos y el flujo se produce a velocidades de flujo bajas (subcapa viscosa delgada) y/o con granos de diámetros pequeños de los sedimentos. Si los granos tienen un diámetro grande (> 0,6 mm) y / o las velocidades de flujo son altas (capa viscosa gruesa), hablamos de un contorno hidráulico rugoso.

Conocimientos básicos

Fundamentos del transporte de sedimentos

Formas del transporte de sedimentos

En un grano de sedimento en un flujo actúan distintas fuerzas. La forma del transporte de sedimentos depende del tamaño, la masa y la forma del grano y de la fuerza de flujo que actúa. En la ilustración se representan todas las fuerzas relevantes:



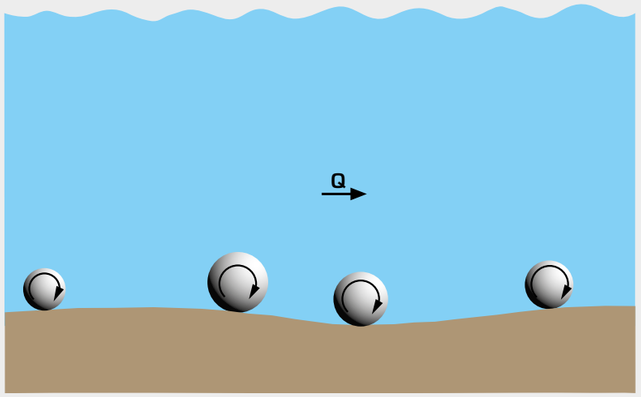
Fuerzas en el grano de sedimento en el fondo del canal

v velocidad de flujo, **Q** descarga, F_G peso, F_F fuerza de flujo, F_{FL} fuerza de sustentación (lift), F_{FD} fuerza de arrastre (drag)

La fuerza de flujo F_F es la fuerza resultante de la fuerza de sustentación F_{FL}, que actúa verticalmente, y la fuerza de arrastre F_{FD}, que actúa horizontalmente. Para que el grano de sedimento deje el fondo del canal (por saltación o como materia en suspensión), la fuerza de sustentación debe ser mayor que el peso opuesto F_G del grano de sedimento.

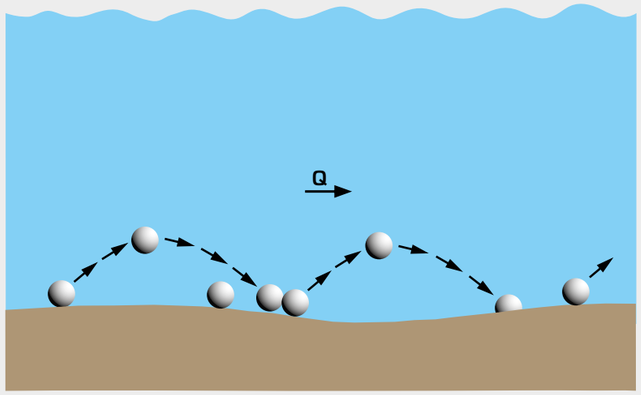
La fuerza de flujo que actúa en los granos pequeños es menor que en los grandes debido a la distribución de la velocidad de flujo **v** entre el fondo del canal y la superficie del agua. En los granos más grandes, el peso F_G es mayor y evita el transporte de sedimentos en suspensión.

Los granos grandes (p. ej., piedras) ruedan o se deslizan sobre el fondo, mientras los granos de arena pequeños se convierten en materia en suspensión. Los granos de sedimentos más grandes que la arena, p. ej., grava fina, pueden transportarse también en saltación.



Rodadura (rolling)

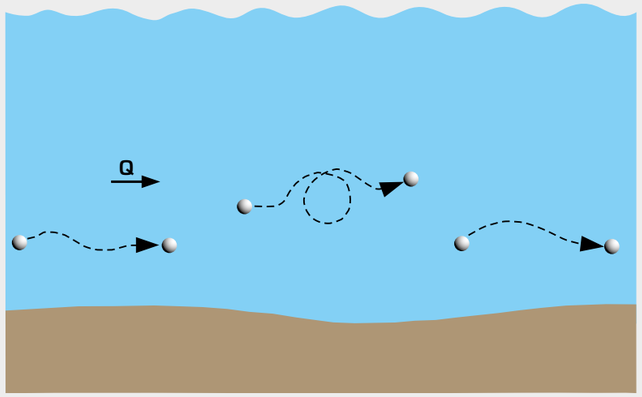
Los sedimentos permanecen en contacto constante con el fondo. Normalmente, ruedan granos de sedimentos grandes, p. ej., piedras.



Saltación

El grano de sedimentación, p. ej., pequeñas piedras de grava, es arrancado del fondo por el flujo y deja brevemente el suelo. El flujo lo arrastra consigo antes de que se vuelva a depositar. Parece como si el grano saltara.

Los depósitos son materias sólidas que se arrastran a lo largo del fondo. Los factores fundamentales son:
■ descarga ■ pendiente ■ estructura del fondo ■ cantidad de sustancias sólidas



Transporte de sedimentos en suspensión

Las materias en suspensión son materias sólidas suspendidas en el agua y sin contacto con el fondo.

Los factores fundamentales son:

- velocidad de sedimentación (diámetro del grano, forma del grano, densidad del grano, densidad del agua)
- parámetros de flujo (distribución de la velocidad en el canal, turbulencia)

Conocimientos básicos

Fundamentos del transporte de sedimentos

Formas de lecho

Los procesos que el aire provoca en un desierto (arena) se pueden comparar con los procesos en aguas corrientes.

En cuanto la velocidad de flujo es un poco más alta que la velocidad crítica, con la que los sedimentos comienzan a moverse, se producen irregularidades en el fondo del canal, lo que se denomina **forma de lecho**. Estas irregularidades pueden alcanzar una altura de aprox. 1 / 3 de la profundidad de descarga. Básicamente existen tres formas básicas de lecho: **ripples, dunas y antidunas**.

Los **ripples de corriente** se producen por procesos en la capa límite, de modo que la profundidad de descarga mínima es aproximadamente tres veces la altura del ripple. El diámetro máximo del grano de arena para la generación de ripples es de aprox. 0,6 mm. Los ripples suelen ser de media 3...5 cm de alto y tienen una longitud de onda de 4...60 cm. Son tan pequeños que su influencia en el flujo no alcanza a la superficie.

Las **dunas** son ripples grandes y pueden considerarse como umbrales mayores y a menudo más regulares. Su altura depende de la profundidad de descarga. Estos influyen también en el flujo hasta la superficie. Los ripples y las dunas pueden aparecer superpuestos.

Los ripples y las dunas se mueven en la dirección del flujo. Las **antidunas**, menos habituales, se mueven en dirección contraria al flujo. Las antidunas se forman con una descarga supercrítica y crean formas del fondo onduladas.

Tipos de ripple

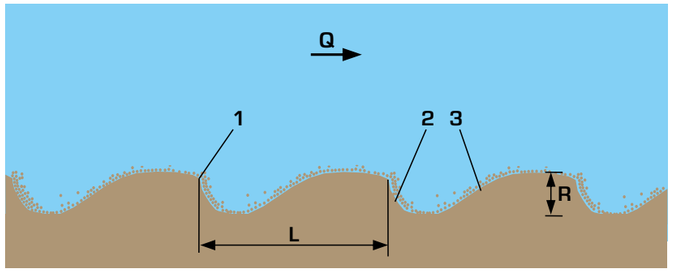
Existen **ripples de corriente** (explicados en esta página) y **ripples de olas**, que se forman por las ondas superficiales del agua en áreas de aguas poco profundas. Los ripples asimétricos se producen, p. ej., por la superposición de un flujo con ondas superficiales.

Formación y movimiento de ripples de corriente

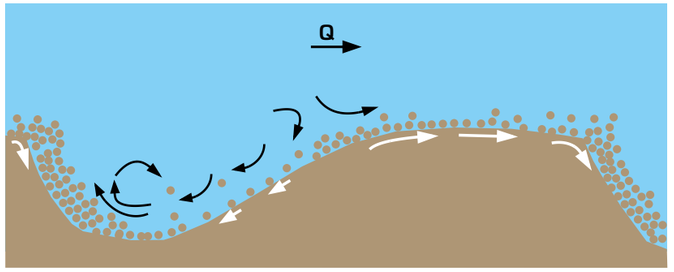
Cuando se alcanza la velocidad de flujo crítica para el movimiento de arena, los granos empiezan a moverse. Se forman pequeños cúmulos (colinas). Las colinas actúan como irregularidades en la superficie de los sedimentos. Estas irregularidades solo tienen unos pocos granos de grosor e influyen en el flujo de la capa límite. Las líneas de corriente por encima de una colina están más juntas y la velocidad de flujo es mayor (**efecto de Bernoulli**; véase la ilustración de erosión en la depresión). Debido a la mayor velocidad de flujo, otros granos pueden rodar en el costado de barlovento de la colina o saltar y acumularse en la parte superior en la cresta. Cuando se amontonan demasiados granos, la situación es inestable, y se deslizan por el costado de sotavento de la colina. El costado de sotavento es más pronunciado que el de barlovento.

En la cresta de la colina, la línea de corriente sobre la superficie de la arena se desprende de la superficie y vuelve a rebotar después en la superficie de la arena (véase la ilustración sobre la formación de contracorrientes en el costado de sotavento). Por debajo de esta línea de corriente está la denominada zona de separación (separation zone). En esta zona se puede formar un vórtice de separación, provocando una pequeña contracorriente. Además se producen turbulencias y erosión, de modo que se forman y profundizan los valles entre los ripples. Estos valles se llaman depresiones. Algunos granos erosionados se depositan en la base del costado de sotavento, y otros son transportados por el fluido y / o se depositan en el costado de barlovento.

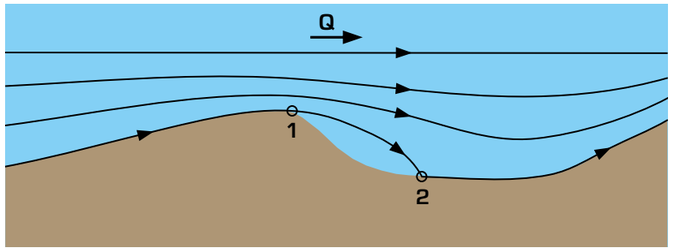
Los granos de arena en la parte superior de la capa de sedimentos se siguen transportando continuamente, de modo que los ripples se mueven en la dirección del flujo y se desplazan.



1 cresta del ripple, **2** costado de sotavento del ripple, **3** costado de barlovento del ripple; **L** longitud de onda, **R** altura del ripple

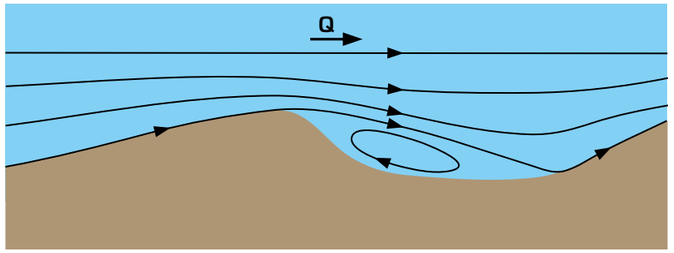


Flechas negras turbulencias en el agua,
flechas blancas migración de la arena



Erosión en la depresión

1 separación de la línea de corriente en la cresta, **2** punto de impacto,
líneas negras líneas de corriente



Formación de contracorrientes en el costado de sotavento

zona de separación con vórtice

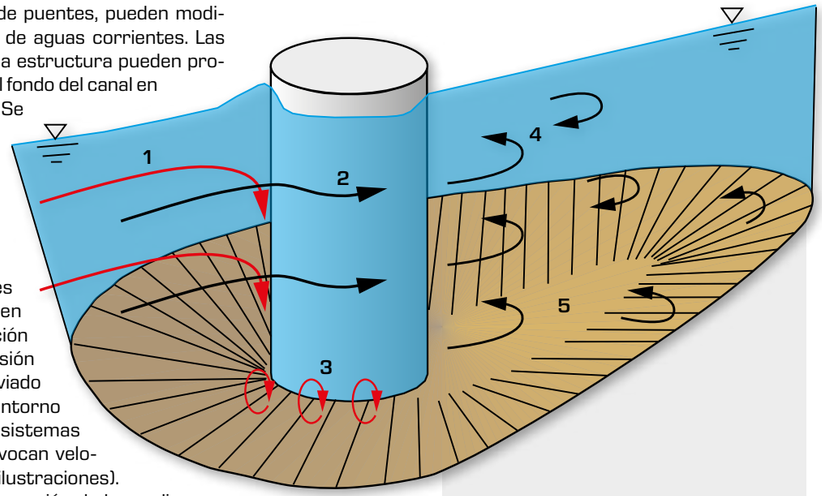
Conocimientos básicos

Fundamentos del transporte de sedimentos

Transporte de sedimentos en pilares de puentes

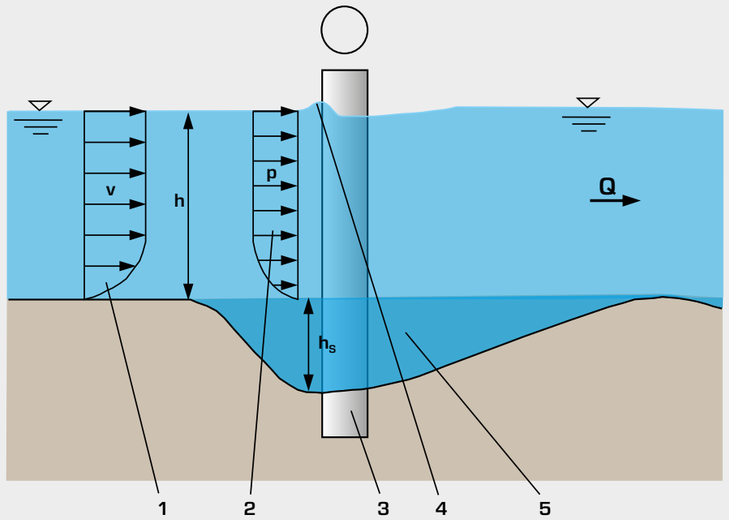
Las estructuras como, p.ej., pilares de puentes, pueden modificar a largo plazo el fondo del canal de aguas corrientes. Las condiciones de flujo modificadas por la estructura pueden provocar la formación de socavación en el fondo del canal en el entorno directo de la estructura. Se puede producir socavación incluso cuando no existe un transporte de sedimentos en las aguas corrientes. En este caso hablamos de **socavación en agua clara** (clear-water scour).

Hay dos tipos de causas principales para la formación de socavación en estructuras: la denominada socavación por contracción y la aparición de erosión local. En la erosión local, el flujo es desviado localmente por la estructura. En el entorno directo de la estructura se forman sistemas de vórtice muy turbulentos, que provocan velocidades locales elevadas (véanse las ilustraciones). De este modo se aumenta la tasa de erosión de los sedimentos. En la socavación por contracción, la reducción de la sección transversal del flujo por la estructura, p.ej., pilares de puentes, provoca velocidades de flujo más altas. Las velocidades de flujo elevadas inducen tensiones de corte del fondo elevadas, es decir, una capacidad de transporte elevada. La erosión en la base o en la cimentación del pilar puede tener consecuencias fatales, que eventualmente pueden provocar el hundimiento de la estructura. Por esta razón es importante comprender los mecanismos de la formación de socavación, para poder prever la profundidad de la socavación prevista o tomar medidas de protección adecuadas.



Formación de socavación
en agua clara en el pilar cilíndrico

1 flujo descendente,
2 flujo alrededor del pilar,
3 vórtice en herradura,
4 vórtice de estela,
5 socavación



Formación de socavación en agua clara
(vista lateral)

1 distribución de la velocidad
de la descarga,
2 distribución de la presión,
3 pilar cilíndrico,
4 remanso debido al pilar,
5 socavación;
h profundidad de descarga,
$\mathbf{h_s}$ profundidad de la socavación,
Q descarga

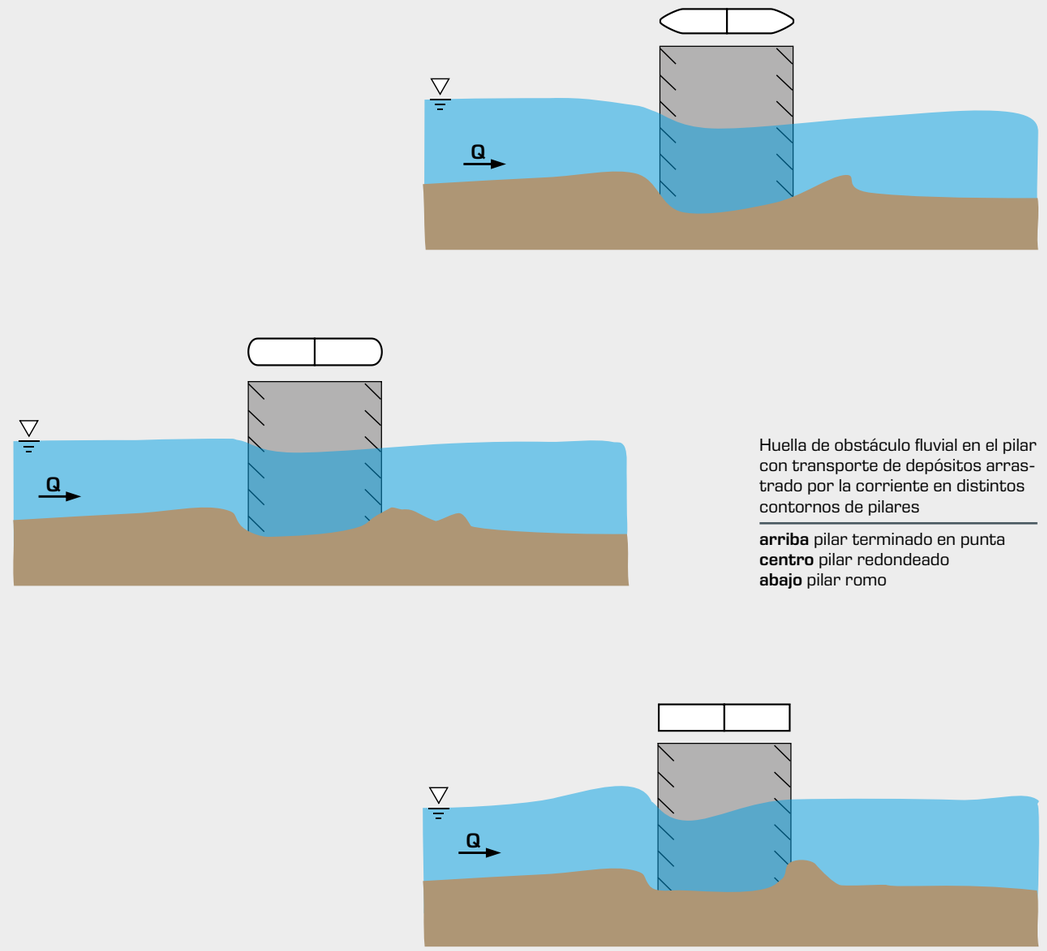
En la formación de socavación se dan dos sistemas de vórtice totalmente independientes entre sí: el **sistema de vórtice de herradura** y el **sistema de vórtice de estela** (véase la ilustración de formación de socavación en agua clara en el pilar cilíndrico). Aquí el sistema de vórtice de herradura es el sistema fundamental en la formación de socavación. Los vórtices de herradura se producen por el flujo dirigido hacia abajo en el lado de aguas arriba de la estructura. El flujo dirigido hacia abajo se origina debido a la caída de presión (véase la flecha roja en la ilustración superior y la distribución de presión en la vista lateral abajo). Los vórtices de estela se originan con la separación de la capa límite en los lados del cilindro expuestos a flujos alrededores (flecha negra en la ilustración superior).

La socavación en agua clara es mayor en el lado de aguas arriba, mientras que en los pilares con perfil rectangular es mayor en los laterales.

Huella de obstáculo fluvial

En la formación de socavación también es importante la sedimentación producida después del obstáculo, denominada encenagamiento. Estos dos fenómenos se agrupan bajo el término huella de obstáculo fluvial.

Las ilustraciones inferiores muestran la huella de obstáculo fluvial en el pilar cuando se produce transporte de depósitos arrastrados por la corriente aguas arriba.



Huella de obstáculo fluvial en el pilar
con transporte de depósitos arrastrado por la corriente en distintos
contornos de pilares

arriba pilar terminado en punta
centro pilar redondeado
abajo pilar romo

Transporte de sedimentos en aguas corrientes

En GUNT se demuestra y estudia el transporte de sedimentos en aguas corrientes (transporte de sedimentos en suspensión o transporte de depósitos arrastrados por la corriente) con cuatro equipos. El material en suspensión pasa el volumen de control y no se tienen en cuenta en el equilibrio de transporte.

El transporte de sedimentos en suspensión solo es relevante para el equilibrio de transporte cuando la velocidad de flujo es muy pequeña, de modo que las materias en suspensión se puedan depositar. El transporte de sedimentos en suspensión se demuestra en el HM 142.

El transporte de depósitos arrastrados por la corriente se demuestra en el HM 166, HM 140 y HM 168. Además, los canales de ensayo GUNT HM 160 – HM 163 son apropiados para el transporte de depósitos arrastrados por la corriente.

Transporte de sedimentos en suspensión

HM 142
Separación en tanques de sedimentación

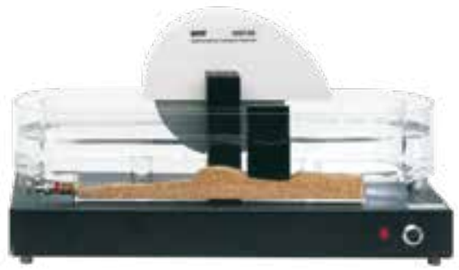
En muchas aguas corrientes, los sedimentos finos están en suspensión como material suspendido. Esta materia en suspensión no se suele tener en cuentan en el equilibrio de transporte.

Con una velocidad de flujo muy lenta es posible que la materia en suspensión se deposite. Así se producen sedimentaciones no deseadas en embales o presas. Las plantas depuradoras, por el contrario, tienen tanques de sedimentación en los que la sedimentación es deseada y se utiliza como proceso de separación para la limpieza de las aguas residuales.

- separación de una suspensión en el tanque de sedimentación transparente
- factores que afectan el proceso de separación
  - velocidad de flujo
  - concentración del sedimento
- visualización de las relaciones de flujo con tinta

Transporte de depósitos arrastrados por la corriente

HM 166
Fundamentos del transporte de sedimentos



- el agua es desplazada en un canal circulante con una rueda de álabes
- depresión a lo largo de un tramo recto del canal como sección de ensayo
- sección de ensayo con paredes laterales transparentes, L x An x Al: 660 x 50 x 150 mm
- la rueda de álabes regulada por el número de revoluciones genera flujos con una velocidad entre 0...1 m / s
- condiciones iniciales para el transporte de sedimentos
- demostración de formación de ripples y dunas en el cauce
- huella de obstáculo fluvial de los pilares de puente (formación de socavación y sedimentación)

HM 140
Transporte de sedimentos en canal abierto

- sección de ensayo inclinable con paredes laterales transparentes
  - longitud de la sección de ensayo: 1600 mm
  - sección transversal de flujo An x Al: 300 x 86 mm
  - ajuste de la inclinación: -1...+ 3 %
- ajuste de la cantidad de descarga mediante válvula
- circuito de agua cerrado con bomba, elemento de entrada y de salida
- transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canales abiertos
- observación de las formas del lecho: ripples, dunas, antidunas
- transporte de sedimentos en estructuras:
  - pilar de puente
  - compuerta plana deslizante

Desplazamiento de dunas: los sedimentos se desplazan hacia arriba a través del flujo en el costado de barlovento para seguir permaneciendo aguas abajo

además:

- fundamentos del flujo en canales abiertos sin transporte de sedimentos

HM 168
Transporte de sedimentos en cursos de ríos

- canal de ensayo de acero fino
- medidas de la sección de ensayo, L x An x Al: 5 x 0,8 x 0,25 m
- circuito de agua cerrado con bomba, elemento de entrada y de salida
- ajuste de la cantidad de descarga en dos áreas:
  - descarga reducida: 0...2 m^3 / h (p. ej., para observar meandros)
  - descarga hasta 70 m^3 / h (p. ej., para observar la formación de ripples)
- transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canales abiertos
  - formación de socavación
  - sedimentación
  - formación de ripples
- observación de la formación de meandros
- huellas de obstáculo fluvial en estructuras:
  - distintos pilares de puente
  - isla

Erosión y sedimentación en el cauce

HM 166
Fundamentos del transporte de sedimentos

Descripción

- **transporte de sedimentos en canales abiertos**
- **canal de flujo circulante con paredes laterales transparentes como canal abierto**
- **observación de la formación de ripples y huellas de obstáculo fluvial**

En muchos canales reales se produce transporte de sedimentos que influye en el comportamiento del flujo. El transporte de fondo o de depósitos arrastrados por la corriente suele ser el componente fundamental. El HM 166 demuestra con arena los fenómenos importantes del transporte de depósitos de fondo en el área cercana al fondo. La sección de ensayo transparente permite la observación de la formación de ripples en el cauce.

El HM 166 consta de un canal de flujo circulante, oval y transparente. Una depresión para recoger los sedimentos en el lateral del canal forma la sección de ensayo. El otro lateral contiene una rueda de álabes que genera el flujo. A la entrada de la sección de ensayo, un rectificador de flujo se encarga de que el flujo tenga pocas turbulencias.

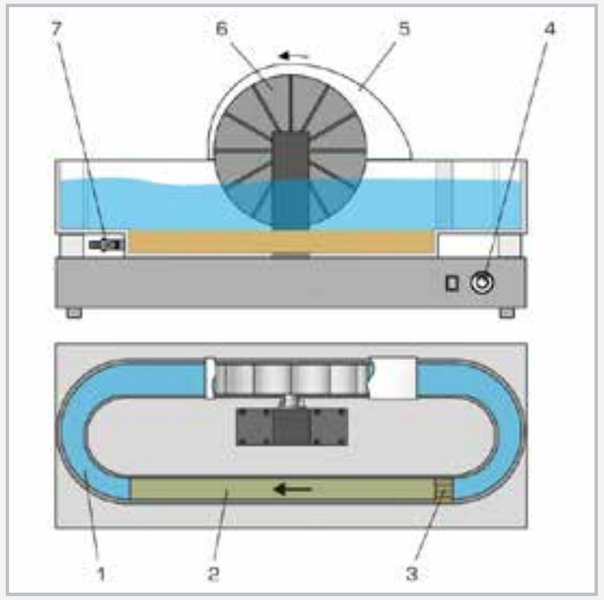
El número de revoluciones de la rueda de álabes se puede ajustar para estudiar la influencia de la velocidad de flujo en el transporte de fondo. Pueden generarse velocidades de flujo en el área de la descarga crítica (sin sedimento). La rueda de álabes es accionada a través de un electromotor y una transmisión por correa. El motor y el ajuste del número de revoluciones se encuentran bajo la placa de base y están protegidos contra las salpicaduras del agua.

La huella de obstáculo fluvial, es decir, la formación de socavación y la sedimentación en pilares de puente, es observada en tres modelos de pilar diferentes, que se instalan en la sección de ensayo.

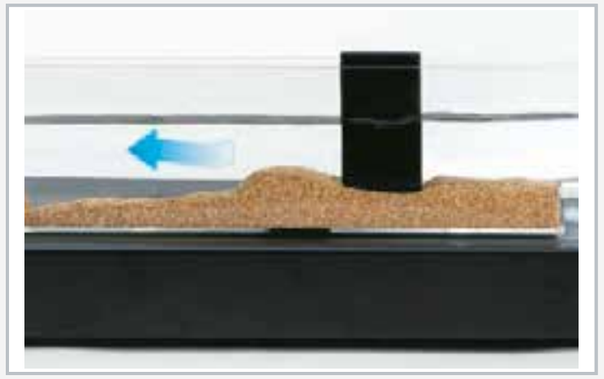
Contenido didáctico/ensayos

- observación de
  - condiciones iniciales para el transporte de depósitos arrastrados por la corriente
  - influencia de la velocidad de flujo en el transporte de fondo
  - formación de ripples y dunas en el cauce
  - huella de obstáculo fluvial de los pilares de puente (formación de socavación y sedimentación)
  - flujos secundarios en curvas de canales
- además con arena fina
  - observación de flujos de materias en suspensión
  - influencia del tamaño y densidad de los sedimentos en el transporte de sedimentos

HM 166
Fundamentos del transporte de sedimentos



1 canal de flujo, 2 sección de ensayo, 3 rectificador de flujo, 4 ajuste del número de revoluciones en la rueda de álabes, 5 protección contra salpicaduras, 6 rueda de álabes, 7 grifo de desagüe



Huella de obstáculo fluvial (formación de socavación y sedimentación) en el pilar

Especificación

[1] equipo de ensayo para el transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canales abiertos
[2] canal de flujo circulante, oval y transparente como canal abierto
[3] rueda de álabes regulada por el número de revoluciones para generar la velocidad de flujo
[4] sección de ensayo con depresión transparente para recoger los sedimentos
[5] flujo con pocas turbulencias a la entrada de la sección de ensayo mediante rectificador de flujo
[6] accionamiento de la rueda de álabes mediante electromotor y transmisión por correa
[7] 3 pilares de puente diferentes para observar huellas de obstáculo fluvial en el pilar

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud: 660mm
- sección transversal AnxAl: 50x200mm
- depresión: 50mm

Canal de flujo
- altura: 150mm
- ancho: 50...72mm

Rueda de álabes
- 12 álabes
- Ø 330mm
- número de revoluciones en la rueda de álabes: 5,2...70min^{-1}

Rangos de medición
- velocidad de flujo: aprox. 0...1m/s

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1030x410x560mm
Peso: aprox. 42kg

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
3 pilares
1 arena (5kg, 1...2mm tamaño del grano)
1 juego de accesorios
1 material didáctico

HM 140
Transporte de sedimentos en canal abierto

Descripción

- **flujo en el canal inclinable con y sin transporte de depósitos arrastrados por la corriente**
- **descarga subcrítica y supercrítica**
- **formación de socavación y sedimentación a un pilar de puente o una compuerta plana deslizante**

El HM 140 usa arena como ejemplo para demostrar fenómenos importantes del transporte de fondo o de depósitos arrastrados por la corriente en el área cercana al fondo del canal. El flujo en el canal sin transporte de sedimentos también es posible. La descarga puede ser subcrítica o supercrítica.

El elemento básico del canal de ensayo HM 140 con circuito de agua cerrado es la sección de ensayo inclinable. Las paredes laterales de la sección de ensayo están hechas de vidrio templado, permitiendo una observación óptima de los ensayos. Todos los componentes que entran en contacto con el agua están hechos de materiales resistentes a la corrosión (acero fino, plástico reforzado por fibras de vidrio). El elemento de entrada está diseñado de modo que el flujo entre en la sección de ensayo con escasas turbulencias y los sedimentos no puedan fluir en dirección contraria. El depósito detrás de la salida de agua contiene una trampa de sedimentos para la arena gruesa.

Para producir una pendiente y ajustar un flujo uniforme con una profundidad de descarga constante, la inclinación del canal de ensayo se puede ajustar sin escalonamiento.

Además del transporte de depósitos arrastrados por la corriente en el canal abierto, en algunos mode-los también se observa la huella de obstáculo fluvial, es decir, formación de socavación y sedimentación en estructuras. Opcionalmente se puede instalar en la sección de ensayo un pilar redondeado o una compuerta plana deslizante.

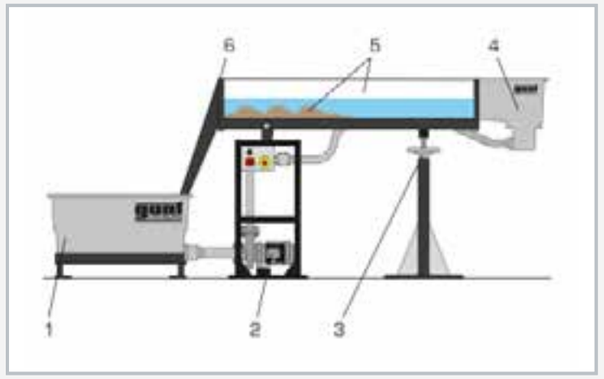
La medición de la descarga se realiza a través de un vertedero de aforo a la salida del agua y un indicador del nivel de agua.

Para visualizar las relaciones de flujo se puede inyectar producto de contraste.

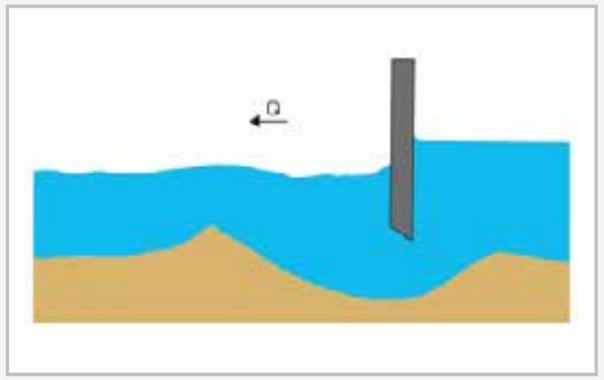
Contenido didáctico/ensayos

- transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canales abiertos
  - descarga subcrítica y supercrítica
  - formación de ripples, dunas y antidunas
- influencia de la velocidad de flujo en el transporte de depósitos arrastrados por la corriente
- huella de obstáculo fluvial (formación de socavación/sedimentación)
  - pilar de puente
  - compuerta plana deslizante
- visualización del flujo
- flujo en canal sin transporte de sedimentos
  - descarga subcrítica y supercrítica
  - estructura de control: compuerta plana deslizante
  - medición de la descarga en el vertedero de cresta delgada

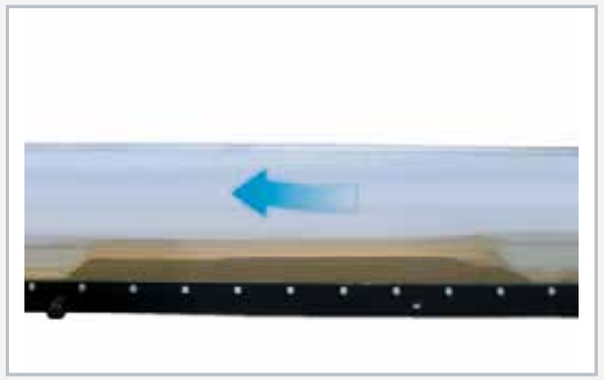
HM 140
Transporte de sedimentos en canal abierto



1 depósito de agua, 2 bomba, 3 ajuste de la inclinación, 4 elemento de entrada, 5 sección de ensayo, 6 salida de agua



Transporte de sedimentos en compuerta plana deslizante: formación de socavación bajo la compuerta, sedimentación aguas abajo



Transporte de sedimentos en canal abierto, observación de una forma de lecho producida con descarga subcrítica

Especificación

[1] estudio del flujo en canal abierto con y sin transporte de depósitos arrastrados por la corriente
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada, salida de agua y circuito de agua cerrado
[3] sección de ensayo inclinable sin escalonamiento
[4] paredes laterales de la sección de ensayo de vidrio templado para una observación óptima de los ensayos
[5] todas las superficies en contacto con el agua de materiales resistentes a la corrosión
[6] elemento de entrada optimizado para el flujo para una entrada con escasas turbulencias en la sección de ensayo
[7] circuito de agua cerrado con depósito de agua con trampa de sedimentos para arena gruesa, bomba y ajuste manual de caudal
[8] compuerta plana deslizante y pilar de puente para ensayos con y sin transporte de sedimentos
[9] visualización del flujo con producto de contraste
[10] medición de la descarga mediante vertedero de aforo a la salida de agua
[11] indicador del nivel de agua para medir la profundidad de descarga

Datos técnicos

Sección de ensayo
- longitud: 1600mm
- sección transversal de flujo AnxAl: 86x300mm
- ajuste de la inclinación: -1...+3%

Depósito: 280L
Bomba
- consumo de potencia: 1,02kW
- caudal máx.: 22,5m^3/h
- altura de elevación máx.: 13,7m

Elemento filtrante de la trampa de sedimentos
- luz de malla de tamiz: 0,3mm (49mesh)

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 3450x650x1200mm
Peso: aprox. 215kg

Necesario para el funcionamiento

sedimentos: arena (1...2mm tamaño del grano)

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 compuerta plana deslizante
1 pilar redondeado
1 vertedero de aforo
1 sistema para visualizar el flujo
1 indicador del nivel de agua
1 herramienta para alisar la arena
1 material didáctico

HM 168
Transporte de sedimentos en cursos de ríos

Descripción

- **transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canal abierto**
- **observación de la formación de meandros**
- **observación de huellas de obstáculo fluvial en estructuras**
- **dispositivo palpador móvil para medir el perfil en los sedimentos**

El HM 168 demuestra fenómenos importantes del transporte de fondo o de depósitos arrastrados por la corriente en el área cercana al fondo del canal en la descarga subcrítica. Las dimensiones grandes de la sección de ensayo permiten modelar cursos de río con y sin estructuras.

El elemento esencial del canal de ensayo HM 168 es la sección de ensayo de acero fino. En una superficie de 5x0,8m puede estudiarse el transporte de depósitos arrastrados por la corriente sobre una capa de sedimentos de hasta 10cm de alto. Los sedimentos se retienen a la entrada y a la salida de la sección de ensayo mediante vertederos de cresta delgada. El depósito detrás de la salida de agua contiene una trampa de sedimentos con elementos filtrantes para arena gruesa y media. El circuito de agua está cerrado.

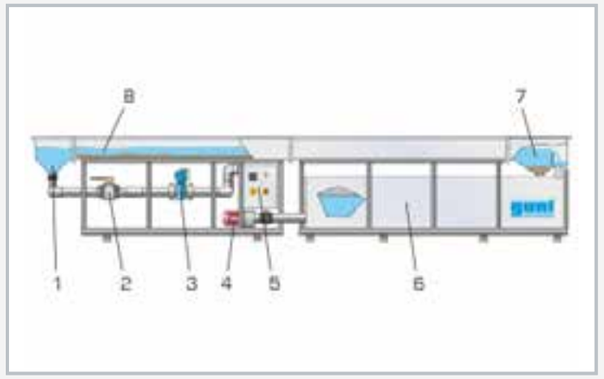
Además del transporte de depósitos arrastrados por la corriente en el canal abierto sin estructuras, en algunos modelos también se observa la huella de obstáculo fluvial, es decir, formación de socavación y sedimentación en estructuras. Opcionalmente se instala un pilar de puente, un vertedero de cresta delgada una isla en la sección de ensayo. Además también hay chapas de desviación y perfiles angulares disponibles para diseñar modelos propios.

La medición del perfil en los sedimentos a lo largo del fondo y la determinación de la profundidad de descarga en cada punto de la sección de ensayo se realizan mediante un portainstrumentos móvil y un dispositivo palpador. La descarga se registra a través de un caudalímetro electromagnético.

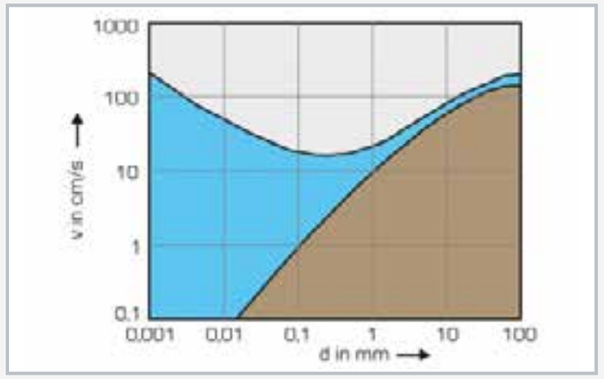
Contenido didáctico/ensayos

- transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canales abiertos
- influencia de la velocidad de flujo en el transporte de depósitos arrastrados por la corriente
- formación de ripples en el cauce
- observación de la formación de meandros
- huellas de obstáculo fluvial en estructuras
  - pilar de puente con perfil rectangular
  - pilar de puente redondeado
  - pilar de puente terminado en punta
  - isla (redonda o rectangular)

HM 168
Transporte de sedimentos en cursos de ríos



1 elemento de entrada, 2 válvula, 3 sensor de caudal, 4 bomba, 5 elementos de mando, 6 depósito de agua, 7 elemento de salida con trampa de sedimentos, 8 sección de ensayo



Curva de Hjulström: d tamaño del grano, v velocidad de flujo; gris: erosión, azul: transporte, marrón: sedimentación

Erosión del suelo y formación de socavación en la naturaleza

Especificación

[1] transporte de depósitos arrastrados por la corriente en canal abierto
[2] canal de ensayo con sección de ensayo, elemento de entrada, elemento de salida, circuito de agua cerrado, 1 juego de modelos
[3] circuito de agua cerrado con depósito de agua con trampa de sedimentos, bomba, ajuste regulado de caudal y caudalímetro electromagnético
[4] sección de ensayo provisto de ranuras para vertederos de cresta delgada para realizar diferentes condiciones de flujo
[5] medición de perfiles a lo largo del fondo con dispositivo palpador y portainstrumentos móvil
[6] elemento de entrada con vertedero de cresta delgada contra la recirculación de sedimentos
[7] modelos suministrados: 3 pilares de puente, 2 islas, juego de chapas de desviación (para ideas propias)
[8] trampa de sedimentos con elemento filtrante para arena
[9] sección de ensayo, elemento de entrada y elemento de salida de acero fino

Datos técnicos

Canal de ensayo
- acero fino
- dimensiones de la sección de ensayo: 5000x800x250mm

Bomba
- consumo de potencia: 2,2kW
- altura de elevación máx.: 11,5m
- caudal máx.: 74m³/h

Depósito de reserva, capacidad: aprox. 1000L
Elemento filtrante de la trampa de sedimentos
- luz de malla del tamiz: 0,3mm (49mesh)

Caudalímetro
- rango de medición: 80m³/h

400V, 50Hz, 3 fases
400V, 60Hz, 3 fases; 230V, 60Hz, 3 fases
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 6250x1000x1300mm
Peso sin carga: aprox. 680kg

Necesario para el funcionamiento

sedimentos: arena (1...2mm tamaño del grano), aprox. 1m³

Volumen de suministro

1 canal de ensayo
1 elemento filtrante para la trampa de sedimentos
3 pilares de puente
2 islas
8 chapas de desviación
12 piezas en T + 6x perfiles angulares
1 material didáctico

HM 142
Separación en tanques de sedimentación

2E

Descripción

- **tanque de sedimentación transparente para observar el proceso de separación**
- **iluminación para visualizar de manera óptima las condiciones de flujo**
- **posibilidad de utilizar placas lamelares en el tanque de sedimentación**

Las materias sólidas se separan de las suspensiones en los tanques de sedimentación, bajo la influencia de la fuerza de la gravedad. Para ello, la densidad de las partículas de la materia sólida debe ser superior a la del líquido. HM 142 permite examinar la separación de las materias sólidas de una suspensión en un tanque de sedimentación.

En primer lugar, en un depósito se coloca una suspensión concentrada de agua y la materia sólida que se va a separar. Una bomba transporta la suspensión concentrada al tanque de sedimentación. Antes de llegar al tanque de sedimentación la suspensión se mezcla con agua fresca. El agua bruta que se genera de esta manera entra en el tanque de sedimentación a través de un vertedero de entrada. Delante del vertedero de entrada hay un mecanismo de agitación. De esta manera se evita que las materias sólidas se sedimenten antes de entrar en el tanque de sedimentación. El agua depurada fluye en primer lugar por debajo de un muro de retención y a continuación por encima de un vertedero hacia la salida.

El vertedero situado en el lado de salida se puede regular en altura y permite modificar el nivel del agua en el tanque de sedimentación. El nivel del agua por encima del vertedero de entrada también se puede ajustar. Esto afecta a la velocidad de flujo por encima del vertedero de entrada.

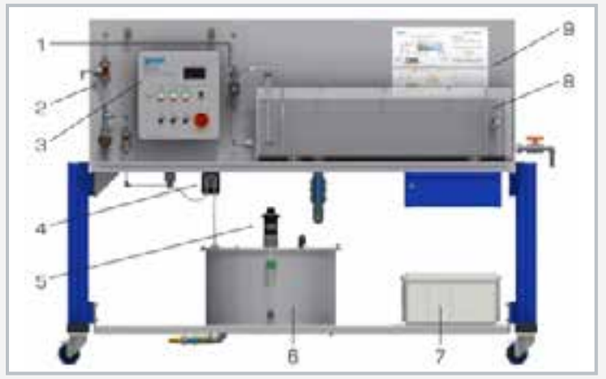
En la sección de ensayo se puede utilizar una unidad de placas lamelares. De esta manera se estudia la influencia de las placas lamelares sobre el proceso de separación. El flujo de paso de las placas lamelares transcurre de abajo hacia arriba. Por encima de las placas lamelares se encuentra un canal de salida. Las paredes laterales del canal de salida se han realizado en forma de vertedero en zigzag.

Los caudales de la suspensión concentrada y del agua fresca se ajustan mediante válvulas. De esta forma se puede ajustar la proporción de mezcla y, con ello, la concentración de materia sólida en la entrada del tanque de sedimentación. Un sensor de caudal electromagnético registra el caudal en la alimentación del tanque de sedimentación. El caudal y el número de revoluciones del mecanismo de agitación se muestran de manera digital. Para una mejor observación de las condiciones de flujo se ha instalado iluminación en el tanque de sedimentación.

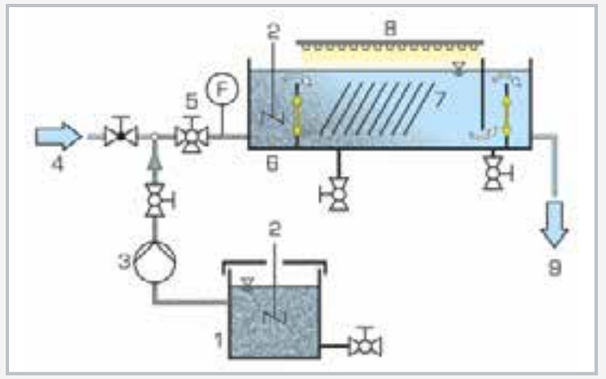
Contenido didáctico/ensayos

- principio fundamental para la separación de materias sólidas de suspensiones en un tanque de sedimentación
- determinación de la carga superficial hidráulica
- influencia de los siguientes parámetros sobre el proceso de separación:
  - la concentración de materia sólida
  - el caudal
  - la velocidad de flujo en la entrada
  - el nivel del agua en el tanque de sedimentación
- examen de las condiciones de flujo
- influencia de las placas lamelares sobre el proceso de sedimentación

HM 142
Separación en tanques de sedimentación



1 sensor de caudal electromagnético, 2 punto de toma de muestras, 3 caja de distribución, 4 bomba, 5 mecanismo de agitación, 6 depósito de suspensión, 7 caja de almacenaje, 8 tanque de sedimentación, 9 iluminación



1 depósito de suspensión, 2 mecanismo de agitación, 3 bomba, 4 agua clara, 5 punto de toma de muestra, 6 tanque de sedimentación, 7 placas lamelares (opcional), 8 iluminación, 9 salida; F caudal

Unidad de placas lamelares (puede ser opcionalmente utilizado en el tanque de sedimentación)

Especificación

[1] separación de suspensiones mediante sedimentación en el tanque de sedimentación
[2] tanque de sedimentación transparente con iluminación para la visualización de las condiciones de flujo
[3] mecanismo de agitación en la zona de entrada del tanque de sedimentación
[4] la unidad de placas lamelares se puede utilizar de manera opcional en el tanque de sedimentación
[5] depósito con bomba y mecanismo de agitación para la generación y transporte de una suspensión concentrada
[6] la mezcla de la suspensión concentrada con agua fresca produce el agua bruta a examinar
[7] ajuste de la concentración de la materia sólida mediante válvulas para caudal de agua fresca y suspensión
[8] el nivel del agua en el tanque de sedimentación y la velocidad de flujo se pueden ajustar en la entrada
[9] sensor de caudal electromagnético para agua bruta
[10] conos Imhoff para determinar las materias sedimentables de una muestra de agua

Datos técnicos

Tanque de sedimentación (sección de ensayo)
- LxAnxAl: 900x110x300mm
- capacidad de llenado máx: aprox. 25L
- material: plexiglás

Unidad de placas lamelares
- ángulo de inclinación de láminas: 60°
- número de de láminas: 16

Depósito de suspensión
- capacidad: aprox. 85L
- material: acero inoxidable

Bomba
- caudal máx.: 75L/h

Mecanismos de agitación (número de revoluciones máx.)
- depósito de suspensión: 600min^{-1}
- tanque de sedimentación: 330min^{-1}

Rangos de medición
- caudal: 30...600L/h

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 2200x790x1540mm
Peso: aprox. 220kg

Necesario para el funcionamiento

toma de agua, desagüe

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de accesorios
1 envase con materia sólida
1 material didáctico

Conocimientos básicos

Corriente de infiltración

En hidrología, la corriente de infiltración es el flujo de un fluido (agua) en capas del suelo permeables como, p. ej., arena. El fluido llena más o menos los poros de la capa del suelo no saturada de agua y se mueve hacia abajo a las capas inferiores, como resultado del efecto de la gravedad. Para que el agua de infiltración no se estanque, el suelo debe ser permeable.

La permeabilidad del suelo se describe con el coeficiente de permeabilidad k_f en m / s y depende del tamaño del grano y del espacio poroso útil. En suelos menos permeables puede estancarse el agua de infiltración temporalmente. Si el agua de infiltración se encuentra con una capa del suelo impermeable o una roca impermeable, no se produce filtración y el agua de infiltración se estanca permanentemente. Este tipo de acumulaciones de agua bajo tierra se denominan agua subterránea.

Hablamos de agua subterránea cuando el agua está disponible durante todo el año. Hablamos de agua acumulada cuando el agua está disponible parte del año, p. ej., después del deshielo o después de fuertes precipitaciones sobre capas del suelo comprimidas.

El agua subterránea es un bien natural que se puede utilizar como agua potable y agua medicinal. Además, representa una reserva importante en el ciclo completo del agua.

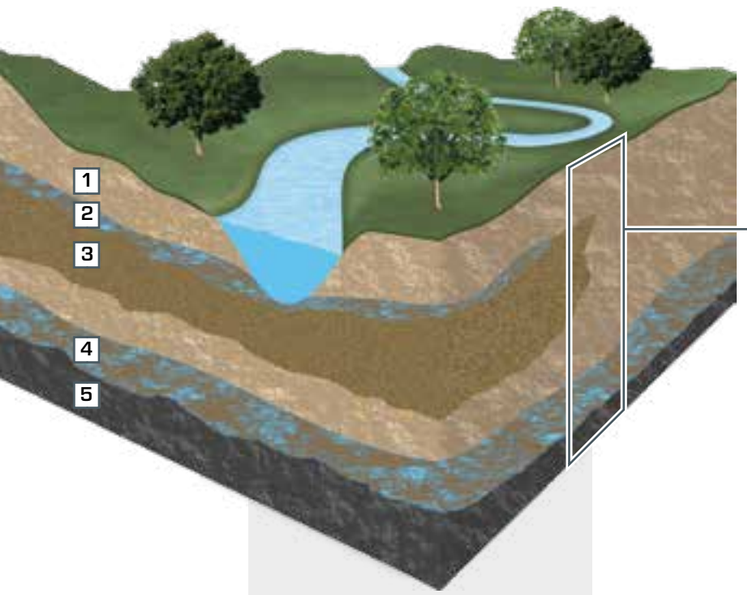
Efecto y aprovechamiento de corrientes de infiltración

El efecto de las corrientes de infiltración cuando fluyen a través de presas o alrededor de estructuras en el agua, desempeña un papel importante en la ingeniería civil. De este modo, p. ej., la presión hidrostática, que se forma en el agua acumulada, puede someter las estructuras a un gran esfuerzo, p. ej., el empuje en estructuras profundas (aparcamiento subterráneo).

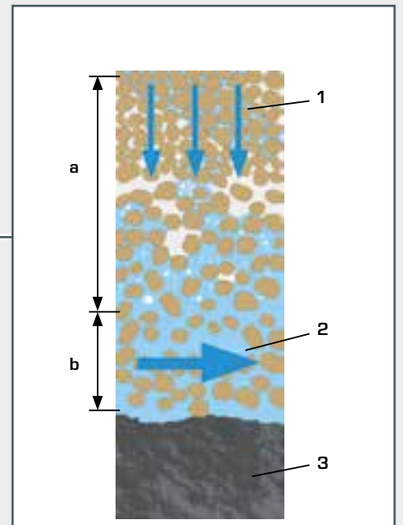
El flujo incidente de pozos o instalaciones de drenaje se describe también con las leyes físicas de las corrientes de infiltración.

Para proteger el agua subterránea se debe tener en cuenta las corrientes de infiltración y evitar la contaminación por actividades de construcción, fertilizantes, agentes químicos o aceites minerales.

En la ingeniería se utilizan los procesos del flujo, como se producen en las corrientes de infiltración, para la técnica de filtración. En este caso, para la limpieza o separación de medios se utiliza el fluido del flujo a través de un espacio poroso.

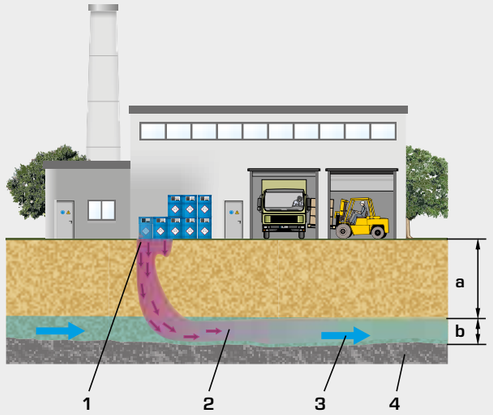


1 capa del suelo permeable,
2 agua acumulada,
3 capa del suelo menos permeable,
4 capa del suelo saturada de agua (agua subterránea),
5 capa del suelo impermeable (roca)



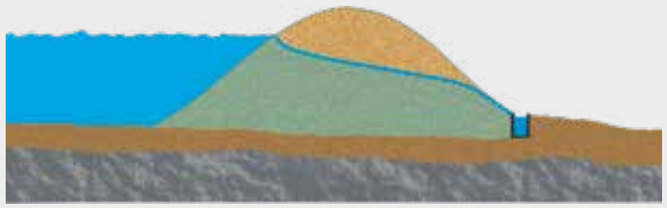
Distintos tipos de agua del suelo

a capa del suelo no saturada de agua, aireada,
b capa del suelo saturada de agua, todos los poro están rellenos con agua,
1 agua de infiltración,
2 agua subterránea,
3 capa del suelo impermeable (roca)

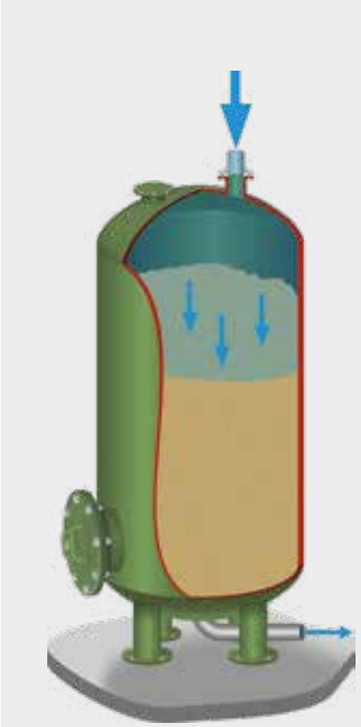


Consideración de corriente de infiltración en relación con protección del agua subterránea

a capa del suelo no saturada de agua, **b** capa del suelo saturada de agua,
1 entrada de contaminantes e infiltración,
2 penacho de contaminantes, **3** flujo de agua subterránea



Nivel freático en el flujo a través de presas



Corriente de infiltración en la técnica de filtración

Procesos de flujo en el suelo

Los procesos de flujo se producen en las capas del suelo saturadas de agua, el agua subterránea y el agua acumulada, así como por encima del agua subterránea, en el agua de infiltración.

La causa de los movimientos de agua en el suelo son diferencias de potencial. El agua siempre se mueve de puntos de mayor potencial, es decir, una energía potencial más alta, a puntos con un potencial menor. El movimiento de agua se realiza hasta que se alcanza un equilibrio entre los potenciales.

Precipitaciones, extracción del agua subterránea y evapotranspiración (la evaporación de la superficie libre así como la emisión de vapor de agua de las plantas) interrumpen el equilibrio potencial constantemente. El agua del suelo tiene raras veces un equilibrio estático. El movimiento de agua depende además de la permeabilidad del suelo atravesado por el flujo.

La permeabilidad se describe con el coeficiente de permeabilidad $\mathbf{k_f}$ en m/s y depende del tamaño del grano y del espacio poroso útil.

Coeficiente de permeabilidad k_f en m/s áreas de permeabilidad según la norma DIN 18130

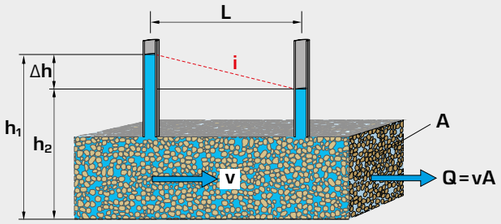
k_f en m/s	Capa del suelo
$< 10^{-8}$	muy poco permeable
10^{-8} a 10^{-6}	escasamente permeable
$> 10^{-6}$ a 10^{-4}	permeable
$> 10^{-4}$ a 10^{-2}	muy permeable
$> 10^{-2}$	extremadamente permeable

Determinación matemática de los procesos de flujo

La determinación exacta de los procesos de flujo resulta difícil debido a la inhomogeneidad del suelo atravesado por el flujo. Para el cálculo de los procesos de flujo se utilizan, por tanto, condiciones ideales. Para la mayoría de los problemas que surgen, la ley de Darcy es lo suficientemente precisa.

De acuerdo con Darcy, la velocidad de filtración **v** es proporcional a la energía específica **Δh** que se agota a lo largo de la longitud **L**. La variable adimensional **Δh/L** se denomina gradiente hidráulico **i**. La ley de filtración según Darcy se expresa:

$$v = k_f \frac{\Delta h}{L} = k_f i$$



h_1, h_2 niveles de agua, **L** longitud atravesada por el flujo, **i** gradiente hidráulico, **v** velocidad de filtración, **Q** caudal, **A** superficie de sección transversal atravesada por el flujo

Velocidad de filtración en función de la capacidad del suelo en suelos no saturados de agua

v	Capa del suelo	Tamaño del grano
5 m/año	grava	2 ... 63 mm
2...4 m/año	arena	0,063 ... 2 mm
1 m/año	arcilla gruesa	0,002 ... 0,063 mm
algunos cm/año	arcilla	< 0,002 mm

Para aplicar la ley de Darcy, se utiliza un subsuelo homogéneo para toda el área de flujo, en la que principalmente hay un flujo laminar con número de Reynolds 1...10.

$$Re = \frac{d\,v}{\nu_{fl}} < 10$$

Re número de Reynolds, **d** diámetro del grano medio, **v** velocidad, ν_{fl} viscosidad cinemática del fluido

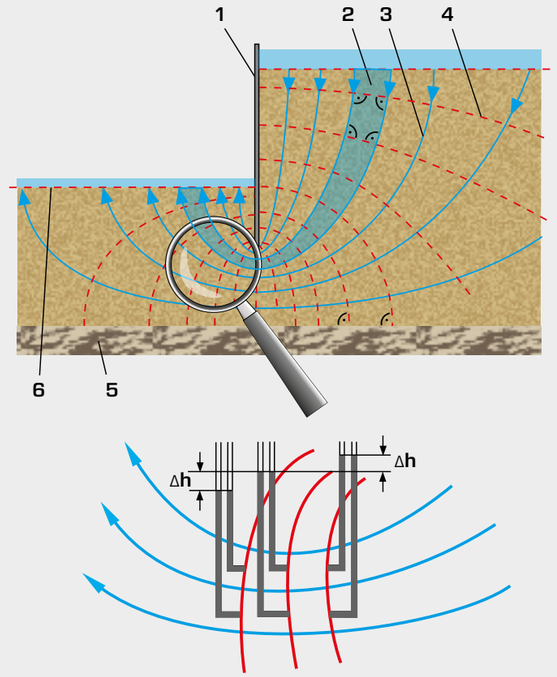
Determinación gráfica de los procesos de flujo

Se puede seguir gráficamente los análisis de la corriente de infiltración a través de una presa, una excavación o bajo un vertedero, así como la determinación del flujo de agua subterránea en sumideros y fuentes con ayuda de una red de flujo, también llamada red potencial. Como fundamento para la determinación de la red de flujo se utiliza igualmente la ley de Darcy. En la evaluación se determinan el caudal de filtración, la distribución de presión en la estructura considerada u otras consideraciones de seguridad.

Estructura de una red de flujo

Las líneas de corriente en la red de flujo se dibujan bidimensionalmente. Las líneas de potencial unen los puntos con el mismo potencial, en este caso los mismos niveles de agua. Las líneas de corriente transcurren perpendicularmente a las líneas de potencial, ya que el agua fluye por el camino más corto del potencial más alto al más bajo.

Flujo de agua subterránea alrededor de una pared de tablestacas



1 pared de tablestacas,
2 hilo de corriente,
3 línea de corriente,
4 línea de potencial,
5 capa del suelo impermeable,
6 base de la excavación

Análisis de la corriente de infiltración

líneas de corriente,
líneas de potencial,
Δh diferencia de los niveles de agua en las líneas de potencial

Las corrientes de infiltración no se pueden observar directamente porque se encuentran en medios porosos no visibles. Todos estos procesos solo pueden "visualizarse" en modelos de laboratorio o en instrumentos de medición correspondientes.

Los equipos de ensayo GUNT en este capítulo tratan tanto los procesos de infiltración como también los gradientes hidráulicos de las aguas subterráneas. En los problemas prácticos se estudia y visualiza el impacto de pozos y fosos, así como el efecto en estructuras como muros de contención o paredes de tablestacas.

Equipos de ensayo
Corriente de infiltración, flujo de agua subterránea y de filtración

Ensayos fundamentales

HM 152
Flujo potencial

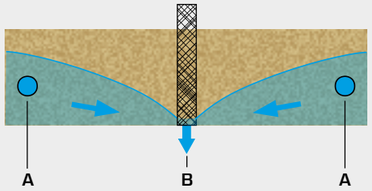
- simulación de flujo potencial bidimensional, libre de fricción en una célula Hele-Shaw
- visualización de líneas de corriente con un contraste
- influencia de fuentes y sumideros en las líneas de corriente

Imagen de flujo con una fuente

Imagen de flujo con un sumidero

HM 167
Flujos de agua subterránea

- gradientes hidráulicos de las aguas subterráneas con una o varias salidas
- los distintos modelos permiten el estudio de entradas de agua en diques y excavaciones
- descenso del nivel de agua subterránea en excavaciones

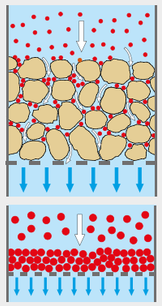


Gradiente hidráulico de las aguas subterráneas en el lecho de arena con una salida

A entrada de agua, **B** salida de agua, **flechas azules** dirección del flujo

CE 116
Filtración de torta y de lecho profundo

- corriente de infiltración en un filtro
- distintas suspensiones y capas de medio filtrante
- aplicación de la ley de Darcy para determinar la velocidad de filtración

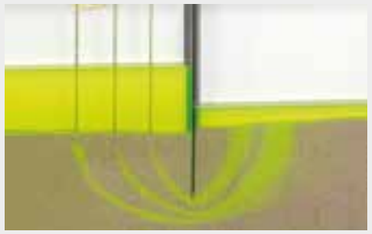


Filtración profunda

Filtración por torta

HM 169
Visualización de corrientes de infiltración

- visualización de líneas de corriente en un modelo de suelo prácticamente bidimensional, tinta como contraste
- determinación de redes de flujo en medios permeables
- determinación de los desarrollos de presión en la cimentación y el muro de contención

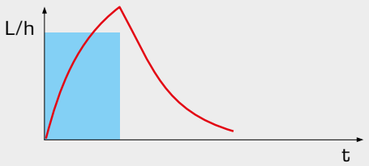


Red de flujo bajo una pared de tablestacas

Relación entre precipitaciones, infiltración y flujo de agua subterránea

HM 141
Hidrogramas después de la precipitación

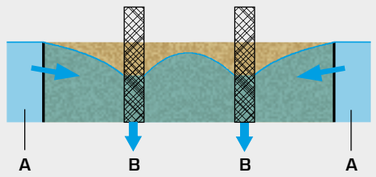
- relación entre precipitaciones y descarga
- ajuste de tiempo de precipitación, tiempo de retardo y tiempo de medición mediante relojes conmutadores separados
- influencia de depósito de retención de precipitaciones



hidrograma,
precipitación

HM 165
Estudios hidrológicos

- relación entre precipitaciones y descarga
- flujos de infiltración y subterráneos en el suelo
- alimentación de agua y drenaje superficial (agua subterránea)
- descenso del nivel del agua subterránea via pozo y drenaje

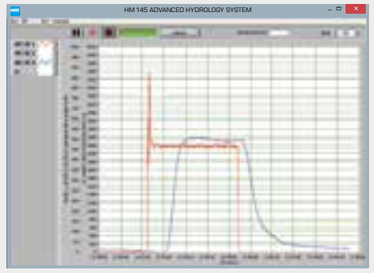


Gradiente hidráulico de las aguas subterráneas en el lecho de arena con dos pozos

A entrada de agua, **B** salida de agua a través de pozos, **flechas azules** dirección del flujo

HM 145
Estudios hidrológicos ampliados

- relación entre precipitaciones y descarga
- flujos de infiltración y subterráneos en el suelo
- alimentación de agua y drenaje superficial y puntual (agua subterránea y aguas corrientes)
- descenso del nivel del agua subterránea via pozo y drenaje
- transporte de sedimentos y obstáculos en aguas corrientes
- software GUNT para la adquisición de datos de las alimentación de agua y drenaje de agua así como de la cantidad de sedimentos en función del tiempo



Captura de pantalla del software

drenaje con lluvia constante con saturación del suelo
precipitaciones,
drenaje

HM 152
Flujo potencial

Descripción

- **flujo potencial bidimensional, libre de fricción**
- **visualización de líneas de corriente**
- **flujo alrededor de distintos modelos: cuerpos de resistencia y modificaciones de la sección transversal**
- **modelado del flujo alrededor de cuerpos a través de la superposición del flujo paralelo con fuentes y sumideros**
- **fuentes y sumideros, individuales o en combinación**

El flujo laminar bidimensional en el HM 152 es una buena aproximación al flujo de fluidos ideales, el llamado flujo potencial. Todos los sistemas físicos, que se describen con la ecuación de Laplace, se pueden demostrar con el flujo potencial. Entre ellos encontramos: flujos de corriente y térmicos, así como flujo magnético.

El elemento central del banco de ensayos HM 152 es una célula Hele-Shaw clásica con tomas de agua adicionales para fuentes y sumideros. El flujo laminar bidimensional se realiza dejando fluir agua con poca velocidad a través de una rendija estrecha entre dos placas de vidrio colocadas entre sí en paralelo.

El flujo paralelo creado de esta manera está libre de vórtices y se puede contemplar como un flujo potencial. Por medio de ocho tomas de agua, que se encuentran en la placa de vidrio inferior, se generan fuentes y sumideros. Con ayuda de un producto de contraste inyectado (tinta) se pueden observar claramente las líneas de corriente en la placa de vidrio reticulada.

Con los ensayos se demuestra el flujo alrededor de cuerpos con ayuda de modelos que se colocan en el flujo paralelo. El volumen de suministro incluye modelos intercambiables, p.ej. un cilindro, un perfil de álabe director o un contorno de tobera.

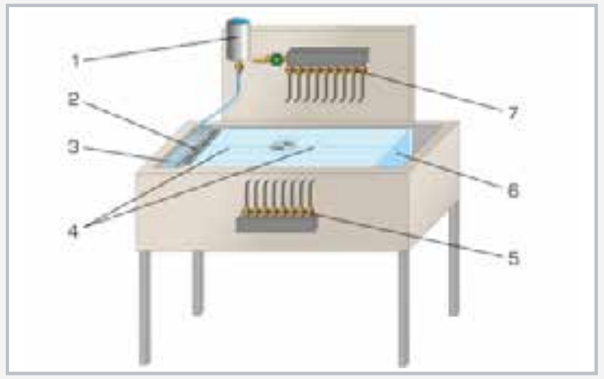
Para un modelado del flujo alrededor de cuerpos sin modelos, pueden superponerse como se desee el flujo paralelo, las fuentes, sumideros y dipolos. La formación de semicuerpos de Rankine puede representarse de este modo.

El caudal de agua y la cantidad del producto de contraste inyectado se pueden ajustar por medio de válvulas. Las tomas de agua también son activadas mediante válvulas y se pueden combinar libremente.

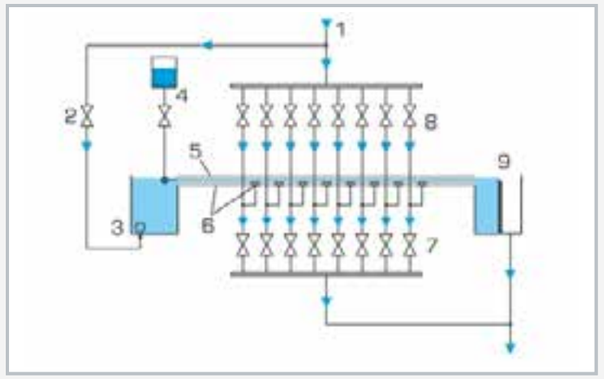
Contenido didáctico/ensayos

- visualización de líneas de corriente durante
  - flujo alrededor de cuerpos de resistencia: cilindro, perfil de álabe, cuadrado, rectángulo
  - flujo a través de modelos: contorno de tobera, estrechamiento y/o ensanche discontinuo
  - separación del flujo, flujo con una desviación de 90°
- modelado del flujo alrededor de cuerpos a través de la superposición del flujo paralelo con fuentes y sumideros:
  - formación de semicuerpos de Rankine
  - demostración de un dipolo
- analogía entre flujo potencial y otros sistemas físicos, que se describen con la ecuación de Laplace

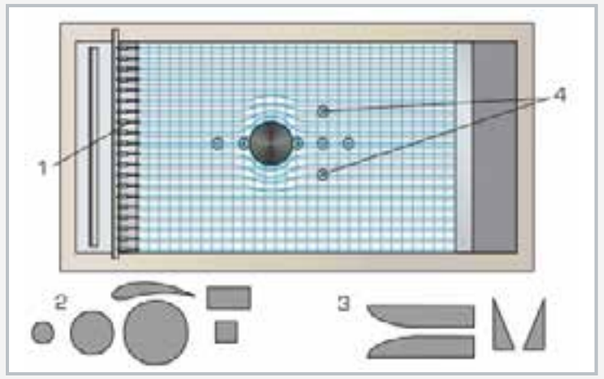
HM 152
Flujo potencial



1 producto de contraste, 2 toberas para la inyección del producto de contraste, 3 entrada de agua, 4 célula Hele-Shaw con fuentes/sumideros, 5 válvulas para sumideros, 6 salida de agua, 7 válvulas para fuentes



1 entrada de agua, 2 válvula, ajuste de la velocidad de flujo, 3 depósito, 4 producto de contraste, 5 placa de vidrio superior, 6 placa de vidrio inferior con tomas de agua (fuentes/sumideros), 7 válvulas para sumideros, 8 válvulas para fuentes, 9 salida de agua



Flujo alrededor de un cilindro: 1 inyección del producto de contraste, 2 cuerpo de resistencia, 3 modelos para modificaciones de la sección transversal, 4 fuentes/sumideros distribuidas en forma de cruz

Especificación

[1] demostración de flujo potencial con una célula Hele-Shaw y visualización de líneas de corriente
[2] flujo alrededor de modelos suministrados: cilindro, cuadrado, rectángulo, perfil de álabe director, diversos modelos para modificaciones de la sección transversal
[3] modelado del flujo alrededor de contornos sin modelos a través de la superposición del flujo paralelo con fuentes y sumideros
[4] agua como medio y tinta como producto de contraste
[5] célula Hele-Shaw con dos placas de vidrio colocadas entre sí en paralelo con una rendija estrecha
[6] placa de vidrio superior plegable para el intercambio de modelos
[7] placa de vidrio inferior con tomas de agua distribuidas en forma de cruz para la generación de fuentes/sumideros, libremente combinables
[8] reticulación de la placa de vidrio inferior para una óptima observación de las líneas de corriente
[9] velocidad de flujo, entrada y salida de agua en fuentes/sumideros, así como la dosificación del producto de contraste son ajustables mediante válvulas

Datos técnicos

2 placas de vidrio: LxAn: 910x585mm
- distancia entre las placas: 5mm
- placa de vidrio inferior con 8 tomas de agua para fuentes/sumideros

Modelos
- 6 cuerpos de resistencia
- 2 modificaciones de la sección transversal
- material: goma
- grosor 5mm

Inyección del producto de contraste (tinta)
- 19 toberas

Recipiente para el producto de contraste: 200mL

LxAnxAl: 1350x700x1380mm
Peso: aprox. 119kg

Necesario para el funcionamiento

toma de agua 300L/h, desagüe

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de modelos
1 tinta (1L)
1 material didáctico

HM 165
Estudios hidrológicos

2E

Descripción

- **relación entre precipitaciones y descarga**
- **flujos de infiltración y subterráneos en el suelo**
- **alimentación de agua y drenaje superficial**

En la ingeniería civil se realizan estudios hidrológicos en relación con el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de plantas hidráulicas y proyectos hidroeconómicos. Entre los temas principales se encuentran la infiltración y el flujo del agua en el suelo, así como la utilización de gradientes hidráulicos de las aguas subterráneas.

Con el HM 165 se estudian los flujos de infiltración y subterráneos después de las precipitaciones. Debido a la densidad y superficies de precipitación variables y a las distintas posibilidades de alimentación y drenaje del agua subterránea, es posible realizar una gran variedad de ensayos.

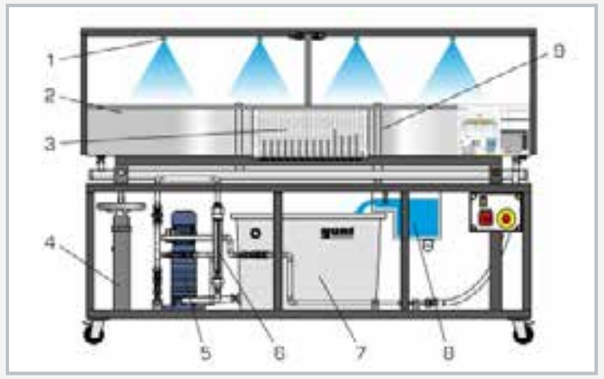
El HM 145 tiene un circuito de agua cerrado con depósito de reserva y bomba. El elemento principal es el depósito de ensayo de acero inoxidable, relleno de arena y con ajuste de la inclinación. Hay un dispositivo de precipitación para estudiar las precipitaciones. El dispositivo de precipitación consta de dos grupos con cuatro toberas cada uno. El agua puede entrar (agua subterránea) o salir (drenaje) a través de dos cámaras laterales. El depósito de ensayo está separado mediante tamices de las cámaras. Para el estudio de los descensos del nivel del agua subterránea dispone de dos pozos con tubos con ranura. Las alimentaciones de agua y los drenajes pueden abrirse o cerrarse y permiten realizar gran variedad de condiciones de ensayo.

En la base del depósito de ensayo hay conexiones de medición para adquirir los niveles de agua subterránea, que se indican en 19 tubos manométricos. La alimentación de agua es ajustada a través de una válvula y leída en un caudalímetro. El drenaje es determinado con ayuda de un vertedero de aforo.

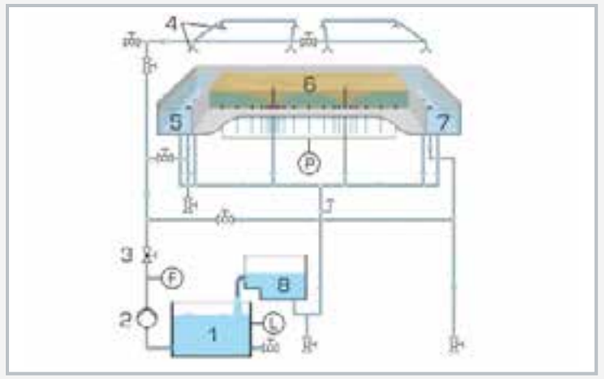
Contenido didáctico/ensayos

- estudio de procesos no estacionarios
  - repercusión de las precipitaciones de distinta duración en el descarga
  - capacidad de acumulación de un suelo
- estudio de procesos estacionarios
  - estudio del flujo de infiltración
  - repercusión de los pozos en el gradiente hidráulico de las aguas subterráneas

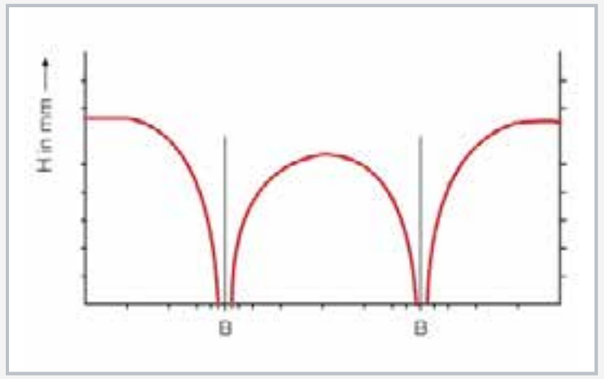
HM 165
Estudios hidrológicos



1 tobera del dispositivo de precipitación, 2 depósito de ensayo, 3 tubos manométricos, 4 ajuste de la inclinación, 5 bomba, 6 caudalímetro (alimentación), 7 depósito de reserva, 8 depósito de medición (drenaje), 9 pozo



1 depósito de reserva, 2 bomba, 3 válvula electromagnética, 4 tobera, 5 cámara, 6 depósito de ensayo, 7 cámara, 8 depósito de medición; L nivel, F caudal, P presión



Descenso del nivel del agua subterránea a través de 2 pozos; B pozos, H nivel de agua subterránea

Especificación

[1] estudio de las relaciones entre precipitaciones y descarga, comportamiento de acumulación de suelos, flujos de infiltración y flujos subterráneos
[2] circuito de agua cerrado
[3] depósito de ensayo inclinable de acero inoxidable con 19 conexiones de medición para la adquisición de los niveles de agua subterránea, protección contra salpicaduras transparente y tamices para separar las cámaras
[4] 2 pozos con tubos con ranura en el depósito de ensayo
[5] dispositivo de precipitación con 8 toberas, ajustables
[6] alimentaciones de agua y drenajes seleccionables individualmente
[7] depósito de medición transparente (caudal)
[8] instrumentos: tubos manométricos (agua subterránea), caudalímetro (alimentación) y un vertedero de aforo en el depósito de medición (drenaje)

Datos técnicos

Depósito de ensayo
- superficie: 2x 1m^2, profundidad: 0,2m
- relleno de arena máx.: 0,3m^3
- ajuste de la inclinación: -2,5...5%

Dispositivo de precipitación
- 8 toberas, conmutables en 2 grupos, cada uno con 4 toberas
- caudal por tobera: 1...4,7L/min, pulverización cuadrática

Bomba
- consumo de potencia: 0,55kW
- caudal máx.: 2000L/h

Depósito de reserva (acero inoxidable):
- contenido 180L

Rangos de medición
- presión: 19x 0...300mmCA
- caudal:
  - 1x 150...1700L/h (alimentación de agua)
  - 1x 0...1700L/h (drenaje de agua)

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 2400x1100x1800mm
Peso sin carga: aprox. 310kg

Necesario para el funcionamiento

arena (1...2mm tamaño del grano)

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 material didáctico

HM 167
Flujos de agua subterránea

2E

Descripción

- **estudio de flujos de agua subterránea**
- **demostración de descenso del nivel del agua subterránea**
- **estudio de excavaciones**

Los flujos de agua subterránea se tienen en cuenta en caso de riesgos de inundación utilizando fuentes de drenaje y el drenaje de lagos y pólders. Una comprensión de las leyes hidrológicas del flujo de agua subterránea ayuda en la construcción de estructuras fiables como, p.ej., excavaciones o sistemas de drenaje.

El HM 167 permite realizar estudios tridimensionales de flujos de agua subterránea. El banco de ensayos consta de un depósito relleno de arena. En el lecho de arena pueden instalarse distintos modelos.

El agua se introduce en el depósito a través de dos tubos con ranura horizontales, que pueden activarse por separado a través de válvulas. De este modo se pueden realizar distintas posibilidades de ensayo con agua subterránea fluyente. El estudio de distintos drenajes es posible mediante los dos pozos con tubos con ranura, que además se pueden activar individualmente a través de válvulas. Tres modelos permiten el estudio de diques, excavaciones y pozos.

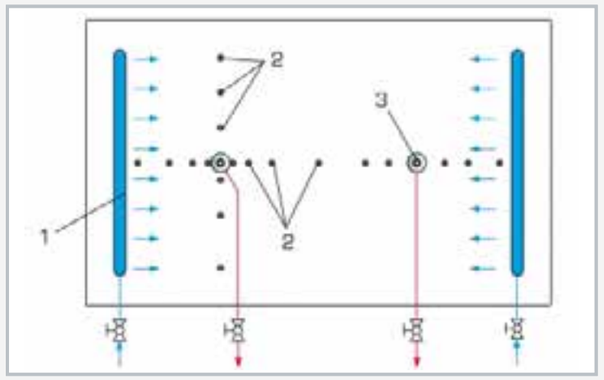
En el fondo del depósito hay conexiones de medición dispuestas ortogonalmente para registrar los niveles de agua subterránea. Los niveles de agua subterránea se indican en 19 tubos manométricos.

Contenido didáctico/ensayos

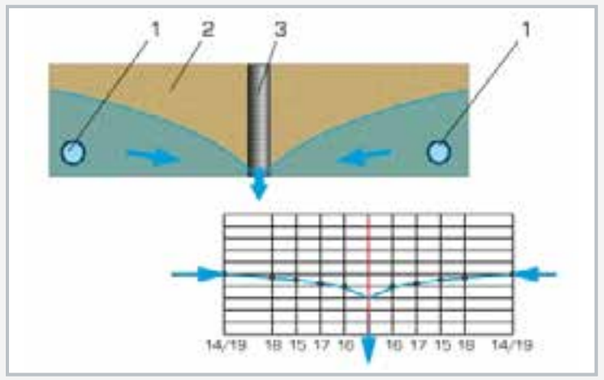
- determinación del nivel de agua subterránea
- descenso del nivel del agua subterránea por un o dos pozos
- flujo de agua subterránea en excavaciones
- estudios de agua subterránea en una carga concéntrica sobre el subsuelo

HM 167
Flujos de agua subterránea

1 depósito, 2 entrada de agua, 3 salida de agua, 4 modelos, 5 salida de agua, 6 entrada de agua, 7 tubos manométricos, 8 salida de agua a través de tubo con ranura (pozo)



Disposición de los puntos de medición y pozos
1 entrada de agua a través de tubo con ranura, 2 puntos de medición, 3 salida de agua a través de tubo con ranura (pozo); azul: entrada de agua, rojo: salida de agua



Gradiente hidráulico de las aguas subterráneas con un pozo: 1 entrada de agua a través de tubo con ranura, 2 lecho de arena, 3 tubo con ranura; diagrama: azul: gradiente hidráulico de las aguas subterráneas, rojo: pozo, 14-19 puntos de medición en el suelo del lecho de arena

Especificación

[1] estudio de flujos de agua subterránea
[2] depósito de acero fino como sección de ensayo para rellenar con arena gruesa
[3] entrada de agua a través de 2 tubos con ranura
[4] salida de agua a través de 2 pozos con tubos con ranura en la sección de ensayo
[5] ajuste por separado de las entradas y salidas de agua mediante válvulas
[6] 19 conexiones de medición con filtros para registrar los niveles de agua subterránea, dispuestas ortogonalmente en el fondo del depósito
[7] 2 modelos diferentes para excavaciones
[8] 1 modelo para estructura con fondo impermeable al agua
[9] indicación de los niveles de agua subterránea en los 19 tubos manométricos

Datos técnicos

Depósito
- material: acero fino
- capacidad, LxAnxAl: 1000x615x350mm
- 19 conexiones de medición en el fondo del depósito

Modelos de plástico
- excavación, LxAnxAl: 610x464x150mm
- excavación, LxAnxAl: 256x464x150mm
- estructura con fondo impermeable al agua
  - ▸ ØxAl: 180x150mm, tubería interior ØxAl: 40x330mm

Rangos de medición
- presión: 19x 0...300mmCA

LxAnxAl: 1340x900x1000mm
Peso: aprox. 125kg

Necesario para el funcionamiento

toma de agua, desagüe
arena (1...2mm tamaño del grano)

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
3 modelos
1 juego de mangueras
1 material didáctico

HM 169
Visualización de corrientes de infiltración

2E

Descripción

- **visualización de corrientes de infiltración y flujos de agua subterránea bidimensionales**
- **estudio de presión de agua en estructuras**
- **circuito de agua cerrado**

Un método ilustrativo en el estudio de corrientes de infiltración y flujos de agua subterránea es la visualización de líneas de corriente y su representación gráfica como red de flujo. La red de flujo ofrece información sobre la filtración de agua en presas y paredes de tablestacas.

Con el HM 169 se visualizan líneas de corriente en la corriente de infiltración y el flujo de agua subterránea en distintos modelos con ayuda de un producto de contraste. Además se representan los efectos de la presión de agua en distintas estructuras como desarrollos de presión.

El banco de ensayos consta de un depósito transparente relleno de arena. En el lecho de arena pueden instalarse distintos modelos para la demostración de estructuras típicas. La sección de ensayo está separado de las cámaras de entrada y de salida mediante tamices.

La entrada de agua es regulada a través de una válvula. Con ayuda de un producto de contraste pueden visualizarse líneas de corriente, como ocurren en la corriente de infiltración y el flujo de agua subterránea. Una ventana de vidrio templado permite una observación óptima de los ensayos.

Los distintos modelos permiten realizar múltiples ensayos, p.ej., desarrollo de presión en muros de contención o corriente de infiltración y flujo de agua subterránea bajo paredes de tablestacas. Los modelos “fundamento” y “muro de contención” están equipados con tuberías para representar las presiones.

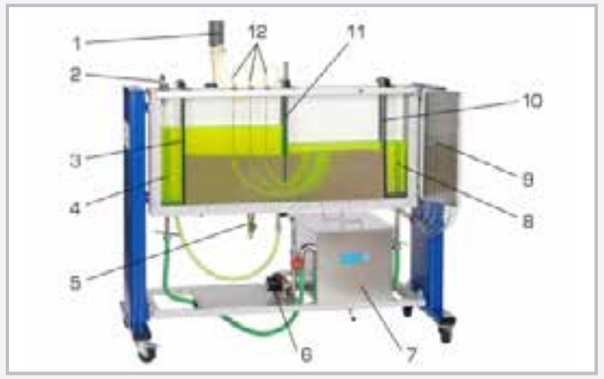
En la sección de ensayo hay conexiones de medición para registrar los niveles de agua subterránea. Los niveles de agua subterránea se indican en 14 tubos manométricos.

El HM 169 contiene un circuito de agua cerrado con un depósito de reserva y una bomba.

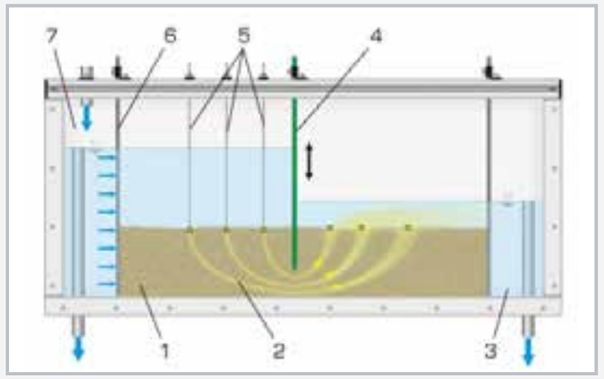
Contenido didáctico/ensayos

- determinación de redes de flujo en medios permeables
  - ▸ líneas de corriente bajo una pared de tablestacas
  - ▸ líneas de corriente a través de una presa de tierra
  - ▸ drenaje en un dique abierto
- determinación del desarrollo de presión en una cimentación
- determinación del desarrollo de presión en un muro de contención
- desarrollo de los niveles de agua subterránea en distintos modelos

HM 169
Visualización de corrientes de infiltración



1 depósito para producto de contraste, 2 entrada de agua, 3 tamiz, 4 rebosadero, 5 vaciado, 6 bomba, 7 depósito de reserva, 8 rebosadero, 9 panel con tubos manométricos, 10 tamiz, 11 modelo “pared de tablestacas”, 12 boquillas para inyectar el producto de contraste



Líneas de corriente bajo una pared de tablestacas
1 lecho de arena, 2 líneas de corriente, 3 cámara de salida, 4 pared de tablestacas ajustable en altura, 5 boquillas para inyectar el producto de contraste, 6 tamiz, 7 cámara de entrada

Modelos incluidos en el volumen de suministro: 1 modelo “muro de contención”, 2 modelo “pared de tablestacas”, 3 modelo “cimentación”

Especificación

[1] visualización de corrientes de infiltración bidimensionales y estudio de la presión de agua en distintos modelos
[2] circuito de agua cerrado
[3] fluoresceína como producto de contraste
[4] sección de ensayo con ventana de vidrio templado
[5] tamices para separar la sección de ensayo de las cámaras de entrada y de salida
[6] rebosaderos ajustables en altura en la entrada y la salida para ajustar los niveles de agua
[7] 14 conexiones de medición con filtros para registrar los niveles de agua subterránea en la sección de ensayo
[8] modelo “pared de tablestacas” para visualizar líneas de corriente
[9] modelos “muro de contención” y “cimentación” para demostrar la presión de agua
[10] instrumentos: tubos manométricos, tubos en los modelos “cimentación” y “muro de contención”

Datos técnicos

Sección de ensayo
■ área útil: LxAnxAl: 1480x104x630mm

Bomba
■ caudal máx.: 4m^3/h
■ altura de elevación máx.: 4m

Depósito para producto de contraste: 0,5L
Depósito de reserva, acero fino: 96L

Modelos
■ “pared de tablestacas”
■ “muro de contención”
■ “cimentación”

Rangos de medición
■ presión: 14x 20...650mmCA

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1900x800x1870mm
Peso: aprox. 230kg

Necesario para el funcionamiento

arena (1...2mm tamaño del grano)

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de modelos
1 producto de contraste, 1L
1 material didáctico

HM 145
Estudios hidrológicos ampliados

Descripción

- **flujos de infiltración y subterráneos en el suelo**
- **alimentación de agua y drenaje superficial y puntual (agua subterránea y aguas corrientes)**
- **transporte de sedimentos y obstáculos en aguas corrientes**

Con el HM 145 se estudian los flujos de infiltración y subterráneos después de las precipitaciones. Además, se representa el transporte de sedimentos en cursos de ríos en relación también con obstáculos del flujo. Debido a la densidad y superficies de precipitación variables y a las distintas posibilidades de alimentación y drenaje del agua subterránea, es posible realizar una gran variedad de ensayos.

El HM 145 tiene un circuito de agua cerrado con depósito de reserva y bomba. El elemento principal es el depósito de ensayo de acero inoxidable, relleno de arena y con ajuste de la inclinación. Para estudiar las precipitaciones, dispone también de un dispositivo de precipitación, que permite realizar precipitaciones de duración determinada con un temporizador. El dispositivo de precipitación consta de cuatro grupos con dos toberas cada uno. El agua puede alimentar (agua subterránea) o salir (drenaje) a través de dos cámaras laterales.

El depósito de ensayo está separado mediante tamices de las cámaras. Para el estudio de los descensos del nivel del agua subterránea dispone de dos pozos con tubos con ranura. A través de un vertedero estrecho a la alimentación y otro a la drenaje puede crearse el curso del río. También pueden crearse distintas alturas del agua. Las alimentaciones de agua y los drenajes pueden abrirse o cerrarse y permiten realizar gran variedad de condiciones de ensayo. Tres modelos distintos permiten también estudiar el flujo alrededor de los obstáculos con el correspondiente transporte de sedimentos en el cauce.

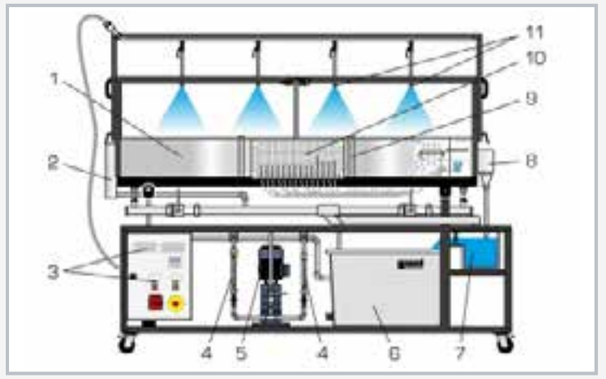
En la base del depósito de ensayo hay conexiones de medición para adquirir los niveles de agua subterránea, que se indican en 19 tubos manométricos. Dos caudalímetros con distintos rangos de medición indican la alimentación al depósito de ensayo. Un depósito de medición a la drenaje contiene un vertedero de aforo para determinar el nivel de agua y un sensor de fuerza para determinar la cantidad de sedimentos.

Los valores de medición se indican en el banco de ensayos y se pueden transmitir directamente a un ordenador a través de una interfaz USB y evaluar con ayuda del software suministrado.

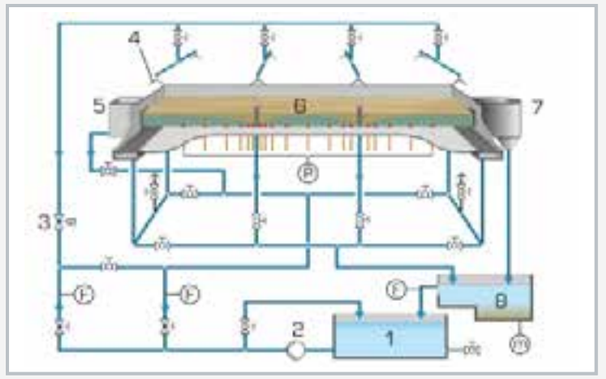
Contenido didáctico/ensayos

- estudio de procesos no estacionarios
  - repercusión de las precipitaciones de distinta duración en el descarga
  - capacidad de acumulación de un suelo
- estudio de procesos estacionarios
  - corriente de infiltración
  - repercusión de los pozos en el gradiente hidráulico de las aguas subterráneas
- comportamiento del flujo de ríos, obstáculos en el cauce, transporte de sedimentos en ríos

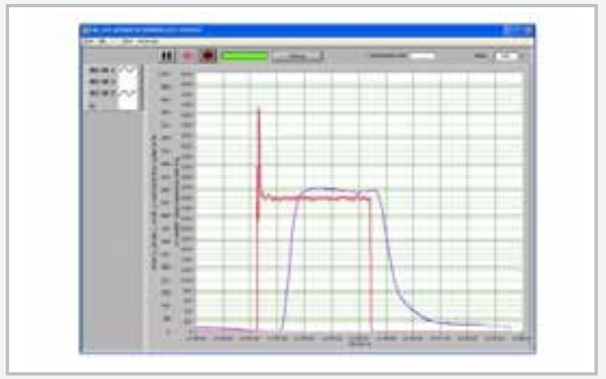
HM 145
Estudios hidrológicos ampliados



1 depósito de ensayo, 2 cámara, 3 elementos de indicación y mando, 4 caudalímetros (alimentación), 5 bomba, 6 depósito de reserva, 7 depósito de medición (drenaje), 8 cámara, 9 pozo, 10 tubos manométricos, 11 toberas del dispositivo de precipitación



1 depósito de reserva, 2 bomba, 3 válvula electromagnética con temporizador, 4 tobera, 5 cámara, 6 depósito de ensayo, 7 cámara, 8 depósito de medición; m masa, F caudal, P presión



Captura de pantalla del software: drenaje con lluvia constante con saturación del suelo: rojo: precipitaciones, azul: drenaje

Especificación

[1] estudio de las relaciones entre precipitaciones y descarga, comportamiento de acumulación de suelos, flujos de infiltración, flujos subterráneos y transporte de sedimentos
[2] circuito de agua cerrado
[3] depósito de ensayo inclinable de acero inoxidable con 19 conexiones de medición para la adquisición de los niveles de agua subterránea, protección contra salpicaduras transparente y tamices para separar las cámaras
[4] 2 pozos con tubos con ranura en el depósito
[5] dispositivo de precipitación con 8 toberas, ajustables
[6] tiempo de precipitación ajustable con temporizador
[7] alimentaciones de agua y drenajes seleccionables individualmente
[8] depósito de medición transparente (caudal) y sensor de fuerza (registro de la cantidad de sedimentos)
[9] 3 modelos de pilar de sostén: redondo, poligonal, ovalado
[10] instrumentos: tubos manométricos (agua subterránea), caudalímetros (2x a la alimentación) y un vertedero de aforo en el depósito de medición (1x a la drenaje)
[11] software GUNT para la adquisición de datos a través de USB en Windows 7, 8.1, 10

Datos técnicos

Depósito de ensayo, ajuste de la inclinación: -1...5%
- superficie: 2x1m², profundidad: 0,2m, relleno de arena máx.: 0,3m³

Dispositivo de precipitación
- 8 toberas, conmutables en 4 grupos, cada uno con 2 toberas
- caudal: 1...4,7L/min, pulverización cuadrática

Bomba
- consumo de potencia: 0,55kW
- caudal máx.: 1500L/h

Depósito de reserva (acero inoxidable): 220L

Rangos de medición
- presión: 19x 0...300mmCA
- caudal:
  - 0...1050L/h, 0...320L/h (alimentación de agua)
  - 0...1000L/h (drenaje de agua)
- masa de sedimentos: 0...5000g

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 2300x1100x1950mm
Peso sin carga: aprox. 350kg

Necesario para el funcionamiento

sedimentos: arena (tamaño del grano: 1...2mm)
PC con Windows recomendado

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de modelos
1 CD con software GUNT + cable USB
1 material didáctico

HM 141
Hidrogramas después de la precipitación

2E

Contenido didáctico/ensayos

- influencia de precipitaciones de distinta duración o intensidad en suelos de distinta saturación
- registro de hidrogramas después de precipitaciones
- capacidad de acumulación de suelos con distinta saturación
- comparación de drenaje natural y drenaje mediante tubería de drenaje
- influencia de depósitos de retención de precipitaciones en el hidrograma

Descripción

- **efecto de las precipitaciones en los suelos**
- **drenaje del suelo con tubería de drenaje o con cámara de salida con tamiz**
- **dibujo de hidrogramas**
- **influencia de depósitos de retención de precipitaciones en el hidrograma**
- **ajuste de tiempo de precipitación, tiempo de retardo y tiempo de medición mediante programadores separados**

Los hidrogramas son una importante herramienta para representar los datos hidrológicos como, p.ej., precipitaciones, niveles de agua subterránea o descargas.

Con el HM 141 se generan precipitaciones de duración e intensidad diferente. Después se estudia la capacidad de acumulación de suelos con distinta saturación. En base a los diversos métodos de drenaje, se demuestran las relaciones entre las precipitaciones y la infiltración.

El banco de ensayos contiene un depósito con un relleno de arena atravesado por agua. El agua se introduce en el depósito a través de un dispositivo de precipitación con dos toberas, que pueden ajustarse por separado a través de válvulas. Para estudiar los distintos drenajes, la salida de agua se realiza a través de una tubería de drenaje o a través de una cámara de salida, que está separada por un tamiz de la sección de ensayo.

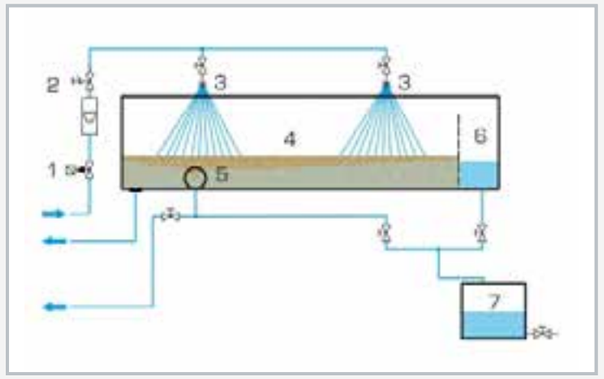
El agua de salida se distribuye con control de tiempo en 17 cámaras transparentes. De este modo se puede registrar un perfil temporal de la salida de agua. Los niveles de agua son medidos y se representan gráficamente en un hidrograma.

El retardo de la descarga por depósitos de retención puede demostrarse con ayuda de bandejas colectoras.

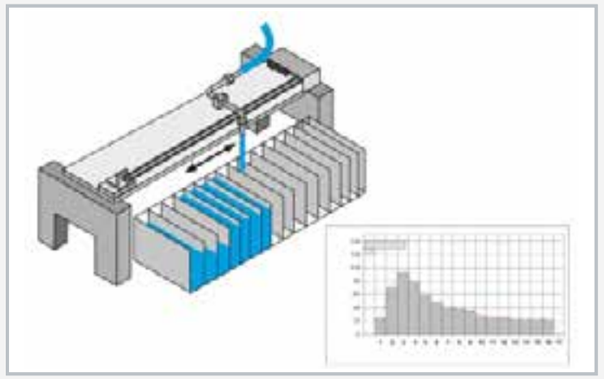
La entrada de agua es regulada a través de una válvula y es leída en un caudalímetro. Las salidas sincronizadas son ajustadas a través de programadores electrónicos.

HM 141
Hidrogramas después de la precipitación

1 tobera, 2 toberas de ajuste de caudal, 3 depósito de ensayo con arena, 4 caudalímetro, 5 válvula magnética, 6 entrada de agua, 7 depósito de medición con 17 cámaras, 8 salida de agua sobre carro deslizante, 9 programadores para tiempo de precipitación, tiempo de retardo y tiempo de medición



1 válvula magnética con programador, 2 caudalímetro, 3 tobera, 4 sección de ensayo con arena, 5 tubería de drenaje, 6 cámara de salida separable con tamiz, 7 depósito de medición



Salida de agua sobre carro deslizante y depósito de medición; el diagrama indica la descarga de agua en función del tiempo

Especificación

[1] estudio del efecto de precipitaciones en suelos
[2] depósito de ensayo de acero fino con protección contra salpicaduras transparente
[3] dispositivo de precipitación con 2 toberas, ajuste de la superficie y cantidad de precipitación
[4] ajuste del tiempo de precipitación mediante válvula magnética con programador
[5] distribución en 17 cámaras mediante programador
[6] el carro desplazable distribuye el agua saliente en las 17 cámaras del depósito de medición
[7] salida de agua a través de una cámara de salida separable con tamiz o a través de una tubería de drenaje
[8] conexión de descarga separada para las tuberías
[9] bandejas colectoras como depósitos de retención de precipitaciones
[10] rotámetro (entrada), indicación del tiempo de precipitación, tiempo de retardo y tiempo de medición

Datos técnicos

Sección de ensayo
- volumen: 1300x600x200mm
- altura de arena máx.: 185mm

Dispositivo de precipitación
- 2 toberas, ajustables individualmente
- caudal: 1...6,2L/min, pulverización cuadrática
- precipitaciones: máx. 320L/h

Depósito de medición con 17 cámaras
- volumen: 17x0,9L

Programadores
- precipitaciones: máx. 99min59s
- tiempo de retardo hasta el comienzo de la medición: máx. 99min59s
- tiempo de medición por cámara: máx. 99min59s

4 bandejas colectoras: 305x215x55mm
regla graduada de acero: 200mm

Rangos de medición
- caudal: 30...320L/h

230V, 50Hz, 1 fase
230V, 60Hz, 1 fase; 120V, 60Hz, 1 fase
UL/CSA opcional
LxAnxAl: 1600x1000x1475mm
Peso: aprox. 190kg

Necesario para el funcionamiento

toma de agua, desagüe
arena (tamaño del grano: 1...2mm)

Volumen de suministro

1 banco de ensayos
1 juego de accesorios
1 material didáctico

CE 116
Filtración de torta y de lecho profundo

Contenido didáctico/ensayos

- fundamentos de la filtración: ecuación de Darcy
- filtración de lecho profundo con diferentes lechos y suspensiones
- filtración de torta con diferentes suspensiones
- determinación de los parámetros característicos de la filtración

Especificación

[1] fundamentos de la filtración de torta y de la filtración de lecho Profundo
[2] elemento filtrante con fondo sinterizado, para la retención de las partículas
[3] medición de la pérdida de presión con dos tubos manométricos
[4] embudo, de vidrio DURAN y de altura variable, para el llenado
[5] caudalímetro con válvula de aguja para ajustar el caudal

Datos técnicos

Elemento filtrante
- altura del espacio de filtración: 85mm
- Ø interior: aprox. 37mm
- sección: aprox. 11cm²
- material del tubo: vidrio DURAN

Medio filtrante, filtro sinterizado
SIKA 100
- diámetro de poro: 100µm
- espesor: 2mm
- material: metal sinterizado

Rangos de medición
- caudal: 40...360mL/min
- presión: 2x 0...500mmCA
- temperatura: -10...100°C
- jarra graduada
  - 1x 1000mL, graduación: 10mL
  - 1x 100mL, graduación: 2mL

LxAnxAl: 450x410x1040mm
Peso: aprox. 30kg

Necesario para el funcionamiento

desagüe

Volumen de suministro

1 equipo de ensayo
2 jarras graduadas
1 cronómetro
1 termómetro
1 arena (1kg; 1...2mm)
1 envase con tierra de diatomeas (2kg)
1 material didáctico

Descripción

- **filtración de torta y filtración de lecho profundo con diferentes suspensiones y lechos**

Con CE 116 se puede observar y estudiar los procesos de la filtración de lecho profundo y la filtración de torta. La suspensión (agua y tierra de diatomeas como sustancia sólida) entra en el elemento filtrante por la parte superior, utilizando un embudo. En el elemento filtrante retiene las partículas sólidas.

El filtrado pasa por el caudalímetro se evacúa al la salida. El elemento filtrante contiene un medio poroso en su parte inferior. En el caso de la filtración de torta, el medio filtrante sirve de base para la formación de la torta filtrante. En la filtración clarificadora, el medio filtrante sustenta el lecho (capa de medio filtrante; grava). Dos tubos manométricos miden la pérdida de presión producida.

Se recomienda la balanza analítica CE 116.01 para medir la cantidad de filtrado.

Planificación conceptual y de laboratorio de principio a fin

¿Está planificando un nuevo laboratorio?

¿Una nueva aula?

¿Una completa facultad?

¿Desea modernizar?

¡Entonces benefíciese de nuestros conocimientos y nuestra experiencia! Nuestros ingenieros planifican laboratorios completos con todo el equipamiento incluido. Nos ocupamos de sus ideas individuales y tomamos en consideración todo el entorno local específico:

- **dibujos de la sala**
- **conexiones de alimentación**
- **listas de equipamiento**
- **descripción de prestaciones, etc.**

En caso de preguntas, nuestro servicio externo o servicio de atención al cliente le ayudará con mucho gusto.

Todo el programa GUNT – equipos para la educación en ingeniería

1 Mecánica y diseño mecánico

- estática
- resistencia de materiales
- dinámica
- dinámica de máquinas
- diseño mecánico
- ensayo de materiales

2 Mecatrónica

- dibujo técnico
- modelos seccionados
- metrología
- elementos de máquinas
- tecnología de fabricación
- procesos de montaje
- mantenimiento
- diagnóstico de máquinas
- automatización e ingeniería de control de procesos

3 Ingeniería térmica

- fundamentos de la termodinámica
- aplicaciones termodinámicas en la ingeniería de suministro
- energías renovables
- máquinas fluidomecánicas térmicas
- refrigeración e ingeniería climática

4 Mecánica de fluidos

- flujos estacionarios
- flujos no estacionarios
- flujo alrededor de cuerpos
- máquinas fluidomecánicas
- elementos de sistemas de tuberías y de ingeniería de plantas
- ingeniería hidráulica

5 Ingeniería de procesos

- ingeniería de las operaciones básicas mecánicas
- ingeniería de procesos térmicos
- ingeniería de procesos químicos
- ingeniería de procesos biológicos
- tratamiento de aguas

2E Energy & environment

Energy

- energía solar
- energía hidráulica y energía marina
- energía eólica
- biomasa
- energía geotermia
- sistemas de energía
- eficiencia energética en edificaciones

Environment

- agua
- aire
- suelo
- residuos

Planificación y asesoramiento · Servico técnico
Puesta en servicio y formación

Índice conocimientos básicos flujo en canales abiertos

Palabra clave	Página
A	
abertura de compuerta	93
afirmado del cauce	86
aguas poco profundas	100
aguas profundas	100
aliviadero	88, 92
aliviadero de crecidas	87, 89, 92
altura	84, 86, 87, 88, 90, 91, 97
altura de la ola negativa	82
altura de la ola positiva	82
altura de la presión	74, 75, 76, 96
altura de velocidad	74, 75, 76
altura del vertedero	84, 86, 90, 91, 97
altura geodésica	74
anchura del canal	73
área de caudal	73
B	
base del canal	73, 74, 84, 85, 99
Bernoulli, ecuación	75, 76
bloque de rápida	85
C	
caída en forma de salto de esquí	84
caída escalonada	84
caída hidrodinámica	88, 89
caida libre	86, 88, 90, 97
caída sobre cresta delgada	88, 90, 97
cálculo de la descarga	88, 90, 96, 97
calle de vórtices de Karman	98
canal de Venturi	96
canal para aforar	96
canal Parshall	96
canal rectangular	74, 76, 80, 95
canal trapezoidal	96
capacidad de descarga	92
característica de rugosidad	73, 74, 75, 76, 99
chorro sumergido	86, 88, 90, 97
Cipoletti	97
coeficiente de descarga	88, 93, 97
compuerta	82, 86, 93
compuerta de segmento	93
compuerta plana deslizante	93
condición de la caída	86, 88
conservación de la energía	75
consideración de energía especifica	75, 76
constricción de la sección transversal	95
contracción del chorro	93
control de la descarga	93, 94
cresta de la ola	100
cresta del vertedero	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92
cuenco amortiguador	84, 85, 87, 99
cuerpo de retención	86, 87, 92
cuerpo del vertedero	84, 87, 91, 92
curva de descarga	96

Palabra clave	Página
D	
Darcy-Weisbach	74
deflector	92
descarga corriente	72
descarga crítica	72, 76, 79, 80, 86
descarga de cálculo	87, 89
descarga de presión	92
descarga estacionaria	76
descarga lente	72
descarga libre	90, 93, 96, 97
descarga normal	74, 75, 95
descarga proyectada	87
descarga subcrítica	72, 79, 80, 95
descarga sumergida	86, 90, 93
descarga súpercrítica	72, 79, 80, 84, 95
descarga uniforme	72, 74, 91
descarga variada	72, 76
descarga, cálculo	88, 90, 96, 97
descarga, tipo	94
descenso del nivel	82
descenso del nivel por toma de agua	82
descenso del nivel río abajo	82
diagrama de energía específica	76, 77, 78, 79, 80
diagrama de fuerza específica	77, 78
disipación de energía	84, 85
E	
ecuación de Bernoulli	75, 76
ecuación de continuidad	75, 76, 82, 93
ecuación de flujo	74
ecuación de Poleni	88, 90, 97
efecto de las olas	100
energía específica	74, 75, 76, 77, 78, 79, 95
erosión de la base	84
estructura de control	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94
estructura de control fija	86, 87, 88, 89, 92
estructura de control móvil	86, 93
estructura de cruce	94
estructura del fondo	99

Palabra clave	Página
F	
flujo, tipo	76, 80
forma de la sección transversal	74
formación de dunas	99
formación de olas	100
formación de ripples	99
formación de socavación	85, 99
frecuencia de separación del vórtice	98
Froude, número	79, 80, 81, 85
fuerza compresora estática	77
fuerza de impulso dinámica	77
fuerza específica	77, 78, 80
G	
geometría del vertedero	87, 88, 97
grado de sumergencia	85
K	
Karman, calle de vórtices	98
L	
longitud de onda	100
M	
Manning-Strickler	74
medición de la descarga	86, 96, 97
modificación en la sección transversal	95
momento lineal, principio	77, 78

Palabra clave	Página
N	
napa	88, 89, 90, 91
napa aireada	88, 90
napa colocada por encima	89
napa libre	89, 90
napa separada	89
nivel máximo de retención	87, 91, 92
número de Froude	79, 80, 81, 85
O	
obra de paso	94
obra de paso con flujo parcial	94
obra de paso con flujo total	94
obra de paso sumergida	94
ola de choque	82
ola generada por el viento	100
ola lisa	100
ola negativa	82
ola positiva	82
ola positiva por remanso	82
ola rompiendo	100
onda superficial	79, 100
oscilación acoplada	98
P	
pendiente de línea	74
pendiente de línea de energía	73, 74
pendiente del fondo	74
pendiente del perfil de la superficie del agua	74
pérdida de energía específica	76, 77, 78, 84, 95
pérdida por fricción	74, 75, 91
pérdidas locales	95
perfil hidráulico ventajoso	72, 87
perfil WES	87, 89
perímetro mojado	73
periodo de una ola	100
pilar	95, 100
pilote	98
Poleni, ecuación	88, 90, 97
presa-vertedero de perfil Ogee	87, 88, 89
principio del momento lineal	77, 78
profundidad alterna	76
profundidad crítica	76, 80
profundidad de descarga	72, 73, 74
profundidad secuente	77, 78, 85

Índice conocimientos básicos flujo en canales abiertos

Palabra clave	Página
R	
radio hidráulico	72, 74
rampa	91
Rehbock	97
remanso	85, 93, 95
represamiento	82
resalto débil	81
resalto estable	81
resalto fuerte	81
resalto hidráulico	76, 77, 78, 81
resalto ondulado	81
resalto oscilante	81
rugosidad de fond	73, 74, 75, 76, 99
S	
sección transversal del flujo	85, 95, 96, 99
sección transversal, constricción	95
sección transversal, forma	74
sección transversal, modificación	95
sedimentación	99
seno de la ola	100
separación del chorro	87, 88, 89
separación del vórtice	98
socavación	85, 94
subida y descenso del nivel	82
T	
Thomson	97
tipo de caída	88
tipo de descarga	94
tipo de flujo	76, 80
transición de flujo	76, 87, 94, 95, 96
transporte de depósitos arrastrados por la corriente	99
transporte de sedimentos	99
transporte de sedimentos en suspensión	99
triángulo básico del vertedero	87
U	
umbral	80, 85, 87, 91, 95
V	
velocidad de flujo	74, 76, 79, 80, 82, 99
velocidad de onda	100
velocidad de propagación	79, 100
vena contracta	93
vertedero de aforo	87, 88, 91, 97
vertedero de cresta ancha	80, 87, 97
vertedero de cresta delgada	87, 90, 97
vertedero de Crump	91
vertedero de sifón	92
vertedero lateral	88
vertedero radial	93
vertedero rectangular	97
vertedero trapezoidal	97
vertedero triangular	97
vertedero, altura	84, 86, 90, 91, 97
vibraciones inducidas por flujo	98
vibraciones inducidas por vórtice	98

Índice

Palabra clave	Código (página)
A	
acción capilar	HM 115 (12)
acumulador de agua	HM 143 (64)
agua acumulada	(174 - 175)
agua del suelo	(174)
agua subterránea	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
álabe director	HM 150.10 (30) HM 150.20 (50) HM 150.21 (28) HM 152 (180)
ángulo de ataque	HM 150.20 (50)
antiduna	HM 140 (168)
B	
Bernoulli, ecuación	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)
bloque de rápida	HM 16x.35 (144)
bomba centrífuga	HM 150.04 (52)
bomba, característica	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
bombas, conexión en paralelo	HM 150.16 (54)
bombas, conexión en serie	HM 150.16 (54)
C	
calle de vórtices de Karman	HM 16x.61 (151)
cambio de sección transversal, flujo de paso a través	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
canal de Venturi	HM 16x.51 (146)
canal para aforar	HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
canal Parshall	HM 16x.55 (146)
canal rectangular	HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122)
canal trapezoidal	HM 16x.63 (147)
capa de medio filtrante	CE 116 (192)
capa de suelo permeable	(174)
capa del suelo	(174 - 177)
capa del suelo impermeable	HM 165 (182) (174)
capa del suelo no saturada de agua	(174)
capa del suelo saturada de agua	(174)
capa límite	(157) (160 - 161)
capacidad de acumulación	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)
capacidad de transporte de sedimentos	(156) (162)
característica de la bomba	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
característica de la turbina	HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)
característica de las aberturas	HM 150.11 (40)
cauce	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
caudal, coeficiente	HM 150.07 (24)
caudal, medición	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40)
centro de empuje	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
chimenea de equilibrio	HM 143 (64) HM 156 (62)
chorro de salida	HM 150.12 (34)
coeficiente de caudal	HM 150.07 (24)
coeficiente de contracción	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
coeficiente de permeabilidad	(174)
coeficiente de resistencia	HM 150.11 (40)
compuerta	HM 16x.29 (142) HM 16x.40 (142) HM 164 (42)
compuerta de segmento	HM 16x.40 (142)
compuerta plana deslizante	HM 16x.29 (142) HM 164 (42)
conexión en paralelo de bombas	HM 150.16 (54)
conexión en paralelo de secciones de tubo	HM 111 (44)
conexión en serie de bombas	HM 150.16 (54)
conexión en serie de secciones de tubo	HM 111 (44)
consideración de energía	HM 150.07 (24) (75)
contorno de salida	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
corriente de infiltración	CE 116 (192) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
cuaderna en forma de U	HM 150.39 (16)
cuaderna en forma de V	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
cuerpo de resistencia	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180)
cuerpo deflector	HM 150.08 (26)
cuerpo flotante	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
curso del río	HM 168 (170)
D	
densidad de la precipitación	HM 145 (188) HM 165 (182)
depósito de retención pluvial	HM 141 (190) HM 143 (64)
depresión	(161)
descarga horizontal	HM 150.09 (32)
descarga por orificios	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
descarga vertical	HM 150.12 (34)
descarga, medición	HM 16x.30 (142, 146) HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
descenso del nivel del agua subterránea	HM 167 (184)
desviación del chorro	HM 150.08 (26) HM 150.12 (34)
dique de tierra	HM 169 (186)
disipación de energía	HM 16x.32 (144) HM 16x.35 (144) (84)
drenaje	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
duna	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166)
E	
ecuación de Bernoulli	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)
ecuación de continuidad	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)
Einstein	(160)
elementos de tuberías	HM 111 (44)
embalse	HM 143 (64)
entrada de agua	HM 167 (184)
equilibrio de transporte	(156)
equilibrio potencial	(176)
escora	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
estructura de control	(86 - 93)
estructura del fondo	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
excavación	HM 167 (184)

Índice

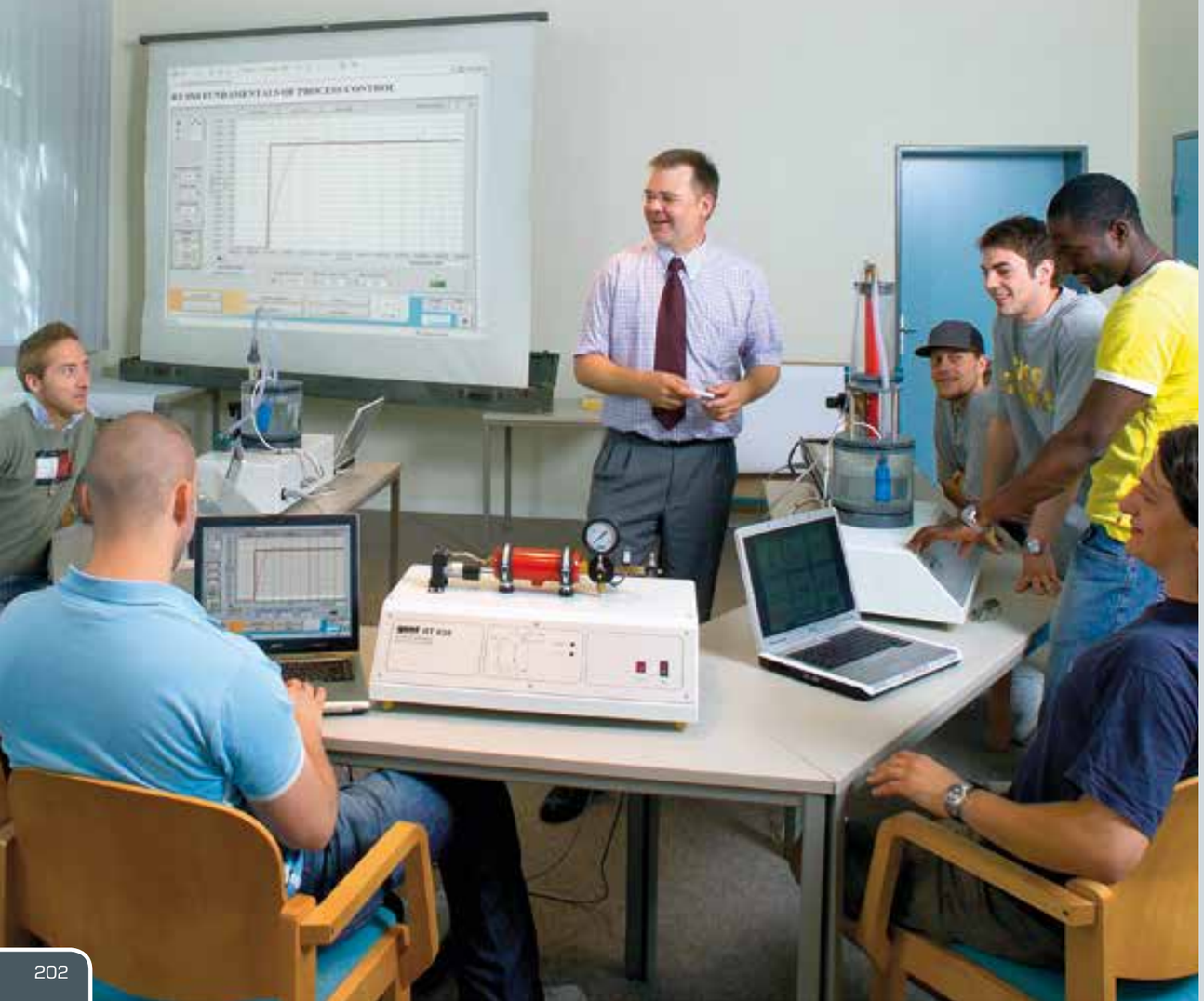
Palabra clave	Código (página)
F	
factor de fricción	HM 150.01 (38)
filtraciones de presas	HM 169 (186)
flujo alrededor de cuerpos	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180)
flujo de paso a través de un cambio de sección transversal	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
flujo en canales abiertos	HM 140 (168) HM 150.21 (28) HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122) HM 164 (42)
flujo en tuberías	HM 111 (44) HM 150.01 (38) HM 150.11 (40) HM 164 (42)
flujo incidente	HM 150.21 (28)
flujo laminar	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
flujo potencial	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
flujo subterráneo	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
flujo turbulento	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
fondo impermeable de agua	HM 167 (184)
forma de la cuaderna	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
formación de dunas	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166)
formación de olas	HM 16x.41 (138, 149)
formación de ripples	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
formas de lecho	(160)
fórmula de transporte	(156)
frecuencia natural	HM 156 (62)
fuente	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
fuente de drenaje	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)
fuerza de arrastre	(158)
fuerza de empuje	HM 115 (12)
fuerza de flujo	(158)
fuerza de sustentación	(158)
fuerza ejercida por un chorro	HM 150.08 (26)
G	
golpe de ariete	HM 156 (62)
gradiente hidráulico de las aguas subterráneas	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)
H	
hidrograma	HM 141 (190)
huella de obstáculo fluvial	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
I	
infiltración	(174 - 177)
isla	HM 165 (182) HM 168 (170)
K	
Karman, calle de vórtices	HM 16x.61 (151)
L	
Laser Doppler Anemometry	(106)
LDA	(106)
lecho de río, moldeado	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
línea freática	(175)
línea potencial	(177)
líneas de corriente	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180) HM 169 (186)
M	
medición de caudal	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40)
medición de la descarga	HM 16x.30 (142, 146) HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
metacentro	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
Meyer-Peter et Mueller	(156)
moldeado del lecho de río	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
momento lineal, principio	HM 150.08 (26) (76 - 77)
muro de contención	HM 169 (186)
N	
nivel de agua subterránea	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)
número de Reynolds	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
O	
obra de paso	HM 16x.45 (148)
olas, formación	HM 16x.41 (138, 149)
orificio de medición	HM 150.11 (40)
orificio de salida	HM 150.12 (34)
oscilación acoplada	HM 16x.61 (151)
P	
pared de tablestacas	HM 169 (186) (177)
Particle Image Velocity	(106)
pendiente del fondo	HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122)
perdida de carga	CE 116 (192) HM 111 (44) HM 150.01 (38) HM 150.11 (40)
permeabilidad, coeficiente	(174)
pilar	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.46 (148) HM 166 (166) HM 168 (170)
pilote	HM 16x.61 (151)
PIV	(106)
playa	HM 160.42 (149) HM 16x.80 (149)
potencia hidráulica	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
potencial, equilibrio	(176)
potencial, flujo	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
potencial, línea	(177)
potencial, red	(177)
pozo	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)
precipitación	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)
presa, filtración	HM 169 (186)
presa-vertedero de perfil Ogee	HM 16x.32 (144) HM 16x.34 (145) HM 164 (42)
presión sobre el fondo	HM 115 (12)
principio del momento lineal	HM 150.08 (26) (76 - 77)
proceso de sedimentación	HM 140 (168) HM 142 (172) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
procesos de desagüe	HM 143 (64)
R	
red de flujo	HM 169 (186) (177)
red potencial	(177)
redes de tuberías	HM 111 (44)
rejilla	HM 16x.38 (145)
Reynolds, número de	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
ripple	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
ripple de corriente	HM 168 (170) (160)
rodadura	(159)
rugosidad de fond	HM 16x.77 (147)
S	
saltación	(159)
secciones de tubo, conexión en paralelo	HM 111 (44)
secciones de tubo, conexión en serie	HM 111 (44)
sedimentación	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
sedimentación, proceso	HM 140 (168) HM 142 (172) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
sedimentación, tanque	HM 142 (172)
sedimentos en suspensión, transporte	HM 142 (172)
sedimentos, capacidad de transporte	(156) (162)
sedimentos, transporte	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
separación del flujo	HM 152 (180)
sistema de vórtice	(162)
socavación	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
socavación en agua clara	(162)
subida y descenso del nivel	(82)
sumidero	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
superficie de precipitación	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)
T	
tanque de sedimentación	HM 142 (172)
tensión de cizallamiento del fondo	(157) (163)
tensión superficial	HM 115 (12)
tiempo de preciptación	HM 141 (190) HM 145 (188)
tobera de medición	HM 150.11 (40)
torta de filtración	CE 116 (192)
transmisión de vibraciones	HM 16x.61 (151)
transporte de depósitos arrastrados por la corriente	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
transporte de sedimentos	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
transporte de sedimentos en suspensión	HM 142 (172)
trayectoria	HM 150.09 (32)
tubería circular	HM 111 (44)
tubo de Pitot estático	HM 16x.50 (136, 152)
tubo de Venturi	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40)
turbina de acción	HM 150.19 (48)
turbina de impulsión	HM 150.19 (48)
turbina de reacción	HM 150.20 (50)
turbina Francis	HM 150.20 (50)
turbina Pelton	HM 150.19 (48)
turbina, característica	HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)
turbomáquina	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54) HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)
U	
umbral	HM 16x.44 (143, 147) HM 164 (42)
umbral dentado	HM 16x.35 (144)
V	
valor característico de filtración	CE 116 (192)
velocidad de filtración	(176)
velocidad de salida	HM 150.09 (32)
velocidad del sonido	HM 156 (62)
vertedero de aforo	HM 16x.30 (142, 146)
vertedero de cresta ancha	HM 150.21 (28) HM 16x.31 (143) HM 164 (42)
vertedero de cresta delgada	HM 150.21 (28) HM 16x.30 (142, 146) HM 164 (42)
vertedero de Crump	HM 16x.33 (143, 148)
vertedero de sifón	HM 16x.36 (145)
vibraciones inducidas por flujo	HM 16x.61 (151)
vibraciones inducidas por vórtice	HM 16x.61 (151)
volumen de filtrado	CE 116 (192)
vórtice de estela	(162)
vórtice de herradura	(162)
vórtice de separación	(161)
vórtice, vibraciones inducidas por	HM 16x.61 (151)
Z	
zona de separación	(161)

Adquisición de datos y visualización

Evaluación y análisis óptimos de los ensayos realizados

El software de GUNT siempre dispone de una amplia ayuda on-line que explica las funciones y la aplicación.

El software de GUNT es desarrollado y mantenido en nuestra empresa por un grupo de ingenieros expertos.

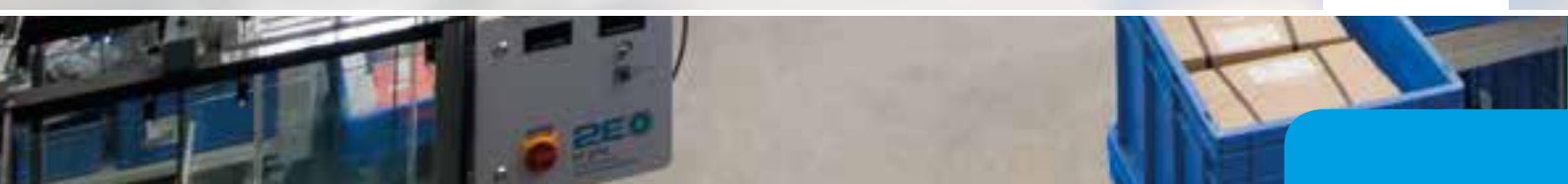


Vista general de productos

CE		
CE 116	Filtración de torta y de lecho profundo	192
HM		
HM 111	Redes de tuberías	044
HM 115	Banco de ensayos sobre hidrostática	012
HM 140	Transporte de sedimentos en canal abierto	168
HM 141	Hidrogramas después de la precipitación	190
HM 142	Separación en tanques de sedimentación	172
HM 143	Procesos de desagüe no estacionarios en depósitos de reserva	064
HM 145	Estudios hidrológicos ampliados	188
HM 150	Módulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos	058
HM 150.01	Fricción de tubo en un flujo laminar/turbulento	038
HM 150.04	Bomba centrífuga	052
HM 150.06	Estabilidad de cuerpos flotantes	014
HM 150.07	Principio de Bernoulli	024
HM 150.08	Medición de la fuerza ejercida por un chorro	026
HM 150.09	Descarga horizontal por orificios	032
HM 150.10	Visualización de líneas de corriente	030
HM 150.11	Pérdidas de carga en el sistema de tuberías	040
HM 150.12	Descarga vertical por orificios	034
HM 150.16	Conexión en serie y en paralelo de bombas	054
HM 150.18	Ensayo de Osborne Reynolds	022
HM 150.19	Principio de funcionamiento de una turbina Pelton	048
HM 150.20	Principio de funcionamiento de una turbina Francis	050
HM 150.21	Visualización de líneas de corriente en canales abiertos	028
HM 150.39	Cuerpos flotantes para HM 150.06	016
HM 152	Flujo potencial	180
HM 156	Golpes de ariete y chimenea de equilibrio	062
HM 160	Canal de ensayo 86 x 300 mm	116
HM 161	Canal de ensayo 600 x 800 mm	132
HM 162	Canal de ensayo 309 x 450 mm	120
HM 163	Canal de ensayo 409 x 500 mm	122
HM 16x.10	Elemento de prolongación del canal de ensayo	155
HM 162.12	Sistema para la adquisición de datos y la automatización	137
HM 162.12	Sistema para la adquisición de datos y la automatización	154
HM 16x.13	Medición de presión electrónica	137
HM 16x.13	Medición de presión electrónica	151
HM 16x.14	Galería	154
HM 16x.15	Elemento de prolongación de la galería	154
HM 16x.20	Depósito de agua	155
HM 16x.29	Compuerta plana deslizante	142
HM 16x.30	Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos	142
HM 16x.30	Juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos	146
HM 16x.31	Vertedero de cresta ancha	143
HM 16x.32	Presa-vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas	144
HM 16x.33	Vertedero Crump	143
HM 16x.33	Vertedero Crump	148
HM 16x.34	Presa-vertedero de perfil Ogee con medición de la presión	145
HM 16x.35	Elementos para la disipación de energía	144
HM 16x.36	Vertedero de sifón	145
HM 16x.38	Rejilla	145
HM 16x.40	Compuerta de segmento	142
HM 16x.41	Generador de olas	138
HM 16x.41	Generador de olas	149
HM 160.42	Playa lisa	149
HM 16x.44	Umbral	143
HM 16x.44	Umbral	147
HM 16x.45	Obra de paso	148
HM 16x.46	Juego de pilares, siete perfiles	148
HM 16x.50	Tubo de Pitot estático	136
HM 16x.50	Tubo de Pitot estático	152
HM 16x.51	Canal de Venturi	146
HM 16x.52	Indicador del nivel de agua	136
HM 16x.52	Indicador del nivel de agua	152
HM 16x.53	Diez tubos manométricos	136
HM 16x.53	Diez tubos manométricos	151
HM 16x.55	Canal Parshall	146
HM 16x.57	Ajuste de la inclinación eléctrico	107
HM 16x.57	Ajuste de la inclinación eléctrico	154
HM 16x.59	Portainstrumentos	136
HM 16x.59	Portainstrumentos	153
HM 16x.61	Pilotes vibratorios	151
HM 16x.63	Canal trapezoidal	147
HM 16x.64	Velocímetro	136
HM 16x.64	Velocímetro	153
HM 16x.71	Circuito cerrado de sedimentos	141
HM 16x.71	Circuito cerrado de sedimentos	150
HM 16x.72	Trampa de sedimentos	141
HM 16x.72	Trampa de sedimentos	150
HM 16x.73	Alimentador de sedimentos	140
HM 16x.73	Alimentador de sedimentos	150
HM 16x.77	Base del canal con grava	147
HM 16x.80	Juego de playas	149
HM 16x.91	Indicador del nivel de agua digital	136
HM 16x.91	Indicador del nivel de agua digital	152
HM 164	Flujo en canales abiertos y cerrados	042
HM 165	Estudios hidrológicos	182
HM 166	Fundamentos del transporte de sedimentos	166
HM 167	Flujos de agua subterránea	184
HM 168	Transporte de sedimentos en cursos de ríos	170
HM 169	Visualización de corrientes de infiltración	186

Contacto

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15 – 17
D-22885 Barsbüttel
Alemania

Tel. +49 (0)40 67 08 54 - 0
Fax +49 (0)40 67 08 54 - 42
Email sales@gunt.de
Web www.gunt.de

Visite nuestra página web
www.gunt.de