



PROCEDIMIENTO DE MANEJO DE SEDIMENTOS CANAL DE ESTUDIO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Informe Anexo B Memoria de Título
Rev A

Peñaflor, Región Metropolitana
DICIEMBRE 2019

Mandante:

INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Estudio:

Procedimiento de manejo de sedimentos

Fecha:

13/12/2019

Equipo de Trabajo:

Nikky Leiva (NL) Memorista, Egresada Ing. Civil

Aprobado por:

Felipe Negrete (FN) Jefe de Proyecto, Ing. Civil, mención Hidráulica

Revisor mandante:

Vivian Aranda (VA) Profesora Patrocinante, Ing. Civil, M.S, Ph.D

Rev.	Descripción	Por		Revisó	Vº Bº	Fecha
A	Informe para aprobación IF	NL				

Clasificación:

Informe Anexo B Memoria de Título Rev A

Índice

1 Propósito	1
2 Alcance	1
3 Políticas de operación	1
3.1 Responsables involucrados	1
3.2 Elementos de protección personal requeridos para trabajos	2
4 Descripción del procedimiento	4
4.1 Diagrama de procedimiento	4
4.2 Procedimiento	6
4.2.1 Construcción de curva granulométrica	6
4.2.2 Extensión de sedimento	11

Índice de figuras

4.1 Diagrama de procedimiento de sedimentos, parte 1.	4
4.2 Diagrama de procedimiento de sedimentos, parte 2.	5
4.3 Vista lateral canal de socavación de pilas del Instituto Nacional de Hidráulica.	8
4.4 Transporte de sedimentos al canal de socavación local en pilas con retroexcavadora.	13
4.5 Diagramas de diferentes tipos de extensión de sedimento.	13
4.6 Trabajo de definición de cotas de nivel para extensión de sedimento en canal de socavación en pilas.	14
4.7 Extensión de laca.	14
4.8 Fotografía del posicionamiento de la pila en el canal de socavación.	15
4.9 Condición final de procedimiento de extensión de sedimento (tipo c).	15

Índice de tablas

3.1	Responsabilidades del grupo de trabajo.	2
4.1	Listado de tamices máquina (tamaño grande).	7
4.2	Listado de tamices ASTM (tamaño pequeño).	8
4.3	Datos de zonas de sedimentos del canal de socavación en pilas.	9
4.4	Volumen de sedimento requerido para diferentes espesores de capa en la zona de rebaje granular.	9
4.5	Propiedades físicas de suelos con diferentes texturas no compactadas.	10
4.6	Datos superficie de enlacedo de sedimento.	14
4.7	Cubicación requerimiento de laca para sedimentos.	14

1. Propósito

Establecer lineamientos técnicos para el trabajo con sedimentos en el canal de estudio de socavación en pilas del Instituto Nacional de Hidráulica, que permitan reconstruir curvas granulométricas e identificar las características principales de los áridos, con el fin de minimizar los tiempos asociados a esta maniobra.

2. Alcance

La aplicación de éste procedimiento de manejo de sedimentos involucra a todo personal que realice trabajos en el canal de estudio de socavación en pilas del Instituto Nacional de Hidráulica.

3. Políticas de operación

3.1. Responsables involucrados

En la Tabla 3.1 se identifican los cargos y se describen las responsabilidades asociadas necesarias para llevar a cabo el presente procedimiento.

Tabla 3.1 Responsabilidades del grupo de trabajo.

Cargo	Sigla	Función
Jefe/a de proyecto	JP	Responsable de cumplir lo establecido en el presente procedimiento, brindar facilidades para su implementación, realizar revisiones periódicas y generar actualizaciones. Designar al personal idóneo para cada función de acuerdo con su experiencia y conocimiento.
Supervisor/a	S	Responsable de la ejecución del presente procedimiento. Debe asegurar la instrucción del equipo de trabajo y supervisar las maniobras.
Personal Geomensor	PG	Responsables de la nivelación del relleno granular en el canal.
Personal Operativo	PO	Es responsable de seguir el procedimiento en cada trabajo/actividad que realice. Debe comunicar al Supervisor si tiene alguna limitación para realizar el trabajo/actividad. Debe respetar las medidas de control y seguridad recomendadas.

3.2. Elementos de protección personal requeridos para trabajos

El Instituto Nacional de Hidráulica cuenta con el Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, el cual norma las disposiciones establecidas para prevenir accidentes laborales. Para efectos del presente documento, remitirse al Título XIX: Normas de prevención higiene y seguridad, Título XX de los equipos de protección personal y Título XXI Del peso máximo de carga humana, de dicho reglamento.

Cualquier trabajo/actividad el canal de socavación en pilas se debe realizar en conocimiento y cumpliendo de las medidas de seguridad. En caso de requerir trabajos no contemplados en dicho reglamento, acercarse a la/el encargada/o de seguridad del INH para establecer los requerimientos para un procedimiento de maniobra segura.

Elementos de protección personal:

- Zapatos de seguridad.
- Overol de trabajo, overol coverall desechable blanco o ropa que cubra extremidades (según la actividad a realizar).

- Guantes de cuero, caucho o neopreno (según el material a manipular).
- Antiparras.
- Tapones para oídos en caso de realizar actividades con alta contaminación acústica.

4. Descripción del procedimiento

4.1. Diagrama de procedimiento

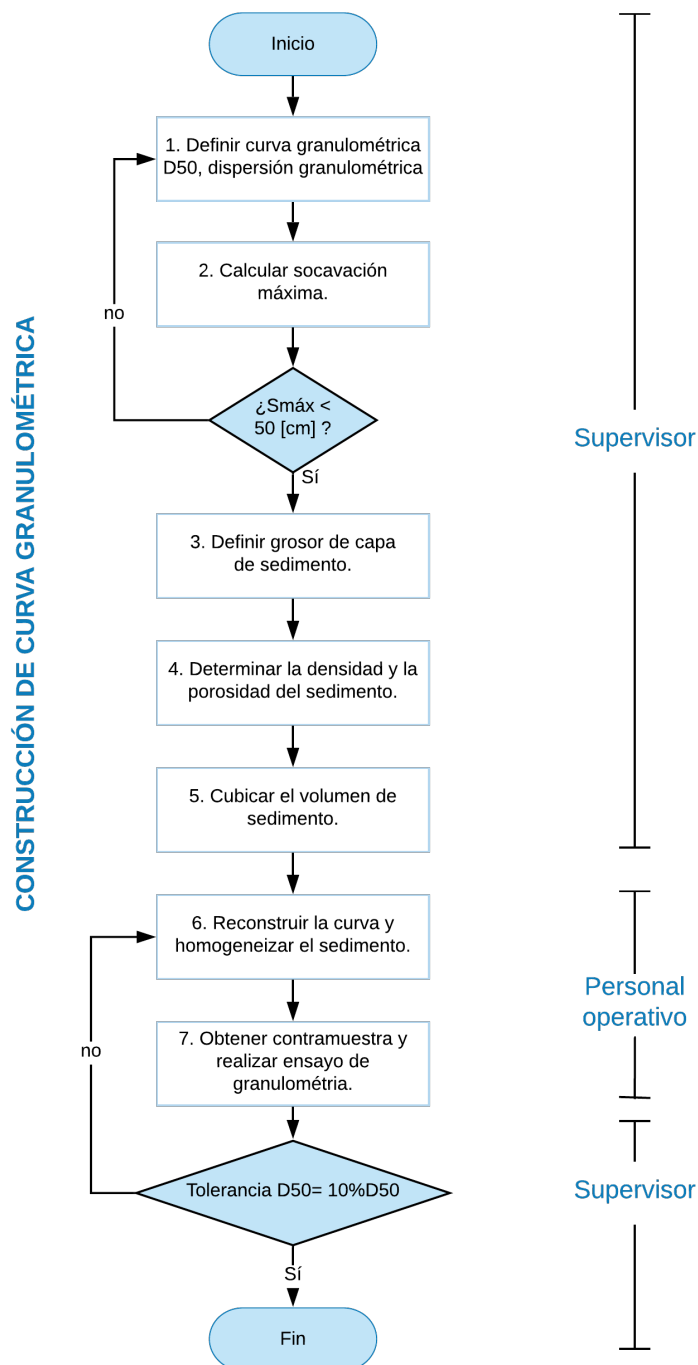


Figura 4.1 Diagrama de procedimiento de sedimentos, parte 1.

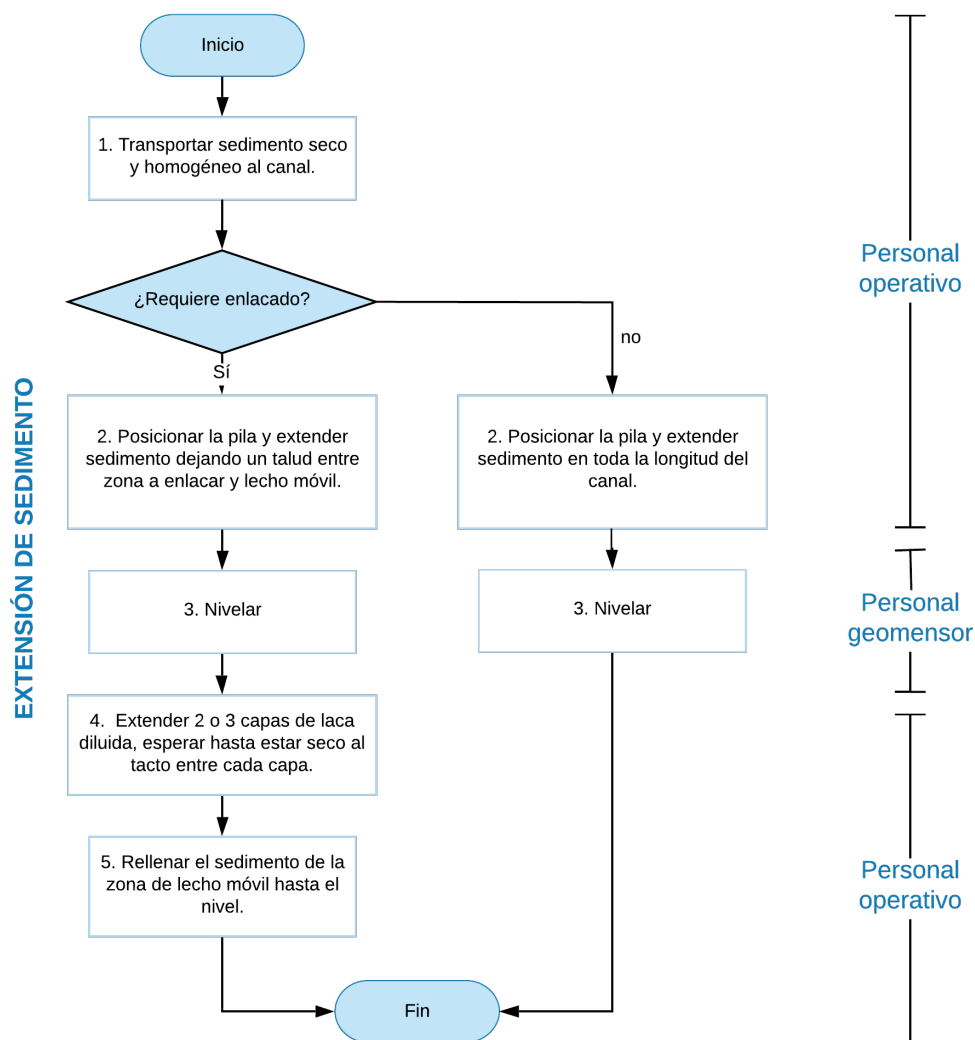


Figura 4.2 Diagrama de procedimiento de sedimentos, parte 2.

4.2. Procedimiento

4.2.1. Construcción de curva granulométrica

N°	Responsable	Actividad	Referencias
1	Supervisor/a	Definir curva granulométrica de acuerdo con los tamaños disponibles en el INH indicados en las Tablas 4.1 y 4.2 y condición de flujo en aguas claras. Considerar la compatibilidad de tamaños para facilitar la operación.	Sedimentos.xlsx Hoja 1, 2 y 3
2	Supervisor/a	Calcular socavación máxima con ecuaciones de la literatura para las condiciones requeridas para el ensayo.	Ecuaciones.py
3	Supervisor/a	Definir la forma de extensión de sedimentos (Figura 4.3), a acuerdo con las siguientes alternativas: a. Capa de 10 [cm] en todo el largo del canal y toda la zona de rebaje experimental. b. Zona de rebaje experimental y capa de 10 [cm] sobre esta, utilizar sedimento de relleno en el resto del canal. c. Capa de profundidad definida en la zona de rebaje, mayor que la socavación máxima esperada, más la capa de 10 [cm] sobre esta y sedimento de relleno en el resto del canal. Los volúmenes de sedimento requeridos para las condiciones mencionadas anteriormente se determinan considerando las dimensiones del canal (Tabla 4.3) y se presentan en la Tabla 4.4	Sedimentos.xlsx Hoja 4
4	Supervisor/a	Determinar la densidad del sedimento y porcentaje de porosidad. a. La densidad de sedimento se puede definir de cualquiera de las siguientes alternativas: (I) Realizar ensayo de densidad de sedimentos, siguiendo las normas chilenas vigentes (NCh1532-Of80 y NCh1117-Of2010). (II) Utilizar la densidad de sedimento entregada por el proveedor. (III) Considerar la densidad del sedimento de acuerdo con las propuestas en la literatura según la clasificación del árido. b. El porcentaje de porosidad representante la razón entre huecos de aire y el volumen total, se puede obtener según lo establecido en la Tabla 4.5	Sedimentos.xlsx Hoja 5
5	Supervisor/a	Cubicar la masa de sedimento requerido en cada rango de tamaños de la curva granulométrica considerando el volumen de sedimento extender.	Sedimentos.xlsx Hoja 6

N°	Responsable	Actividad	Referencias
6	Personal operativo	Reconstruir curva granulométrica con las cantidades definidas en el punto anterior, registrar la masa de cada rango. Durante esta actividad se deben mantener cada tamaño de sedimento por separado, clasificado y tapado, para evitar que se ensucie, humedezca, pierda o mezcle con otros tamaños. Una vez alcanzada las cantidades requeridas de cada rango, se debe mezclar todo el sedimento hasta que sea homogéneo.	
7	Personal operativo	Obtener una muestra representativa del sedimento homogéneo superior a 7 [kg] y realizar un ensayo de granulometría. Verificar tolerancia y de ser necesario rectificar.	Sedimentos.xlsm Hoja 7

Tabla 4.1 Listado de tamices máquina (tamaño grande).

Diámetro					
ASTM #	ISO [mm]	ASTM #	ISO [mm]	ASTM #	ISO [mm]
.	46.70	.	4.30	.	0.40
.	40.00	.	3.60	.	0.32
1,06"	27.00	N°6	3.35	N°50	0.30
.	20.00	N°14	1.40	N°80	0.18
.	12.00	N°18	1.00	N°80	0.18
.	11.31	.	0.80	N°100	0.15
.	10.00	N°35	0.50	.	0.14
.	5.15	N°40	0.43		

Tabla 4.2 Listado de tamices ASTM (tamaño pequeño).

Diámetro					
ASTM #	ISO [mm]	ASTM #	ISO [mm]	ASTM #	ISO [mm]
3 1/2"	90.51	.	6.70	.	0.36
3"	76.11	.	6.30	N°50	0.30
.	64.00	.	5.60	.	0.25
.	53.82	.	4.75	.	0.21
.	45.36	.	4.00	N°80	0.18
.	38.05	N°6	3.35	N°100	0.15
.	32.00	.	2.80	.	0.13
1,06"	26.91	.	2.36	.	0.11
.	25.00	.	2.00	.	0.09
.	22.63	.	1.70	.	0.075
.	20.00	N°14	1.40	.	0.063
.	19.00	.	1.18	.	0.053
.	16.00	N°18	1.00	.	0.05
.	13.20	.	0.85	.	0.045
.	12.50	.	0.71	.	0.04
.	11.20	.	0.60	.	0.038
.	9.50	N°35	0.50	.	0.03
.	8.00	N°40	0.43	.	

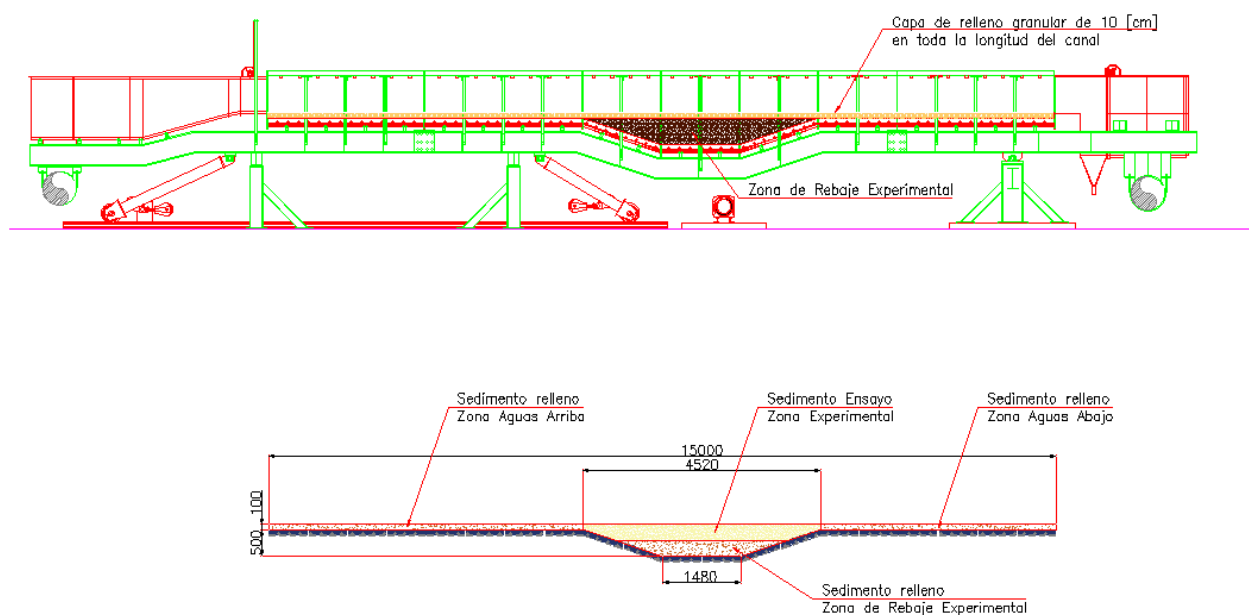


Figura 4.3 Vista lateral canal de socavación de pilas del Instituto Nacional de Hidráulica.

Tabla 4.3 Datos de zonas de sedimentos del canal de socavación en pilas.

Longitud zona de rebaje	4.52	[m]
Longitud zona de sedimentos	15.0	[m]
Volumen zona de sedimentos capa de 10 [cm]	2.25	[m ³]
Volumen zona de rebaje	2.25	[m ³]
Volumen total de sedimentos	4.50	[m ³]

Tabla 4.4 Volumen de sedimento requerido para diferentes espesores de capa en la zona de rebaje granular.

Capa [cm]	Altura capa sedimento [m]	Longitud 1 [m]	Longitud 2 [m]	Longitud 3 [m]	Volumen sedimento [m ³]
2	0.02	1.45	1.48	1.45	0.134
4	0.04	1.39	1.48	1.39	0.263
6	0.06	1.33	1.48	1.33	0.390
8	0.08	1.27	1.48	1.27	0.512
10	0.10	1.21	1.48	1.21	0.632
12	0.12	1.15	1.48	1.15	0.747
14	0.14	1.09	1.48	1.09	0.859
16	0.16	1.03	1.48	1.03	0.967
18	0.18	0.97	1.48	0.97	1.072
20	0.20	0.91	1.48	0.91	1.173
22	0.22	0.85	1.48	0.85	1.271
24	0.24	0.79	1.48	0.79	1.364
26	0.26	0.73	1.48	0.73	1.455
28	0.28	0.67	1.48	0.67	1.541
30	0.30	0.61	1.48	0.61	1.625
32	0.32	0.55	1.48	0.55	1.704
34	0.34	0.49	1.48	0.49	1.780
36	0.36	0.43	1.48	0.43	1.852
38	0.38	0.37	1.48	0.37	1.921
40	0.40	0.31	1.48	0.31	1.986
42	0.42	0.25	1.48	0.25	2.048
44	0.44	0.19	1.48	0.19	2.105
46	0.46	0.13	1.48	0.13	2.160
48	0.48	0.07	1.48	0.07	2.210
50	0.50	0.00	1.48	0.00	2.250

Tabla 4.5 *Propiedades físicas de suelos con diferentes texturas no compactadas.*

Textura	Porosidad %
Arenosa	38 (32-42)
Franca	47 (43-49)
Franco arcillosa	49 (47-51)
Arcillosa	53 (51-55)

4.2.2. Extensión de sedimento

N°	Responsable	Actividad	Referencias
1	Personal operativo	Transportar el sedimento seco y homogéneo al canal de socavación a una altura que facilite la extracción manual, se utiliza la maquinaria disponible en el INH.	Figura 4.4
2	Personal operativo	Posicionar el sedimento seco en función de las alternativas definidas en el N° 3 de la sección Construcción de curva granulométrica (4.2.1) respectivamente: a. Posicionar la pila en la zona experimental y extender el sedimento en toda la longitud del canal utilizando palas. b. Utilizar palas para extender manualmente una capa de 10 [cm] de sedimento de relleno en la zona aguas arriba y aguas abajo de la zona de experimentación. Posicionar la pila en la posición requerida y extender el sedimento preparado para el ensayo en toda la zona de rebaje más los 10 [cm] para completar toda la zona experimental. c. Utilizar palas para extender manualmente una capa de 10 [cm] de sedimento de relleno en la zona de aguas arriba y aguas abajo de la zona de experimentación, además de la capa inferior de la zona de rebaje experimental. Posicionar la pila en la condición definida para el experimento a realizar. Posteriormente, extender el sedimento preparado para el ensayo en la zona de rebaje experimental restante y una capa de 10 [cm] sobre ésta. Las alternativas b) y c) pueden requerir que las zonas aguas arriba y aguas abajo tengan una capa de laca que impida el transporte de fondo, el procedimiento de enlacado se realiza previo a la extensión del sedimento preparado para el ensayo en la zona de lecho móvil.	Figura 4.5
3	Personal geomensor	Nivelar con apoyo del equipo de geomensura del INH. Utilizar manualmente un platacho de madera para aplanar la rasante respecto a la cota establecida anteriormente.	Figura 4.6

N°	Responsable	Actividad	Referencias
4	Personal operativo	El proceso de enlacado requiere los siguientes materiales: ■ Lacas Sipa Sipala ■ Diluyente Química Universal Duco de Invierno ■ Brochas ■ Overol blanco desechable ■ Guantes ■ Máscarillas con filtro, Tipo Industrial. La cubicación de los materiales necesarios para el trabajo de enlacado se presenta en las Tablas 4.6 y 4.7. El método de enlacado se describe a continuación: a. El personal que realiza el procedimiento de enlacado debe utilizar los implementos de seguridad complementarios (respirador de seguridad, overol y guantes específicos). Coordinar la fecha del procedimiento para minimizar la exposición de personal durante el procedimiento del enlacado. b. Diluir la laca y diluyente a una razón de 1:5. c. Extender desde aguas arriba una capa de la mezcla sobre el sedimento seco, evitando perturbar la rasante del lecho. d. Generar un talud en la intersección con la zona de rebaje (Aguas arriba-zona de rebaje y zona de rebaje-aguas abajo). e. Dejar secar durante 48 horas si los días son templados, 72 horas si los días son fríos o hasta que se encuentre seco al tacto. f. Repetir los dos últimos pasos para generar la segunda capa de laca.	Figuras 4.7, 4.8 y 4.9
5	Personal operativo	En el caso de haber realizado enlacado, se procede a rellenar el sedimento preparado para el ensayo en la zona de lecho móvil hasta la cota de nivel.	



Figura 4.4 Transporte de sedimentos al canal de socavación local en pilas con retroexcavadora.

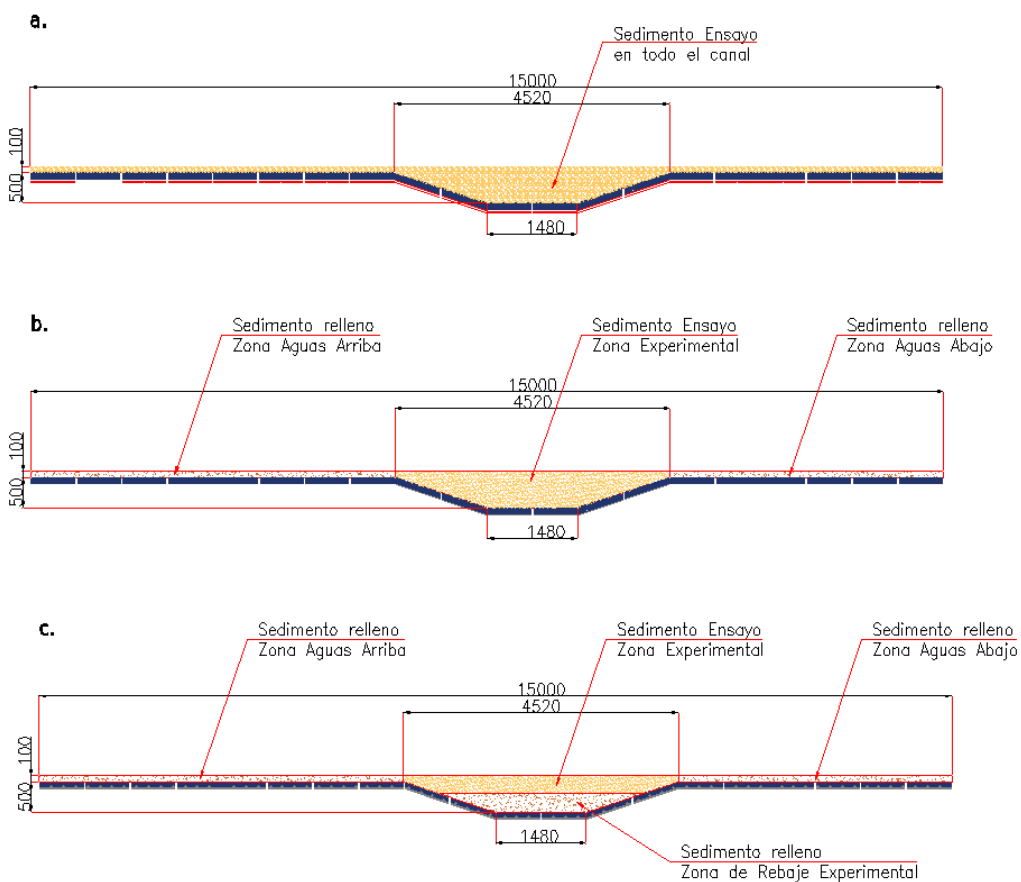


Figura 4.5 Diagramas de diferentes tipos de extensión de sedimento.



Figura 4.6 Trabajo de definición de cotas de nivel para extensión de sedimento en canal de socavación en pilas.

Tabla 4.6 Datos superficie de enlacado de sedimento.

Longitud	11.0	[m]
Ancho	1.5	[m]
Superficie	16.5	[m ²]
Capas de laca	2	[—]
Superficie	33	[m]

Tabla 4.7 Cubicación requerimiento de laca para sedimentos.

Rendimiento			Cubicación 2 capas de laca	
Laca	4.7	[m ² /gal]	7	[gal]
Diluyente	5.0	[l/gal]	35	[l]



Figura 4.7 Extensión de laca.



Figura 4.8 Fotografía del posicionamiento de la pila en el canal de socavación.



Figura 4.9 Condición final de procedimiento de extensión de sedimento (tipo c).



PROTOCOLO DE ENSAYO CANAL DE ESTUDIO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Informe Anexo C Memoria de Título
Rev A

Peñaflor, Región Metropolitana
ENERO 2020

Mandante:

INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Estudio:

Protocolo de Ensayo

Fecha:

13/01/2020

Equipo de Trabajo:

Nikky Leiva (NL) Memorista, Egresada Ing. Civil

Aprobado por:

Felipe Negrete (FN) Jefe de Proyecto, Ing. Civil, mención Hidráulica

Revisor mandante:

Vivian Aranda (VA) Profesora Patrocinante, Ing. Civil, M.S, Ph.D

Rev.	Descripción	Por		Revisó	Vº Bº	Fecha
A	Informe para aprobación IF	NL				

Clasificación:

Informe Anexo C Memoria de Título Rev A

Índice

1	Introducción	1
2	Objetivo	1
3	Alcance	1
4	Referencias	2
5	Responsabilidades	3
6	Método	4
6.1	Principio	4
6.2	Medidas de higiene y seguridad	4
6.3	Preparación de ensayo	4
6.3.1	Información de referencia	4
6.3.2	Preparación y conservación de sedimentos	5
6.3.3	Búsqueda de condiciones experimentales	6
6.3.4	Construcción e instalación de la pila	7
6.4	Interferencias	8
7	Procedimiento experimental de ensayo de socavación	8
7.1	Requisitos previos	8
7.2	Materiales y equipos	8
7.3	Ensayo	9
7.3.1	Fase I: Inicio	9
7.3.2	Fase II: Ensayo	10
7.3.3	Fase III: Término	12
7.4	Post ensayo	12

Índice de tablas

3.1	Resumen de rangos experimentales factibles para ensayo en canal de socavación local.	2
5.1	Responsabilidades del grupo de trabajo.	3
6.1	Parámetros de referencia del ensayo.	5
6.2	Características del sedimento.	6
6.3	Características del canal de socavación del INH para cada experimento.	7
6.4	Características de la pila.	7
7.1	Datos de la instalación de instrumentos.	9
7.2	Ejemplo de una medición de velocidad con sensor electromagnético de flujo Vale- port modelo 802.	11
7.3	Ejemplo de una medición de caudal con flujómetro electromagnético.	11
7.4	Resumen de post procesamiento de datos de ensayo de socavación local.	12

1. Introducción

El Instituto Nacional de Hidráulica, desde ahora INH, es un organismo que tiene a su cargo el desarrollo de investigación aplicada en disciplinas hidráulicas y que orienta al medio nacional en conocimiento y requerimientos para optimizar el uso de recursos hídricos, mediante diferentes proyectos y estudios aplicando modelación tanto numérica como física.

En base a lo anterior, el INH ha incorporado un canal a gran escala con pendiente variable con la intención de desarrollar una investigación sobre la socavación local en pilas de puentes en condiciones representativas de los cauces chilenos.

El presente documento consiste en un protocolo de ensayo experimental para el canal de socavación en pilas del INH, como herramienta de gestión de trabajo, que sea una pauta para los diferentes experimentadores y que permita disminuir la variabilidad de los resultados por agentes humanos e instrumentales.

2. Objetivo

La finalidad del ensayo es obtener el registro temporal de la socavación local en un punto cercano a la cara expuesta al flujo de una pila de sección circular y la socavación máxima para el tiempo de equilibrio, bajo condiciones hidráulicas controladas y una granulometría definida.

3. Alcance

De acuerdo con las condiciones actuales disponibles en el canal de socavación se pueden realizar ensayos con caudal fijo en el rango entre 10 y 200 [l/s]. En etapas futuras se espera alcanzar hasta los 600 [l/s] con la incorporación de dos bombas centrífugas adicionales y replicar hidrogramas mediante el uso de un procesador lógico programable que optimice el control del caudal y la altura de escurrimiento.

La altura de escurrimiento experimental es restringida por la necesidad de trabajar en condición de aguas claras para evitar colmar la trampa de sedimentos hasta contar con una bomba de recirculación que permita trabajar con transporte generalizado, y la carga de diseño estructural del canal, definida por la empresa externa de diseño **Servicios de ingeniería y gestión de proyectos V12 limitada**, que aconseja como máximo 45 [cm] de agua sobre la capa de relleno granular de 10 [cm] en toda la extensión del canal.

La pendiente longitudinal puede variar desde la horizontalidad hasta llegar a una inclinación máxima de 7 % que equivale a 4°. No se permite contrapendiente.

La experimentación puede estudiar curvas granulométricas uniformes o graduadas, con tamaños de partículas que pueden variar entre arcillas, limos, arenas, gravas e incluso clastos, dependiendo del requerimiento de estudio, teniendo en cuenta que se requiere experimentar en régimen de aguas claras.

De acuerdo con la literatura, el efecto que producen las paredes laterales del canal en la socavación local se puede despreciar si se cumple la condición: $w/b > 8$, donde w es el ancho del canal y b

representa el ancho de la pila. En base a lo anterior, el ancho máximo de pilas a utilizar es de 18.75 [cm] y el mínimo queda definido por la necesidad de reducir los efectos de escala.

En el canal de socavación se puede experimentar con diversos tipos de geometrías de pila (sección circular, cuadrada, rectangular, aerodinámica, entre otras más complejas), orientadas con el flujo o con un ángulo de esviaje definido, con o sin base de fundación, como también grupos de pilas. No obstante a lo anterior, el presente documento define el protocolo de ensayo para una pila de sección circular ubicada en la zona central del canal.

Tabla 3.1 Resumen de rangos experimentales factibles para ensayo en canal de socavación local.

Parámetro	Alcance
Q	10 [l/s] - 200 [l/s]
h	Definido por condición de aguas claras - 45 [cm]
i	0 % - 7 %
b	Definido por efectos a escala - 18.75 [cm]
Geometría de pila	Circular/cuadrada/rectangular/aerodinámica/etc.
N° de pilas	1 o grupos de pilas
Orientación de pila	Orientada con el flujo o con ángulo de esviaje
Granulometría	Uniforme o graduada, desde arcillas hasta clastos, considerando condición de aguas claras

4. Referencias

- Manual de Operación de Canal de Socavación en Pilas.
- Procedimiento de Manejo de Sedimentos de Canal de Socavación en Pilas.
- Sedimentos-X.xlsm
- EnsayoCSP-X.xlsx
- Certificado de Calibración N°773 INH, medidor de velocidad de flujo con sonda.
- Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad de Instituto Nacional de Hidráulica.

5. Responsabilidades

Tabla 5.1 Responsabilidades del grupo de trabajo.

Cargo	Sigla	Función
Jefe/a de proyecto	JP	Responsable de las diversas investigaciones a desarrollar en el canal de socavación en pilas del INH. Encargado/a de hacer cumplir lo establecido en el presente protocolo, brindar facilidades para su implementación, realizar revisiones periódicas y generar actualizaciones. Responsable de la designación del personal idóneo para cada función de acuerdo con su experiencia y conocimiento.
Investigador/a	I	Responsable de una línea de investigación. Encargado/a de la preparación, análisis y ejecución de ensayos en el canal de socavación de acuerdo con lo establecido en el protocolo. Responsable de instruir al personal operativo que participe en los ensayos.
Personal Operativo	PO	Corresponde a todo personal que brinde apoyo durante la preparación, procedimiento y post ensayo, incluyendo mantenimiento del canal de socavación. Responsable de seguir el protocolo en cada trabajo/actividad que realice. Debe comunicar al Investigador/a si tiene alguna limitación para realizar el trabajo o actividad. Debe respetar las medidas de control y seguridad recomendadas.
Colaborador/a	C	Experto/a en la línea de investigación. Puede ser consultado/a durante el análisis de resultados de la investigación.

6. Método

6.1. Principio

El ensayo consiste en el estudio de socavación local en torno a una pila de sección circular empotrada en una cama de sedimento, mediante el registro de la evolución temporal de la socavación en un punto cercano a la pila en la zona frontal al escurrimiento y la medición de la socavación máxima en la transición pila-sedimento al final del ensayo.

Las condiciones experimentales se establecen acorde a la línea de investigación que se desarrolla (escala, sedimento, velocidad de escurrimiento, altura de aproximación y tiempo de ensayo, ángulo de inclinación del canal, tamaño y materialidad de la pila, entre otros).

6.2. Medidas de higiene y seguridad

El Instituto Nacional de Hidráulica cuenta con el Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, el cual norma las disposiciones exigidas para prevenir accidentes laborales. Para efectos del presente documento, diríjase al Título XIX: Normas de prevención higiene y seguridad, Título XX De los equipos de protección personal y Título XXI Del peso máximo de carga humana de dicho reglamento para realizar los ensayos cumpliendo las medidas de seguridad adecuadas.

En caso de requerir actividades/trabajos no contemplados en el Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, acercarse a la/el encargada/o de seguridad del INH para determinar los requerimientos y establecer un procedimiento de maniobra segura.

6.3. Preparación de ensayo

6.3.1. Información de referencia

Se deben conocer las características del experimento que se quiere llevar a cabo, para eso se procede a escalar un río cuyos parámetros sean conocidos o bien se pueden utilizar datos disponibles en la literatura de ensayos compatibles con el alcance experimental del canal de socavación del INH para verificar las metodologías aplicadas o extender una línea de investigación.

Utilizar la Hoja 1 de la planilla “EnsayoCS-X.xlsx” para registrar los datos de referencia (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 *Parámetros de referencia del ensayo.*

Parámetro	Unidad	Definición
Se_{ref}	[mm]	Socavación de equilibrio de referencia.
b_{ref}	[mm]	Ancho o diámetro de la pila de referencia.
t_{ref}	[min]	Tiempo de equilibrio de referencia.
u_{ref}	[m/s]	Velocidad de aproximación de referencia.
σ_{ref}	[-]	Desviación geométrica de la granulometría de referencia.
h_{ref}	[mm]	Altura de escurrimiento de referencia.
J_{ref}	%	Pendiente longitudinal del lecho de referencia.
w_{ref}	[cm]	Ancho del canal de referencia.

6.3.2. Preparación y conservación de sedimentos

Utilizar el documento “Procedimiento de manejo de sedimentos de canal de estudio de socavación en pilas” y la planilla “Sedimentos-X.xlsm” para definir la curva granulométrica, determinar el volumen requerido para el ensayo y seguir las instrucciones para extender el sedimento. Registrar las características principales del sedimento definidos en la Tabla 6.2 en la Hoja 2 de la planilla “EnsayoCS-X.xlsx”.

Determinar la condición de arrastre incipiente del sedimento en el canal de socavación en pilas del INH.

El sedimento ya tamizado, debe ser almacenado por rangos y etiquetados de acuerdo con el diámetro de los tamices utilizados para su separación. Se deben ubicar en una zona que evite la humedad y contaminación con otros materiales.

El material sobrante de la curva granulometría generada, se debe conservar para ser utilizado en la reposición del sedimento arrastrado luego de cada ensayo.

Al terminar los ensayos con una granulometría específica, se sugiere que al retirar se guarde el sedimento por separado con etiquetas que caractericen al material, con el fin de poder repetir experimentos con la misma curva o bien extender la investigación a diferentes rangos experimentales en el futuro.

Tabla 6.2 Características del sedimento.

Parámetro	Unidad	Definición
D_{50}	[mm]	Diámetro nominal
D_{65}	[mm]	Diámetro que representa las partículas de diámetro mayor que el 60 % del total del material.
D_{90}	[mm]	Diámetro que representa las partículas de diámetro mayor que el 90 % del total del material.
D_{95}	[mm]	Diámetro que representa las partículas de diámetro mayor que el 95 % del total del material.
D_{max}	[mm]	Diámetro máximo del sedimento.
σ_g	-	Desviación geométrica de la granulometría.
ρ_s	[kg/m ³]	Densidad de las partículas del sedimento
ϕ	°	Ángulo de reposo del sedimento.
Capa	[cm]	Grosor de la capa de sedimento.
S_s	-	Gravedad específica del sedimento de lecho.
u_c	[m/s]	Velocidad de corte crítica del sedimento en el canal de socavación del INH.

6.3.3. Búsqueda de condiciones experimentales

Realizar pruebas pre-experimentales de los parámetros del canal con el objeto de encontrar la condición de la clapeta, compuerta y variador de frecuencia de la bomba de impulsión que permitan alcanzar las condiciones hidráulicas de referencia (altura de escurrimiento, velocidad de aproximación).

Utilizar el sensor electromagnético de flujo para medir velocidad de aproximación y un limnómetro de punta para determinar la altura de escurrimiento, tal como se indica en el documento “Manual de operación del canal de estudio de socavación en pilas”. Registrar los datos en la Hoja 3 de la planilla “EnsayoCS-X.xlsx”.

Tabla 6.3 Características del canal de socavación del INH para cada experimento.

Parámetro	Unidad	Definición
θ	[°]	Ángulo de clapeta.
h_c	[cm]	Altura de la compuerta.
VDF	%	Porcentaje del variador de frecuencia de la bomba.

6.3.4. Construcción e instalación de la pila

1. Definir geometría, materialidad, ángulo de esviaje de la pila requerida para el ensayo, y registrar los datos de la Tabla 6.4 en la Hoja 4 de la planilla “EnsayoCS-X.xlsx”. Considerar la relación entre el ancho de la pila y el ancho del canal para evitar influencia de las paredes del canal (pilas de ancho máximo de 18.75 [cm]).
2. Solicitar al área de Carpintería de la Unidad de Modelación Física del INH la construcción del diseño de pila requerido.
3. Definir el ángulo de inclinación longitudinal del canal para el ensayo y registrar en la Tabla 6.4.
4. Instalar la pila con la contrapendiente (J) necesaria para que al levantar el canal a la inclinación requerida en el ensayo, la pila quede en posición vertical.

Tabla 6.4 Características de la pila.

Parámetro	Unidad	Definición
J	[mm/m]	Ángulo de inclinación longitudinal del canal.
w	[m]	Ancho del canal de socavación del INH.
Longitud	[m]	Largo del canal del INH.
b	[mm]	Ancho o diámetro de la pila.
Geometría	-	Tipo de sección de pila (circular, cuadrada, rectangular, aerodinámica, etc.)
l	[m]	Largo de la pila.
Número de pilas	-	Cantidad de pilas a ensayar.
Separación entre pilas	[m]	
α	[°]	Ángulo de esviaje

6.4. Interferencias

La programación de cada ensayo debe considerar que la matriz de energía eléctrica del Galpón 1 de Modelos, lugar donde se ubica el canal de socavación, permite el funcionamiento de la bomba de impulsión al 85 % de su capacidad máxima cuando opera de forma simultánea con otro modelo de similares características.

Se debe tener presente que algunos de los instrumentos de medición pueden ser utilizados en otros proyectos, por lo que la coordinación y planificación es muy relevante.

7. Procedimiento experimental de ensayo de socavación

7.1. Requisitos previos

1. Sentinas del Galpón 1 de Modelos con carga hidráulica para abastecer el experimento.
2. Estanques de acumulación con una carga hidráulica sobre los 120 [cm] y agua limpia.
3. Verificar visualmente la planicidad del sedimento, si se observa desnivel o baches se debe corregir.
4. Fotografiar la situación pre-experimento.

7.2. Materiales y equipos

Instalar los instrumentos de medición que se indican a continuación, tal como se establece en la sección 5 del “Manual de Operación de Canal de Estudio de Socavación en Pilas”.

- Computador portátil.
- Soportes de linímetros (3 unidades).
- Limnímetros (3 unidades).
- ADV vectrino y porta instrumento.
- Sensor electromagnético de flujo Valepor modelo 802, porta instrumento y 8 pilas D2.
- Telémetro láser GLM 80 Professional BOSCH.
- Artículos misceláneos (cinta métrica, cuchillo cartonero, atornilladores, alargadores eléctricos, platacho) .
- Cámara sumergible y soporte (opcional).
- Cámara exterior, trípode y soporte (opcional).
- Sistema de iluminación (opcional).

El uso de cámaras intrusivas o externas para generar registro visual de la evolución de la fosa de socavación y/o del procedimiento de ensayo se define de acuerdo con el objetivo y condiciones de cada experimento. Se debe evitar alterar el flujo o producir interferencia con los otros instrumentos de medición.

Posicionar el limnómetro de punta para medir altura de escurrimiento a h_{ref} para ser utilizado como referencia de la condición experimental requerida.

Luego de instalar los instrumentos se deben registrar los datos solicitados en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Datos de la instalación de instrumentos.

Parámetro	Unidad	Definición
soc_0	[mm]	Distancia vertical entre el transmisor del ADV Vectrino y el lecho sin perturbar.
$dist_{adv}$	[mm]	Distancia horizontal entre la pared de la pila y la proyección del eje vertical del ADV Vectrino en el plano del sedimento.
$dist_u$	[cm]	Distancia horizontal entre la pared de la pila y la proyección del eje vertical del sensor electromagnético de flujo.
h_u	[mm]	Distancia vertical entre el fondo del lecho y sensor electromagnético de flujo, la que corresponde a $0.6 \cdot h_{ref}$

7.3. Ensayo

7.3.1. Fase I: Inicio

Seguir las instrucciones definidas en la sección 3 del “Manual de Operación de Canal de Estudio de Socavación en Pilas” para conocer el funcionamiento del canal.

Utilizar la planilla “EnsayoCS-X.xls” para registrar los datos tomados en la experimentación.

1. Registrar en la Hoja 4-Ensayo de la planilla la numeración, prueba y fecha de ensayo.
2. Activar control de caseta.
3. Saturar sedimento.
4. Fijar pendiente longitudinal del canal.
5. Llenar el canal.
6. Encender el sistema hidráulico principal.
7. Iniciar el registro de datos utilizando el ADV Vectrino para medir distancia de fondo y anotar la hora.
8. Regular parámetros hidráulicos a los requeridos por el experimento, utilizar los datos de las pruebas preliminares realizadas para conseguir la altura de escurrimiento y velocidad de aproximación de ensayo.
9. Medir la velocidad de aproximación usando el sensor de flujo electromagnético una vez que se estabilice la altura de escurrimiento. Registrar la velocidad y la altura como u en [m/s] y h en [mm], respectivamente.

10. Registrar la hora en que se logran las condiciones experimentales.
11. Calcular la diferencia de tiempo entre el inicio de registro de datos con el ADV Vectrino y el momento en que se alcanzan las condiciones experimentales, el dato corresponde a t_0 en minutos.

7.3.2. Fase II: Ensayo

El ensayo de socavación inicia cuando se alcanzan las condiciones experimentales requeridas.

Utilizar la Hoja 4-Ensayo de la planilla “EnsayoCS-X.xlsx”, para registrar los datos medidos.

Acudir a la sección 5 del “Manual de operación del canal de estudio de socavación en pilas” donde se presenta las pautas para utilizar los instrumentos de medición requeridos en la experimentación del canal de socavación.

Durante la experimentación se realizan cuatro tipos de mediciones, las que se listan a continuación:

■ Socavación:

El registro y monitoreo de la evolución temporal de la profundidad del lecho se realiza con un ADV Vectrino durante todo el tiempo de ensayo. La frecuencia de muestreo es de 10 [Hz] y los datos válidos corresponden a los de calidad (quality) mayor a 100.

De forma simultánea, se registra la cota inicial y final de la intersección del lecho y el borde de la pila en la cara frontal al escurrimiento mediante inspección visual de la demarcación de la pila.

■ Altura de escurrimiento:

Para ensayos con caudal y altura constante, se utiliza un limnómetro de punta en una posición permanente, igual a la altura de escurrimiento requerida en el ensayo y se monitorea que sea estable en el tiempo.

En experimentos donde se requiera recrear un hidrograma, se debe considerar la implementación de sensores ultrasónicos para generar registros de altura de escurrimiento en toda la duración del ensayo.

■ Velocidad de aproximación:

Para ensayos con caudal y altura constante, la velocidad de aproximación se mide de forma periódica cada media hora, utilizando el sensor de flujo electromagnético Valeport modelo 802, ubicado en la zona de lecho móvil aguas arriba de la pila (mínimo 10 · b). Las mediciones se realizan con el sensor a 0.6 · h en la posición vertical. Se registra en la Planilla “EnsayoCS-X.xlsx” los promedios de velocidad cada 10 segundos durante 1 minuto, se promedia y se corrige con la curva de calibración del instrumento, la velocidad del ensayo queda definida como el promedio de cada una de las mediciones realizadas periódicamente. En la Tabla 7.2 se muestra un ejemplo de medición de velocidad.

En el caso de trabajar con caudal variable durante la experimentación, se puede utilizar un segundo ADV marca Sontek o conectar un registrador de datos (datalogger) al sensor electromagnético de flujo para generar el registro continuo en el tiempo.

Tabla 7.2 Ejemplo de una medición de velocidad con sensor electromagnético de flujo Valeport modelo 802.

V_x [m/s]	V_x [m/s]	V [m/s]
-0.016	0.271	0.271
-0.018	0.263	0.264
-0.02	0.271	0.272
-0.015	0.269	0.269
-0.021	0.278	0.279
-0.015	0.263	0.263
-0.018	0.273	0.274
$V_{promedio}$ [m/s]		0.270
$V_{calibrada}$ [m/s]		0.280

■ Caudal:

Para ensayos con velocidad y altura de escurrimiento constante, el registro de flujo se realiza de forma periódica cada media hora, posterior a la medición de velocidad, utilizando el flujómetro electromagnético ubicado a la salida de los estanques de acumulación. Se registra en la Planilla “EnsayoCS-X.xls” el caudal medido cada 10 segundos durante 2 minutos, y se calcula el promedio. En la Tabla 7.3 se muestra un ejemplo de una medición de caudal. Al finalizar el ensayo, se promedian las mediciones realizadas cada media hora y se registra como caudal de ensayo.

En el caso de trabajar con caudal variable durante la experimentación, se debe conectar un registrador de datos (datalogger) al flujómetro para generar el registro continuo en el tiempo.

Tabla 7.3 Ejemplo de una medición de caudal con flujómetro electromagnético.

Tiempo [s]	Caudal [l/s]
0	53.6
10	54.8
20	53.5
30	53.9
40	54.0
50	54.0
60	55.0
70	55.4
80	54.3
90	53.8
100	53.9
110	53.9
120	53.4
$Q_{promedio}$ [l/s]	54.1

Registrar la hora de término del ensayo y de término de registro del ADV.

Anotar las observaciones finales al final de la Hoja 4-Ensayo de la planilla.

Verificar que el archivo .vno generado por el ADV Vectrino guardó correctamente los datos.

7.3.3. Fase III: Término

Esta etapa corresponde a la detención del canal posterior a un ensayo, se debe seguir las siguientes instrucciones:

1. Reducir la frecuencia de bombeo al 40 % del VDF.
2. Vaciar el canal y luego apagar el sistema de impulsión. De ser necesario reducir la carga hidráulica en los estanques de acumulación para generar el volumen necesario para evitar desborde (ver sección 3.9 del “Manual de Operación de Canal de Estudio de Socavación en Pilas”).
3. Abrir la válvula de la zona de experimentación para permitir que el sedimento se desagüe.
4. Fotografiar la situación final del experimento.
5. En caso de experimentar con pendiente longitudinal diferente a la horizontal, se debe proceder a bajar el canal hasta ser apoyado en sus descansos.
6. Desaguar cada manifold.
7. Desconectar energía de los instrumentos de medición y tableros que abastecen al canal.
8. Retirar y guardar los instrumentos.

7.4. Post ensayo

Al utilizar correctamente la planilla “EnsayoCS-X.xlsx”, al terminar el ensayo se conocen todos los datos para el procesamiento de la información obtenida. Los datos de las hojas 5 y 6 de la planilla sirven para generar los archivos de texto “Resume-X.txt” y “Datos-X.txt” respectivamente.

El archivo “.vno” generado por el ADV Vectrino se procesa en el software del instrumento para obtener el archivo con extensión “.sen” que contiene los datos de distancia de fondo que permiten calcular la socavación.

Tabla 7.4 Resumen de post procesamiento de datos de ensayo de socavación local.

Entrada	Código	Salida
Resumen-X.txt datosADV.txt (.sen)	filtro.py	datospila.txt Gráfico del registro y filtros de datos del ADV. Gráfico de la evolución de socavación en la pila.
Resumen-X.txt datospila.txt	analisis.py	Gráficos de evolución de socavación en la pila comparados con fórmulas de la literatura de la evolución temporal y socavación máxima.
Datos-X.txt	ecuaciones.py	Gráfico comparativo de socavación máxima de ecuaciones disponibles en la literatura.

INFORME DE ENSAYO
PROYECTO CANAL DE SOCAVACIÓN DE PILAS

Ensayo	1
Prueba	3
Fecha	20082019

Tabla de contenidos

Pestaña	Contenido
1	Información Ensayo a Replicar
2	Resumen datos de sedimentos
3	Condiciones experimentales
4-Ensayo	Registro de ensayo
5	Resumen datos para post proceso: - filtro.py - analisis.py
6	Resumen datos para post proceso: - ecuaciones.py

Información Ensayo a Replicar

Bibliografía Melville y Chiew 1999 "Time scale for local scour at bridge piers"

Experimento N18

Se_ref	133 [mm]
b_ref	70 [mm]
t_ref	4260 [min]
u_ref	0.271 [m/s]
i_ref	0.783 -
D50_ref	0.96 [mm]
sigma_ref	1.3 -
h_ref	200 [mm]
Pendiente_ref	%
w_ref	[cm]

Descripción

Ensayo en condición de aguas claras para una pila de sección circular en una cama de arena uniforme.

TABLE 1. Experimental Data Plotted in Figs. 5–8

Run number (1)	D (mm) (2)	d_{se} (mm) (3)	d_{50} (mm) (4)	y (mm) (5)	V (m/s) (6)	t_e (min) (7)	V/V_c (8)
N1	70	94	0.96	200	0.231	3,142	0.688
N2	70	77	0.96	70	0.245	2,703	0.654
N3	70	69	0.96	70	0.218	2,880	0.623
N4	70	79	0.96	70	0.231	2,817	0.671
N5	70	39	0.96	70	0.198	1,537	0.623
N6	50	60	0.96	70	0.231	2,610	0.657
N7	50	60	0.96	200	0.231	3,090	0.649
N8	38	54	0.96	200	0.243	4,035	0.690
N9	38	45	0.96	200	0.231	1,741	0.660
AU1	16	24	0.80	200	0.213	1,753	0.676
AU2	25	25	0.80	200	0.213	2,695	0.676
N10	70	116	0.96	95	0.278	3,252	0.827
N11	70	118	0.96	95	0.278	4,194	0.827
N12	70	107	0.96	50	0.269	4,055	0.823
N13	70	121	0.96	70	0.304	4,089	0.850
N14	50	89	0.96	70	0.298	3,215	0.845
N15	38	77	0.96	200	0.278	4,230	0.817
N16	38	97	0.96	200	0.324	4,530	0.919
N17	50	91	0.96	70	0.317	4,163	0.901
AU3	16	32	0.80	200	0.250	1,740	0.827
AU4	25	48	0.80	200	0.250	2,895	0.827
AU5	16	38	0.80	200	0.294	2,065	0.957
AU6	25	64	0.80	200	0.294	2,690	0.957
N18	70	133	0.96	200	0.271	4,260	0.783
N19	70	107	0.96	77	0.271	3,100	0.779
N20	70	91	0.96	70	0.251	4,210	0.700

RESUMEN DE DATOS DE SEDIMENTOS

Parámetro	Valor	Unidad	Definición
D50_ref	0.96	[mm]	Diámetro nominal de referencia.
sigma_ref	1.3	-	Desviación geométrica de la granulometría de referencia.
D50	1.03	[mm]	Diámetro nominal.
D65	1.13	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 60% del total del material.
D90	1.36	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 90% del total del material.
D95	1.40	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 95% del total del material.
Dmax	1.40	[mm]	Diámetro máximo del sedimento.
sigma	1.23	-	Desviación geométrica de la granulometría.
rho_s	2621	[kg/m ³]	Densidad de las partículas del sedimento.
phi	32.39	°	Ángulo de reposo del sedimento.
capa	14	[cm]	Grosor de la capa de sedimento.
Ss	2.6	-	Gravedad específica del sedimento de lecho.
u_c	0.3105	[m/s]	Velocidad de corte crítica del sedimento en el canal de socavación del INH.

CONDICIONES EXPERIMENTALES PREPARACIÓN DE ENSAYO

Características del experimento

Ángulo clapeta	16°
Altura compuerta	25 [cm]
VDF	45 %

Limnómetro		Limnómetro ADV		Limnómetro Velocidad	
Fondo	51.8	Cota Fondo	68.1	Cota Fondo	37.4 [cm]
Pelo	71.8	Posición	79.3	Posición	49.4 [cm]
h	20.0	0,6*h	11.2	0,6*h	12.0 [cm]

Variables controlables				Datos Medidos		Datos Cálculados			
VDF	Flujometro	Huinchu	Transportador	Limnómetro	Sensor elec. De flujo	Altura sensor	Caudal calculado	N° Froude	Error porc. Del caudal
% VDF	Q [l/s]	h_comp [cm]	θ_clapeta [°]	h [cm]	v [m/s]	h_v [cm]	Q_c [l/s]	Fr	% e_Q
45	68.12	libre	20	21.3	0.23	12.78	70.29	0.15	3.19
45	70.64	libre	15	27	0.28	10.2	71.4	0.22	1.08

Sensor de flujo electromagnético

Medición		45 VF - 20°
Vx [m/s]	Vy [m/s]	V [m/s]
-0.035	0.221	0.224
-0.034	0.222	0.225
-0.04	0.221	0.225
-0.032	0.217	0.219
-0.036	0.219	0.222
-0.035	0.224	0.227
V_Prom [m/s]		0.223
V_CAL [m/s]		0.233

Caudal Visor Flujometro

Medición	45 VF - 20°
Tiempo [s]	Caudal [l/s]
0	67.4
10	67.6
20	68.4
30	68
40	67.6
50	67.1
60	67.1
70	69
80	68.8
90	68.10
100	68.6
110	68.6
120	69.2
Promedio	68.1

Medición		45 VF - 15°
Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
-0.047	0.272	0.276
-0.047	0.278	0.282
-0.053	0.284	0.289
-0.046	0.271	0.275
-0.046	0.266	0.270
-0.049	0.269	0.273
	V_Prom [m/s]	0.278
	V_CAL [m/s]	0.288

Medición	45 VF - 15°
Tiempo [s]	Caudal [l/s]
0	69.8
10	70.1
20	70.7
30	70.3
40	70.7
50	71.3
60	71.5
70	71.3
80	70.6
90	70.90
100	70.8
110	70.2
120	70.1
Promedio	70.6

ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

NUMERACIÓN DE ENSAYO	1
REPETICIÓN	3
FECHA	20082019

Parámetros geométricos

Canal de sección rectangular.

Pendiente del canal	0 [mm/m]
Ancho del canal	1.5 [m]
Longitud del canal	15 [m]

Pila de sección circular de madera, pintada blanco, graduada cada 5 [cm] y con una cinta métrica.

Diámetro de la pila	70 [mm]
Largo de la pila	70 [mm]
Relación b/w	0.05 -
Número de pilas	1 -
Separación entre pilas	N/A -
Ángulo de esviaje	0 radianes
Inclinación vertical de la pila	0 [mm/m]

Lecho de arena uniforme en zona experimental, zonas aguas arriba y abajo con relleno y laca.

D50	1.03 [mm]
sigma	1.23 -
u _c	0.31 [m/s]

Variables/Parámetros hidráulicos

Lecturas

Altura de escurrimiento	Linmímetro de punta
Velocidad de aproximación	Sensor electromagnético de flujo, valeport 802.
Profundidad de socavación	ADV Vectrino.

Condiciones generales de ensayo

Aguas claras	SI
Lecho vivo	NO
Formas de lecho	Se observa la generación de dunas aguas debajo de la pila al final de la experimentación.
Compuerta	Compuerta por sobre la altura de escurrimiento. Sin influencia.
Clapeta	Altura de escurrimiento regulada con la clapeta desde aguas abajo.
Disipadores	N/A

Descripción temporal FASE I: Inicio de ensayo

Hora	Descripción
8:15:00	Inicio de llenado de canal. Se debe recurrir lo que se perdió por infiltración.
9:31:00	Instalación de instrumentos. Clapeta a 30°, estanques sobre 120 [cm].
9:32:00	Inicio sistema de bombeo. VDF 40°.
9:33:00	Empezamos a despichar exceso a agua de los estanques
9:40:00	Se busca condición experimental. Despiche cerrados, estanques a 120 [cm], clapeta a 25 ° y VDF 40 %.
9:43:00	Inicio de medición ADV: 45 VDF, 20° clapeta
9:48:00	Inicio de ensayo: 45 VDF, 16° clapeta, 20 cm altura de escurrimiento, 0.27 m/s.

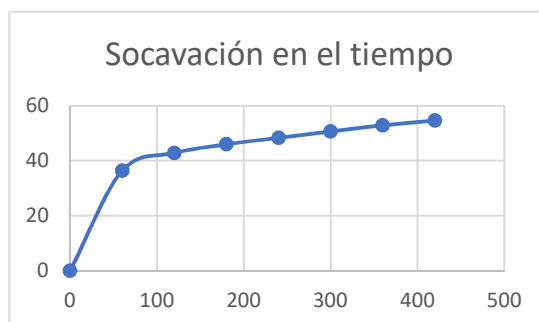
Parámetros de la instalación experimental

t_0	5 [min]	Tiempo de medición transcurrido hasta inicio de ens.
soc_0	112 [mm]	Distancia vertical entre el transmisor del adv al lecho.
dist_adv	50 [mm]	Distancia horizontal de la proy vertical del adv a la pila.

Datos ensayo

VDF	45 %
theta_clapeta	16 °
h_compuerta	N/A [cm]
Q	76.5 [l/s]
u	0.288 [m/s]
h	200 [mm]
i	0.93 -
Duración ensayo	426 [min]
Duración registro	436 [min]
Hora inicial registro	9:43:00 -
Hora inicial ensayo	9:48:00 -
Hora final ensayo	16:49:00 -
Hora final registro	17:04:00 -
z inicial en la pila	18 [mm]
Sf soc. final en la pila	55.5 [mm]

Tiempo [min]	Distancia [mm]	S procesada [mm]
0	112	0
60	148.387913	36.387913
120	154.810813	42.810813
180	157.998613	45.998613
240	160.353163	48.353163
300	162.647613	50.647613
360	164.909113	52.909113
420	166.640713	54.640713



Mediciones

Limnómetro		Limnómetro ADV		Limnómetro Velocidad		
Fondo	51.8	Cota Fondo	68.1	Cota Fondo	37.4	[cm]
Pelo	71.8	Posición	79.3	Posición	49.4	[cm]
h	20.0	0,6*h	11.2	0,6*h	12.0	[cm]

Sensor de flujo electromagnético

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
9:59:00	-0.036	0.274	0.276
	-0.034	0.269	0.271
	-0.032	0.261	0.263
	-0.037	0.281	0.283
	-0.037	0.279	0.281
	-0.04	0.281	0.284
	V_prom [m/s]		0.277
	v_cal [m/s]		0.287

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
10:29:00	-0.033	0.278	0.280
	-0.035	0.263	0.265
	-0.041	0.275	0.278
	-0.037	0.274	0.276
	-0.034	0.277	0.279
	-0.032	0.274	0.276
	V_prom [m/s]		0.276
	v_cal [m/s]		0.286

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
11:29:00	-0.032	0.281	0.283
	-0.032	0.261	0.263
	-0.031	0.25	0.252
	-0.033	0.28	0.282
	-0.036	0.282	0.284
	-0.031	0.279	0.281
	V_prom [m/s]		0.274
	v_cal [m/s]		0.284

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
11:59:00	-0.018	0.255	0.256
	-0.02	0.267	0.268
	-0.023	0.273	0.274
	-0.027	0.289	0.290
	-0.021	0.279	0.280
	-0.023	0.278	0.279
	V_prom [m/s]		0.274
	v_cal [m/s]		0.285

Caudal Visor
Flujometro

Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
10:36:00	0	76.8
	10	76.1
	20	76.4
	30	76.1
	40	75.5
	50	76.7
	60	75.8
	70	76.9
	80	77.0
	90	76.6
	100	76.0
	110	76.3
	120	76.8
	Promedio	76.4

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
12:29:00	-0.019	0.276	0.277
	-0.021	0.276	0.277
	-0.018	0.255	0.256
	-0.026	0.264	0.265
	-0.023	0.26	0.261
	-0.023	0.26	0.261
	V_prom [m/s]		0.266
	v_cal [m/s]		0.276

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
12:59:00	-0.019	0.269	0.270
	-0.02	0.275	0.276
	-0.014	0.272	0.272
	-0.014	0.259	0.259
	-0.017	0.268	0.269
	-0.02	0.269	0.270
	V_prom [m/s]		0.269
	v_cal [m/s]		0.279

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
13:29:00	-0.014	0.283	0.283
	-0.019	0.275	0.276
	-0.013	0.277	0.277
	-0.02	0.275	0.276
	-0.019	0.283	0.284
	-0.016	0.27	0.270
	V_prom [m/s]		0.278
	v_cal [m/s]		0.288

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
13:59:00	-0.034	0.295	0.297
	-0.031	0.284	0.286
	-0.026	0.267	0.268
	-0.026	0.267	0.268
	-0.032	0.267	0.269
	-0.027	0.275	0.276
	V_prom [m/s]		0.277
	v_cal [m/s]		0.288

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
14:29:00	-0.032	0.289	0.291
	-0.029	0.272	0.274
	-0.042	0.277	0.280
	-0.028	0.264	0.265
	-0.034	0.287	0.289
	-0.037	0.279	0.281
	V_prom [m/s]		0.280
	v_cal [m/s]		0.290

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
14:59:00	-0.033	0.285	0.287
	-0.035	0.286	0.288
	-0.033	0.286	0.288
	-0.038	0.288	0.290
	-0.041	0.287	0.290
	-0.033	0.276	0.278
	V_prom [m/s]		0.287
	v_cal [m/s]		0.297

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
15:29:00	-0.035	0.282	0.284
	-0.032	0.283	0.285
	-0.035	0.288	0.290
	-0.038	0.285	0.288
	-0.04	0.283	0.286
	-0.037	0.288	0.290
	V_prom [m/s]		0.287
	v_cal [m/s]		0.297

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Cauda [l/s]
15:59:00	-0.027	0.278	0.279	16:06	0	76.4
	-0.025	0.271	0.272		10	75.8
	-0.03	0.276	0.278		20	76.7
	-0.034	0.287	0.289		30	75.5
	-0.027	0.286	0.287		40	76.5
	-0.03	0.272	0.274		50	76.6
		V_prom [m/s]	0.280		60	77.2
		v_cal [m/s]	0.290		70	76.8
					80	77.2
					90	77.3
					100	76.8
					110	76.4
					120	76.9
					Promedio	76.6
Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V			
16:29:00	-0.023	0.272	0.273			
	-0.033	0.294	0.296			
	-0.036	0.286	0.288			
	-0.037	0.276	0.278			
	-0.028	0.28	0.281			
	-0.024	0.276	0.277			
		V_prom [m/s]	0.282			
		v_cal [m/s]	0.293			
Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V			
16:59:00	-0.031	0.258	0.260			
	-0.031	0.282	0.284			
	-0.034	0.275	0.277			
	-0.033	0.274	0.276			
	-0.033	0.282	0.284			
	-0.034	0.271	0.273			
		V_prom [m/s]	0.276			
		v_cal [m/s]	0.286			

Valores promedio

Velocidad

Hora	v_cal [m/s]
9:59:00	0.287
10:29:00	0.286
11:29:00	0.284
11:59:00	0.285
12:29:00	0.276
12:59:00	0.279
13:29:00	0.288
13:59:00	0.288
14:29:00	0.290
14:59:00	0.297
15:29:00	0.297
15:59:00	0.290
16:29:00	0.293
16:59:00	0.286

u [m/s]	0.288
---------	-------

Caudal

Hora	Q [l/s]
10:36:00	76.4
16:06	76.6

Q [l/s]	76.5
---------	------

Notas

Se utiliza una cámara exterior para registrar el ensayo, y la duración de esta es insuficiente, se apaga en 2 ocasiones.

DATOS FINALES ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Datos para exportar a archivo "Resumen-X.txt" para ser usado en código de post proceso en conjunto con los datos registrados con ADV Vectrino.

X: Número de ensayo.

Códigos: filtro.py
 analisis.py

P	D	Unidad	Dimensión	Descripción
Ensayo	1	-	-	Número de ensayo
Prueba	3	-	-	Repetición del ensayo
Fecha	20082019	-	-	Fecha formato DDMMAAAA
t_0	5	[min]	T	Tiempo de registro de ADV previo a las condiciones de ensayo.
soc_0	112	[mm]	L	Distancia vertical entre el transmisor del adv al lecho.
phi	32.39	°	Plano angular	Ángulo de reposo del sedimento.
dist_adv	50	[mm]	L	Distancia horizontal entre la proy vertical del adv a la pila.
Sf	55.5	[mm]	L	Socavación final en la cinta métrica de la pila.
b	70	[mm]	L	Ancho de la pila.
v	0.288	[m/s]	L/T	Velocidad de aproximación en la sección no perturbada.
i	0.93	-	-	Intensidad de flujo.
y	200	[mm]	L	Altura de escurrimiento en la sección no perturbada.
d50	1.03	[mm]	L	Diámetro nominal.
sigma	1.23	-	-	Desviación geométrica de la granulometría.
Se_ref	133	[mm]	L	Socavación de equilibrio de referencia.
b_ref	70	[mm]	L	Ancho de la pila de referencia.
t_ref	4260	[min]	T	Tiempo de equilibrio de referencia.
v_ref	0.271	[m/s]	L/T	Velocidad de aproximación de referencia.
i_ref	0.783	-	-	Intensidad de flujo de referencia.
d50_ref	0.96	[mm]	L	Diámetro nominal de referencia.
sigma_ref	1.3	-	-	Desviación geométrica de la granulometría de referencia.
h_ref	200	[mm]	L	Altura de escurrimiento de referencia.

DATOS FINALES ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Datos para exportar a archivo "Datos-X.txt" para ser usado en código donde se analizan las ecuaciones disponibles en la literatura para calcular socavación máxima.

X: Número de ensayo.

Códigos: ecuaciones.py

Simbolo	Valor	Unidad	Dimensión	Descripción
a	0.07	m	L	Ancho de la pila.
L	0.07	m	L	Largo de la pila.
B	1.5	m	L	Ancho de canal rectangular.
D50	1.03	mm	L	Diámetro medio del grano.
D65	1.13	mm	L	
D90	1.36	mm	L	
D95	1.40	mm	L	
Dmax	1.40	mm	L	Diámetro máximo del grano.
K1	1	-	-	Factor de forma de la pila (Breusers et al 1977).
Ks	1.5	-	-	Factor de corrección por forma de la pila (Neill 1973).
Ktheta	1.5	-	-	Factor de corrección de ángulo de esviaje.
q	0.077	m ³ /s	L ³ /T	Intensidad media de descarga aguas arriba del puente.
V1	0.288		L/T	Velocidad promedio en el canal principal aguas arriba.
Vc	0.311		L/T	Velocidad crítica del sedimento para D50.
y1	0.200	m	L	Altura media de escurrimiento en el canal principal aguas arriba.
alpha	0.000	radianes	Plano angular	Ángulo de esviaje.
rho	1000.0	kg/m ³	FT ² /L ⁴	Densidad del agua.
rho_s	2621.0	kg/m ³	FT ² /L ⁴	Densidad del sedimento.
Fr	0.205			Número de Froude del flujo de aproximación.
ap	0.070	m	L	Ancho proyectado de la pila.
g	9.807	m/s ²	L/T ²	Aceleración de gravedad.
Ss	2.621	-	-	Gravedad específica del sedimento de lecho.

INFORME DE ENSAYO
PROYECTO CANAL DE SOCAVACIÓN DE PILAS

Ensayo	2
Prueba	1
Fecha	26092019

Tabla de contenidos

Pestaña	Contenido
1	Información de referencia
2	Resumen datos de sedimentos
3	Condiciones experimentales
4-Ensayo	Registro de ensayo
5	Resumen datos para post proceso: - filtro.py - analisis.py
6	Resumen datos para post proceso: - ecuaciones.py

Información de referencia

Consiste en las condiciones experimentales que se quieren replicar en el prototipo físico.

Puede corresponder a un modelo a escala o un ensayo de la literatura.

Bibliografía

Yanmaz y Dogan 1991, Study of time-dependent local scour around bridge piers

Experimento

2

Se_ref	95 [mm]
b_ref	67 [mm]
t_ref	330 [min]
u_ref	0.283 [m/s]
i_ref	0.668 -
D50_ref	1.07 [mm]
sigma_ref	1.1 -
h_ref	152 [mm]
Pendiente_ref	0.1 %
w_ref	67 [cm]

Descripción

Ensayo en condición de aguas claras para una pila de sección circular en una cama de arena uniforme. Con pendiente longitudinal de 0.1%.

RESUMEN DE DATOS DE SEDIMENTOS

Parámetro	Valor	Unidad	Definición
D50_ref	0.96	[mm]	Diámetro nominal de referencia.
sigma_ref	1.3	-	Desviación geométrica de la granulometría de referencia.
D50	1.03	[mm]	Diámetro nominal.
D65	1.13	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 60% del total del material.
D90	1.36	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 90% del total del material.
D95	1.40	[mm]	Diá. que representa las partículas de diá. mayor que el 95% del total del material.
Dmax	1.40	[mm]	Diámetro máximo del sedimento.
sigma	1.23	-	Desviación geométrica de la granulometría.
rho_s	2621	[kg/m ³]	Densidad de las partículas del sedimento.
phi	32.39	°	Ángulo de reposo del sedimento.
capa	14	[cm]	Grosor de la capa de sedimento.
Ss	2.6	-	Gravedad específica del sedimento de lecho.
u_c	0.3105	[m/s]	Velocidad de corte crítica del sedimento en el canal de socavación del INH.

CONDICIONES EXPERIMENTALES PREPARACIÓN DE ENSAYO

Características del experimento

Ángulo clapeta	15.5°
Altura compuerta	20 [cm]
VDF	41.5 %

Limnómetro		Limnómetro ADV		Limnómetro Velocidad	
Fondo		Cota Fondo		Cota Fondo	[cm]
Pelo		Posición	0.0	Posición	[cm]
h	0.0			0,6*h	0.0 [cm]

Variables controlables				Datos Medidos		Datos Cálculados			
VDF	Flujometro	Huinchu	Transportador	Limnómetro	Sensor elec. De flujo	Altura sensor	Caudal calculado	N° Froude	Error porc. Del caudal
% VDF	Q [l/s]	h_comp [cm]	$\theta_{clapeta}$ [°]	h [cm]	v [m/s]	h_v [cm]	Q_c [l/s]	Fr	% e_Q
45	70.60	-	15	15.2	0.29	9.12	65.7	0.236	7.0

Medición		45 VF - 15°
Vx [m/s]	Vy [m/s]	V
-0.047	0.272	0.276
-0.047	0.278	0.282
-0.053	0.284	0.289
-0.046	0.271	0.275
-0.046	0.266	0.270
-0.049	0.269	0.273
V_Prom [m/s]		0.278
V_CAL [m/s]		0.288

Medición	45 VF - 15°
Tiempo [s]	Caudal [l/s]
0	69.8
10	70.1
20	70.7
30	70.3
40	70.7
50	71.3
60	71.5
70	71.3
80	70.6
90	70.90
100	70.8
110	70.2
120	70.1
Promedio	70.6

ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

NUMERACIÓN DE ENSAYO	2
REPETICIÓN	1
FECHA	26092019

Parámetros geométricos

Canal de sección rectangular.

Pendiente del canal	1 [mm/m]
Ancho del canal	1.5 [m]
Longitud del canal	15 [m]

Pila de sección circular de madera, pintada blanco, graduada cada 5 [cm] y con una cinta métrica.

Diámetro de la pila	70 [mm]
Largo de la pila	70 [mm]
Relación b/w	0.05 -
Número de pilas	1 -
Separación entre pilas	N/A [m]
Ángulo de esviaje	0 radianes
Inclinación vertical de la pila	1 [mm/m]

Lecho de arena uniforme en zona experimental, zonas aguas arriba y abajo con relleno y laca.

D50	1.03 [mm]
sigma	1.23 -
u_c	0.31 [m/s]

Variables/Parámetros hidráulicos

Lecturas

Altura de escurrimiento	Linmímetro de punta
Velocidad de aproximación	Sensor electromagnético de flujo, valeport 802.
Profundidad de socavación	ADV Vectrino.

Condiciones generales de ensayo

Aguas claras	SI
Lecho vivo	NO
Formas de lecho	Se observa la generación de dunas aguas abajo de la pila al final de la experimentación.
Compuerta	Compuerta por sobre la altura de escurrimiento. Sin influencia.
Clapeta	Altura de escurrimiento regulada con la clapeta desde aguas abajo.
Disipadores	N/A

Descripción temporal FASE I: Inicio de ensayo

Hora	Descripción
8:30:00	Se fija la pendiente longitudinal del canal.
8:34:00	Inicio del sistema de llenado secundario del canal.
9:52:00	Instalación de instrumentos completa.
9:54:00	Encendido de la bomba de impulsión principal, con compuerta sobre la altura de escurrimiento y clapeta en ángulo de 20°.
9:56:00	Inicio de medición ADV: 40 VDF, 15° clapeta
10:13:00	Inicio de ensayo: 41.5 VDF, 15.5° clapeta
15:43:00	Fin de ensayo.
15:46:00	Fin de medición ADV.

Parámetros de la instalación experimental

t_0	17 [min]	Tiempo de medición transcurrido hasta inicio de ens.
soc_0	106.7 [mm]	Distancia vertical entre el transmisor del adv al lecho.
dist_adv	50 [mm]	Distancia horizontal de la proy vertical del adv a la pila.
dist_u	150 [cm]	Distancia horizontal entre la pared de la pila y la proyección vertical de sensor electromagnético de flujo.
h_u	91.2 [mm]	Distancia vertical entre el fondo del lecho y sensor electromagnético de flujo, 0.6h.

Datos ensayo

VDF	41.5 %
theta_clapeta	15.5 °
h_compuerta	N/A [cm]
Q	54.8 [l/s]
u	0.284 [m/s]
h	152 [mm]
i	0.91 -
Duración ensayo	330 [min]
Duración registro	350 [min]
Hora inicial registro	9:56:00 -
Hora inicial ensayo	10:13:00 -
Hora final ensayo	15:43:00 -
Hora final registro	15:46:00 -
z inicial en la pila	15 [mm]
Sf soc. final en la pila	41 [mm]

Tiempo [min]	Distancia [mm]	S procesada [mm]
0	106.7	0
30	121.615223	14.915223
60	136.373444	29.673444
120	142.718568	36.018568
180	147.506568	40.806568
240	152.175268	45.475268
300	155.064518	48.364518



Mediciones: FASE II Ensayo

<u>Limnómetro</u>		<u>Limnómetro ADV</u>		<u>Limnómetro Velocidad</u>	
Fondo	49.3	Cota Fondo	26.1	Cota Fondo	37.4 [cm]
Pelo	64.5	Posición	36.1	Posición	46.5 [cm]
h	15.2		10.0	0,6*h	9.1 [cm]

<u>Sensor de flujo electromagnético</u>				<u>Caudal Visor Flujo metro</u>		
Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
10:13:00	-0.016	0.271	0.271	10:36:00	0	53.6
	-0.018	0.263	0.264		10	54.8
	-0.02	0.271	0.272		20	53.5
	-0.015	0.269	0.269		30	53.9
	-0.021	0.278	0.279		40	54
	-0.015	0.263	0.263		50	54
	-0.018	0.273	0.274		60	55
		V_prom [m/s]	0.270		70	55.4
		v_cal [m/s]	0.280		80	54.3
					90	53.8
					100	53.9
					110	53.9
					120	53.4
					Promedio	54.1

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
10:43:00	-0.018	0.257	0.258	10:45:00	0	53.8
	-0.017	0.269	0.270		10	53.7
	-0.015	0.267	0.267		20	54.1
	-0.019	0.279	0.280		30	54
	-0.02	0.288	0.289		40	53.8
	-0.015	0.281	0.281		50	54.4
	-0.017	0.271	0.272		60	54.2
		V_prom [m/s]	0.274		70	53.7
		v_cal [m/s]	0.284		80	53.8
					90	54.0
					100	53.8
					110	53.5
					120	53.9
					Promedio	53.9

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
11:13:00	-0.013	0.272	0.272	11:15:00	0	54.4
	-0.014	0.285	0.285		10	54.3
	-0.014	0.268	0.268		20	54.1
	-0.015	0.273	0.273		30	55.3
	-0.012	0.271	0.271		40	54.6
	-0.021	0.267	0.268		50	54.4
	-0.013	0.271	0.271		60	55
		V_prom [m/s]	0.273		70	55
		v_cal [m/s]	0.283		80	54.5
					90	54.6
					100	54.5
					110	53.8
					120	54
					Promedio	54.5

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
11:43:00	-0.013	0.28	0.280	11:45:00	0	55
	-0.015	0.272	0.272		10	55.5
	-0.015	0.275	0.275		20	54.6
	-0.011	0.286	0.286		30	54.7
	-0.013	0.282	0.282		40	54.6
	-0.011	0.268	0.268		50	54.7
	-0.011	0.282	0.282		60	54.1
		V_prom [m/s]	0.278		70	54.6
		v_cal [m/s]	0.288		80	54.0
					90	54.0
					100	53.9
					110	54.7
					120	54.3
					Promedio	54.5

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
12:13:00	-0.008	0.279	0.279	12:45:00	0	54.6
	-0.009	0.273	0.273		10	55.3
	-0.009	0.278	0.278		20	55.3
	-0.005	0.274	0.274		30	55.1
	-0.008	0.274	0.274		40	55
	-0.011	0.273	0.273		50	54.6
	-0.009	0.266	0.266		60	54.7
		V_prom [m/s]	0.274		70	54.3
		v_cal [m/s]	0.284		80	54.6
					90	54.7
					100	54.8
					110	55.1
					120	55.6
					Promedio	54.9

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
13:13:00	-0.011	0.281	0.281	13:15:00	0	55.3
	-0.009	0.281	0.281		10	54.7
	-0.01	0.281	0.281		20	54.4
	-0.011	0.286	0.286		30	55.4
	-0.011	0.284	0.284		40	55.3
	-0.005	0.245	0.245		50	54
	-0.009	0.284	0.284		60	55
		V_prom [m/s]	0.278		70	55.6
		v_cal [m/s]	0.288		80	54.6
					90	55.2
					100	54.8
					110	55.5
					120	55.5
					Promedio	55.0

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
13:43:00	-0.009	0.277	0.277	13:45:00	0	55.4
	-0.01	0.276	0.276		10	55.1
	-0.01	0.272	0.272		20	54.8
	-0.008	0.255	0.255		30	54.8
	-0.008	0.277	0.277		40	55
	-0.003	0.265	0.265		50	55
	-0.008	0.281	0.281		60	55.1
		V_prom [m/s]	0.272		70	55.3
		v_cal [m/s]	0.282		80	55.1
					90	55.0
					100	54.8
					110	55.1
					120	55.1
					Promedio	55.0

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
14:13:00	-0.006	0.272	0.272	14:15:00	0	54.6
	-0.005	0.269	0.269		10	54.9
	-0.01	0.286	0.286		20	53.8
	-0.01	0.259	0.259		30	54.6
	-0.007	0.287	0.287		40	55
	-0.01	0.282	0.282		50	55.7
	-0.011	0.282	0.282		60	55.1
		V_prom [m/s]	0.277		70	55
		v_cal [m/s]	0.287		80	55.6
					90	55.0
					100	55.2
					110	54.9
					120	55.2
					Promedio	55.0

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
14:43:00	-0.019	0.279	0.280	14:45:00	0	55.6
	-0.019	0.274	0.275		10	54.9
	-0.017	0.279	0.280		20	54.7
	-0.017	0.278	0.279		30	55.1
	-0.015	0.267	0.267		40	55
	-0.019	0.259	0.260		50	54.9
	-0.012	0.252	0.252		60	55.3
		V_prom [m/s]	0.270		70	55.5
		v_cal [m/s]	0.280		80	55.5
					90	56.0
					100	56.0
					110	55.9
					120	55.5
					Promedio	55.4

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
15:13:00	-0.004	0.266	0.266	15:15:00	0	55.4
	-0.006	0.263	0.263		10	55.3
	-0.003	0.257	0.257		20	55.3
	-0.01	0.28	0.280		30	55.2
	-0.005	0.278	0.278		40	55.3
	-0.004	0.269	0.269		50	55
	-0.009	0.276	0.276		60	54.9
		V_prom [m/s]	0.270		70	55
		v_cal [m/s]	0.280		80	55.6
					90	55.0
					100	55.3
					110	55.6
					120	55.5
					Promedio	55.3

Hora	Vx [m/s]	Vy [m/s]	V	Hora	Tiempo [s]	Caudal [l/s]
15:43:00	-0.001	0.26	0.260	15:45:00	0	55.3
	-0.004	0.269	0.269		10	55.6
	-0.006	0.287	0.287		20	55.2
	-0.007	0.275	0.275		30	55.3
	-0.006	0.275	0.275		40	55.5
	-0.004	0.273	0.273		50	56.2
	-0.005	0.282	0.282		60	56.1
		V_prom [m/s]	0.274		70	56.1
		v_cal [m/s]	0.285		80	56.5
					90	56.3
					100	55.5
					110	55.3
					120	55.4
					Promedio	55.7

Valores promedio

Velocidad

Hora	v_cal [m/s]
10:13:00	0.280
10:43:00	0.284
11:13:00	0.283
11:43:00	0.288
12:13:00	0.284
13:13:00	0.288
13:43:00	0.282
14:13:00	0.287
14:43:00	0.280
15:13:00	0.280
15:43:00	0.285
u [m/s]	0.284

Caudal

Hora	Q [l/s]
10:36:00	54.115
10:45:00	53.900
11:15:00	54.500
11:45:00	54.515
12:45:00	54.900
13:15:00	55.023
13:45:00	55.046
14:15:00	54.969
14:45:00	55.377
15:15:00	55.262
15:45:00	55.715
Q [l/s]	54.8

FASE III: Termino de ensayo

Notas

FU observa que se podría buscar la opción de incorporar un reloj digital sumergible, que complemente el registro realizado por las diferentes cámaras.

FU sugiere evaluar la factibilidad de usar el Indicador digital que registre en tiempo real los datos del flujómetro electromagnético y del sensor electromagnético de flujo Valeport.

NL nota que hubieron complicaciones al inicio de las mediciones al encontrar las condiciones experimentales, encontrando una pequeña erosión en el lecho previo al ensayo, quedando registrado en la medición con ADV. Esta erosión se produce con velocidad menor a la del ensayo.

13:19:00 se debe sustituir la batería de la GoPRO.

14:23 El ADV deja de registrar datos, y se inicia un nuevo registro.

15:21:00 se vuelve a sustituir la batería de la GoPRO.

Última medición de ADV no se guarda correctamente. Se nota que el instrumento se calienta más de lo habitual.

DATOS FINALES ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Datos para exportar a archivo "Resumen-X.txt" para ser usado en código de post proceso en conjunto con los datos registrados con ADV Vectrino.

Donde X es el número de ensayo.

Códigos: filtro.py
 analisis.py

P	D	Unidad	Dimensión	Descripción
Ensayo	2	-	-	Número de ensayo
Prueba	1	-	-	Repetición del ensayo
Fecha	26092019	-	-	Fecha formato DDMMAAAA
t_0	17	[min]	T	Tiempo de registro de ADV previo a las condiciones de ensayo.
soc_0	106.7	[mm]	L	Distancia vertical entre el transmisor del adv al lecho.
phi	32.39	°	Plano angular	Ángulo de reposo del sedimento.
dist_adv	50	[mm]	L	Distancia horizontal entre la proy vertical del adv a la pila.
Sf	41	[mm]	L	Socavación final en la cinta métrica de la pila.
b	70	[mm]	L	Ancho de la pila.
v	0.284	[m/s]	L/T	Velocidad de aproximación en la sección no perturbada.
i	0.91	-	-	Intensidad de flujo.
y	152	[mm]	L	Altura de escurrimiento en la sección no perturbada.
d50	1.03	[mm]	L	Diámetro nominal.
sigma	1.23	-	-	Desviación geométrica de la granulometría.
Se_ref	95	[mm]	L	Socavación de equilibrio de referencia.
b_ref	67	[mm]	L	Ancho de la pila de referencia.
t_ref	330	[min]	T	Tiempo de equilibrio de referencia.
v_ref	0.283	[m/s]	L/T	Velocidad de aproximación de referencia.
i_ref	0.668	-	-	Intensidad de flujo de referencia.
d50_ref	1.07	[mm]	L	Diámetro nominal de referencia.
sigma_ref	1.1	-	-	Desviación geométrica de la granulometría de referencia.
h_ref	152	[mm]	L	Altura de escurrimiento de referencia.

DATOS FINALES ENSAYO DE SOCAVACIÓN EN PILAS

Datos para exportar a archivo "Datos-X.txt" para ser usado en código donde se analizan las ecuaciones disponibles en la literatura para calcular socavación máxima.

Donde X es el número de ensayo.

Códigos: ecuaciones.py

Símbolo	Valor	Unidad	Dimensión	Descripción
a	0.07	m	L	Ancho de la pila.
L	0.07	m	L	Largo de la pila.
B	1.5	m	L	Ancho de canal rectangular.
D50	1.03	mm	L	Diámetro medio del grano.
D65	1.13	mm	L	
D90	1.36	mm	L	
D95	1.40	mm	L	
Dmax	1.40	mm	L	Diámetro máximo del grano.
K1	1	-	-	Factor de forma de la pila (Breusers et al 1977).
Ks	1.5	-	-	Factor de corrección por forma de la pila (Neill 1973).
Ktheta	1.5	-	-	Factor de corrección de ángulo de esviaje.
q	0.055	m ³ /s	L ³ /T	Intensidad media de descarga aguas arriba del puente.
V1	0.284		L/T	Velocidad promedio en el canal principal aguas arriba.
Vc	0.311		L/T	Velocidad crítica del sedimento para D50.
y1	0.152	m	L	Altura media de escurrimiento en el canal principal aguas arriba.
alpha	0.000	radianes	Plano angular	Ángulo de esviaje.
rho	1000.0	kg/m ³	FT ² /L ⁴	Densidad del agua.
rho_s	2621.0	kg/m ³	FT ² /L ⁴	Densidad del sedimento.
Fr	0.232			Número de Froude del flujo de aproximación.
ap	0.070	m	L	Ancho proyectado de la pila.
g	9.807	m/s ²	L/T ²	Aceleración de gravedad.
Ss	2.621	-	-	Gravedad específica del sedimento de lecho.